



# INTERNATIONAL SCIENCE, MATHEMATICS AND ENGINEERING SCIENCES CONGRESS

(Izmir / TURKEY)

8 - 10 November 2019

## PROCEEDING

ULUSLARARASI FEN, MATEMATİK VE MÜHENDİSLİK KONGRESİ

(İzmir / TÜRKİYE)

8 - 10 Kasım 2019

## TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

Editors / Editörler

**Prof. Dr. Şemsi YAZICI**  
**Asst. Prof. Dr. Kemal KÖSEOĞLU**



HEZARFEN International Congress of Science, Mathematics and  
Engineering 8-10 November 2019- Izmir, Turkey

PROCEEDING

HEZARFEN Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Bilimleri  
Kongresi 8-10 Kasım 2019 - İzmir / TÜRKİYE

TAM METİN KİTABI

**ISBN: 978-605-7736-43-7**

**Publishing Director / Yayın Yönetmeni:** Muhammet Özcan

**Editors:** Prof. Dr. Şemsi Yazıcı & Asst. Prof. Dr. Kemal Köseoğlu

**Cover Design / Kapak Tasarımı:** Emre Uysal

**ASOS YAYINEVİ**

**1<sup>st</sup> Edition / 1.baskı:** December / Aralık 2019

**Address / Adres:** Çaydaçıra Mah. Hacı Ömer Bilginoğlu Cad. No: 67/2-  
4/MERKEZ/ELAZIĞ

**Mail:** asos@asosyayinlari.com

**Web:** www.asosyayinlari.com

**Instagram:** <https://www.instagram.com/asosyayinevi/>

**Facebook:** <https://www.facebook.com/asosyayinevi/>

**Twitter:** <https://twitter.com/Asosyayinevi>



## PREFACE / ÖN SÖZ

When we look at the world of today, countries with science and technology give direction to world politics, on the other hand, it is seen that there are societies producing science and technology again in the criteria of social development. In this context, the production of information and the transformation of information into technology are of great importance for our country. Now it is necessary to follow the universal science that has come to the stage of the 4th Industrial Revolution and to make scientific contributions.

In the HEZARFEN International Congress of Science, Mathematics and Engineering, which was attended by invited speakers from Turkey and abroad, it was aimed to share, discuss and present new information to the scientific world. Oral and poster presentations presented in the congress published in the this full paper book.

Günümüz Dünyasına baktığımızda bilim ve teknolojiye sahip ülkelerin Dünya siyasetine yön verdiği, diğer taraftan sosyal gelişmişlik kriterlerinde yine bilim ve teknoloji üreten toplumların olduğu görülmektedir. Bu çerçevede bilgi üretimi, bilginin teknolojiye dönüşümü ülkemiz için büyük önem taşımaktadır. Artık 4. Sanayi devrimi aşamasına gelen evrensel bilimin takip edilmesi, bilimsel katkıda bulunulması gerekmektedir.

Yurt içi ve yurt dışından davetli konuşmacıların katıldığı HEZARFEN Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Bilimleri Kongresi'nde yeni bilgilerin paylaşımı, tartışılması ve bilim dünyasına sunulması amaçlanmıştır. Bu kitapta kongrede sunulan sözlü ve poster sunumların tam metinleri bulunmaktadır..

## CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Preface / Ön Söz .....	I
Contents / İçindekiler .....	II
Boards / Kurullar .....	IX

## ENGINEERING SCIENCES / MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

### COMPUTER ENGINEERING / BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ...

Veri Madenciliği İle Türkiye'deki Elektrik Elektronik Mühendisliği Programlarının Karşılaştırılması .....	3
Appication of K-Means and Hierarchical Clustering Algorithms on Chronic Kidney Disease Dataset and Comparative Analysis .....	14
Kompleks Mühendislik Tasarım Problemlerinin Çözülmesi İçin Hibrit Benekli Sırtlan – Jaya Optimizasyon Algoritması .....	22
Çevrimiçi Biyometrik İmza Tanıma .....	37
Görüntüler İçin Metin Gizleme Tekniği Ve Örnek Uygulama Yazılımı .....	45

### BIOMEDICAL ENGINEERING / BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

Optimization of Electrospinning Parameters in The Production of PCL Scaffold .....	56
Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürlerinde Biyoreaktörlerin Kullanım Potansiyeli .....	65
Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Tekniklerinin Biyoteknolojide Uygulama Alanları .....	80
Fitopatojen Funguslara Karşı Antifungal Aktiviteye Sahip Yerel <i>Bacillus</i> İzolatlarının in <i>Vitro</i> Koşullarda Seçilmesi .....	95
Tissue Engineering Approaches For Modeling Cerebral Cortex .....	107
Evaluation of A Novel Antibacterial Wound Dressing Based on Bacterial Cellulose Containing $\gamma$ -PGA/Chitosan Complex .....	114

## **ENVIRONMENTAL ENGINEERING / ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

Bursa’da İç ve Dış Ortam Hava Örneklerinde Poliaromatik Hidrokarbonların (PAH’LARIN) Belirlenmesi .....126

Ekotoksikolojide Enzim Biyomarkırlarının Kullanımı .....141

## **SHIPBUILDING AND OCEAN ENGINEERING / GEMİ VE DENİZ MÜHENDİSLİĞİ**

Deniz Taşımacılığında CO<sub>2</sub> Salınım Değeri Hesaplanması İçin Yeni Bir Yöntem .....156

## **ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING / ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

İnceltme İşaretili ve İşaretsiz Seslerin Temel ve Formant Frekanslarının Belirlenmesi ve Spektral Tabanlı Ölçütler İle Değerlendirilmesi .....164

Benekleme Tabanlı Akış Görüntülerinin Fraktal Analizi.....175

Parametric Studies on Double-Sided Split Ring Resonator (DS-SRR) .....183

Higher Order Sliding Mode Control of Four Rotor Unmanned Aerial Vehicle .....189

Induced-Source-Based High Frequency Techniques: PO and PTD...203

Performance Comparison of Solar Panels Under Real Weather Conditions for 2018 .....209

Turkey's Between 2014-2018 Years Electricity Production Capacity and Analysis According to Resources.....220

## **INDUSTRIAL ENGINEERING / ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

Veri Madenciliği Alanında Yapılan Tez Çalışmalarının İncelenmesi .....229

## **ENERGY SYSTEMS ENGINEERING / ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Güç Üreten Uçurtmalar .....245

Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinde Güç Kalitesini Etkileyen Faktörlerin Kontrolü ve Azaltılması .....251

## **FOOD ENGINEERING / GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

The Effect of Different Butter Production Technologies on Chemical Composition and Amino Acid Profile of Buttermilk .....268

Investigation of Antibacterial Effects of Zein Coatings Combined with Laurel (*Laurus Nobilis* L.) Essential Oil on Crayfish (*Astacus Leptodactylus* Eschscholtz, 1823) Stored at Cold Storage .....277

## **GEOMATICS ENGINEERING / HARİTA MÜHENDİSLİĞİ**

Kadastro Faaliyetleri Kapsamında Lisanslı Harita Kadastro Mühendislik Bürolarının Rolü .....287

Demirköprü Barajının Su Yüzey Sınırlarının Belirlenmesinde Sentinel-2 (MSI) Görüntüleri Kullanılarak Farklı Algoritmalar ve Su Endeksleri Performanslarının Araştırılması.....293

## **CIVIL ENGINEERING / İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Effect of Curing Temperature on Strength of Clay Stabilized with Different Additives .....307

Standard Compaction Behavior of Waste Plastic Strip-Clay Mixtures .....318

Properties of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate ....323

Freeze-Thaw and Impact Resistance of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate.....334

Tuğla Yığma Bir Yapının Elastisite Modülünün Farklı Yaklaşımlarla Belirlenmesi.....344

Enjeksiyon Sıvılarının Basınç Dayanımı Üzerinde Kaya Tuzu Etkisinin İncelenmesi .....356

Pmat ve Pmt Dizaynlarında İnce Agregada Olarak Bazalt Ve Kalker Kullanımı.....367

Displacement Measurement on Building Model with Computer .....379

Clustering Acoustic Emission Activities in Concrete Using Unsupervised Pattern Recognition Methods .....384

Uzun-Kısa Vadeli Hafıza İle Akım Tahmini Modellerinin Karşılaştırılması.....391

Manisa Yeni Terminali İle Akgedik Mahallesi Arasındaki Toplu Taşıma Hattında Mazotlu ve Elektrikli Otobüs Kullanımlarının Kıyaslanması .....398

## **CHEMICAL ENGINEERING / KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

Tragacanth Gum Based Self-Healing Hydrogels .....410

Determination of Optimum Parameters for The Fabrication of Gum Tragacanth-Chitosan Blend Scaffolds.....421

Antiproliferative Effect of Cucurbitacin I on Cancer Cells – Growth Kinetic Evaluation .....	427
<b>MECHANICAL ENGINEERING / MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ</b>	
Pitot-Statik Tüpünün Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi ve Sayısal Analizi .....	439
DP600 Çeliği İle AA 7075-T6 Alüminyum Alaşımı Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesine Takım Dönme Hızının Etkisi.....	456
Bir Isı Değiştiricisinde Isıl Verimin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi .....	469
PV/ T ( Fotovoltaik-Termal ) Sistemlerde Termal İletken Yapıştırıcı Kullanımı Üzerine Bir Araştırma.....	482
Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Poliüretan Köpük Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi.....	493
Isı Değiştiricisi Analizinde Çözüm Ağının Sonuca Etkileri .....	502
Farklı Türde Camların PV/T Sistem Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması .....	514
Ayarlanmış Titreşim Yutucular İle Nonlinear Enerji Yutucuların Karşılaştırılması .....	527
Akıllı Tarım Uygulamaları İçin Kullanılan Bir Mobil Robotun Tasarımı ve Analizi.....	538
A Comparative Study on Crashworthiness Optimization of Vehicle By Using Stochastic Methods .....	552
<b>METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING / METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ</b>	
TIG Kaynak Tekniği İle Birleştirilen Farklı Boyuttaki Malzemeler İçin Portatif Fikstür Tasarımı ve Geliştirilmesi .....	563
Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı İle Birleştirilen Ara Katmanlı AA2024-T3 Levhaların Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi.....	578
Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı İle Birleştirilen Nikel Kaplanmış AA2024 Levhaların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....	592
Al Matrisli Kompozitlere Anfis Yaklaşımının Uygulanması .....	606

ANN Yöntemi İle Relatif Yoğunluk Değişiminin Araştırılması .....	613
Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Aşınma Ağırlık Kaybının Araştırılması .....	620
Yüksek Yoğunluklu Yer Karosu Opak Sırlarına Fosfojips Etkisi .....	628
The Effect of Silicium Carbide (SiC) Reinforcement Element on Mechanical Properties of Iron Based Powder Metal Composites .....	639
Optimization of Process Parameters in Deposition of Stainless Steel on Low Carbon Steel By Friction Surfaced Deposit.....	654
Sodyum Katyonu İle Doyurulmuş Kaolinitin Reolojik Özellikleri....	666
The Synthesize of New Mg And Ag Doped ZnO Nanoparticles And Their Efficiency in The Photocatalytic Decomposition of Metylene Blue .....	676
Structural and Electrochemical Characterization of Hap Coatings Electrophoretically Deposited on Ti6Al4V Alloy Substrates.....	690
Silika Katkılı Epoksi Reçine Kompozitte Çapraz Bağlanma Dönüşüm Oranının Camsı Geçiş Sıcaklığına Bağlı Olarak Belirlenmesi .....	702
<b>NUCLEAR ENGINEERING SCIENCES / NÜKLEER MÜHENDİSLİĞİ</b>	
Alfa ve Lityum-7 Parçacıklarının Bor Nötron Yakalama Terapisi İçin Hüresel Mikrodozimetrisi .....	712
<sup>99m</sup> Tc İle İşaretli Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @TiO <sub>2</sub> Nanokompozitler <sup>99m</sup> Tc Labeled Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @TiO <sub>2</sub> Nanocomposites .....	721
A Numerical Investigation for The Electron Cloud Build-up Mechanism .....	730
<sup>99m</sup> Tc İŞARETLİ HPG (Çokdallanmış Poligliserol) Çok Fonksiyonlu Görünüleme Probu .....	737
<b>TEXTILE ENGINEERING / TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ</b>	
Giysilerde Kullanılan Astarlık Kumaşlar Ve Özellikleri .....	751
Adaptif Giysiler ve Uygulamaları.....	759
Konfeksiyon Süslemelerinde Yeni Uygulamaların Araştırılması.....	768
Hazır Giyim Üretimine Yönelik Çeşitli Yazılımlar .....	778
Yeni Nesil Rejenere Selüloz Liflerinden Üretilen Örme Kumaşların Termofizyolojik Konfor Özellikleri.....	788



Tasarım ve Soğuktan Koruma Özellikleri Açısından Uyku Tulumları .....	804
---	-----

### **ARCHITECTURE SCIENCES / MİMARLIK BİLİMLERİ**

Unesco dünya miras alanları ve VI. Kriter .....	823
---	-----

### **SCIENCE AND MATHEMATICS SCIENCES / FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ**

#### **BIOCHEMISTRY / BİYOKİMYA**

Bazı Çevresel Parametrelerin Beş Yabani Makrofungus Miselinin Gelişimi Üzerine Etkileri.....	839
Yabani Makrofungus Türlerine Ait Misellerin Enzim Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi .....	850
Su Ekosisteminde Azalan Su Seviyesine Bağlı Olarak Bağlı Kurbağa ve Balık Türlerindeki Değişimler .....	859
Study of Wi-Fi Waves Effects on Genetic Variations of <i>Providencia stuartii</i> Bacteria Isolated from Otitis Media Infections.....	865
Manisa ve Yakın Çevresinde Yaşayan Zehirli Yılanlar ve Temas Yoluyla Oluşan Zehirlenmeler.....	878
Evaluation of The Genetic Effects of Nd:Yag and Diode Lasers on <i>Candida Albicans</i> Using Rapd Markers .....	886
Evaluation of The Genetic Effects of Nd:Yag and Diode Lasers on <i>Candida Albicans</i> Using Rapd Markers .....	898

#### **CHEMISTRY/ KİMYA**

Tris (2-(((E)-Furan-2-İlmetilen) Amino) Etil) Amin Ligandının Teorik Karakterizasyonu .....	899
Synthesis and Characterization of Copper (II) and Cadmium (II) Supramolecular Compounds <u>With 2,2-Dimethylglutarate and Imidazole Derivate Ligands</u> .....	910
<u>Zr(IV) İyonlarının ÇDSMS Tekniği İle Ekstraksiyonu</u> .....	920
N-Sikloheksilmetakrilamit (NCMA) Monomeri ile D-Limonen Monomerinin Kopolimerizasyonu: Yeni (limonen-co-NCMA) Sentezi ve Karakterizasyonu .....	935

#### **MATHEMATICS/ MATEMATİK**

On A Study Dual k-Pell Lucas Bicomplex Numbers .....	942
On k-Pell Bicomplex Numbers And Their Matrix Representations ..	959

Proper Class Generated Coinjectively By Semiartinian Modules .....	971
G-Dickson Torsion Theory .....	978
Common Topological Properties of Difference Sequence Spaces Defined By Modular Sequence Spaces .....	984
Adi Diferansiyel Denklemlerin İlk İntegrallerinin Elde Edilmesi .....	993
Ermakov-Pinney Denkleminin Simetri Yöntemleriyle Matematiksel Analizi .....	999
<b>MOLECULAR BIOLOGY / MOLEKÜLER BİYOLOJİ</b>	
Mezenkimal Epitelyal Dönüşüm (MET) Sürecinin Epigenetik Altyapısını Düzenleyen Transkripsiyon Faktörlerinin Araştırılması .....	1007

## **BORADS / KURULLAR**

### **Supporting Institution / Destekleyen Kurumlar**

Ege University, Turkey

### **Honorary Committee / Onur Kurulu**

Prof. Dr. Necdet BUDAK (Rector of Ege University)

### **Chair of Organizing Committee / Düzenleme Kurulu Başkanı**

Prof. Dr. Şemsi YAZICI, Ege University, Turkey

### **Organizing Committee / Düzenleme Kurulu**

Prof. Dr. Şemsi YAZICI, Ege Üniversitesi

Asst. Prof. Dr. Kemal KÖSEOĞLU, Ege University, Turkey

Asst. Prof. Dr. Tuncay YILMAZ, Manisa Celal Bayar University, Turkey

Asst. Prof. Dr. Coşkun HARMANŞAH, Ege University, Turkey

Asst. Prof. Dr. Volkan SÖZERİ, Ege University, Turkey

### **Science and Referee Committee / Bilim ve Hakem Kurulu**

Prof. Dr. Gabil ADILOV, Akdeniz Üniversitesi, Turkey

Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR, Akdeniz Üniversitesi, Turkey

Prof. Dr. Hakan SERT, Akdeniz Üniversitesi, Turkey

Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL, Atatürk University, Turkey

Prof. Dr. Ahmet YAPICI, İskenderun Teknik University, Turkey

Prof. Dr. Ali Muhittin ALBORA, İstanbul Üniversitesi-Cerrah Paşa, Türkiye

Prof. Dr. Elif ÖĞÜT, Kocaeli University, Turkey

Prof. Dr. Hanife BÜYÜKGÜNGÖR, Ondokuz Mayıs University, Turkey

Prof. Dr. Hasan YILDIZ, Ege University, Turkey

Prof. Dr. Hayati BALKAN, Ege University, Turkey

Prof. Dr. Hüseyin Hikmet ÇATAL, Dokuz Eylül University, Turkey

Prof. Dr. İlhan GÜLGÖNÜL, Balıkesir University, Turkey

Prof. Dr. Murat ODUNCUOĞLU, Yıldız Teknik University, Turkey

Prof. Dr. Mustafa ATMACA, Marmara University, Turkey

Prof. Dr. Seval ÇATAL, Dokuz Eylül University, Turkey

Prof. Dr. Şebnem TAVMAN, Ege University, Turkey  
Prof. Dr. Selçuk TÜRKEL, Dokuz Eylül University, Turkey  
Prof. Dr. Tanja SOLDATOVIĆ, Novi Pazar State University, Serbia  
Prof. Dr. UFUK YÜCEL, Ege University, Turkey  
Prof. Dr. Rıdvan KAYABULUT, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Turkey  
Prof. Dr. Yahya BOZKURT, Marmara University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Ramazan KARATAŞ, Akdeniz University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Sait BULUT, Akdeniz University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Esmem HACIEMİNOĞLU, Akdeniz University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYCIÖĞLU, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Ali Mardani-Aghabaglou, Bursa Uludağ University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Alpaslan TURGUT, Dokuz Eylül University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Alper SEZER, Ege University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Fatma ESEN, Uludağ University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Gözde İnan SEZER, Ege University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim KURT, Gaziantep University, Turkey  
Assoc. Prof. Dr. Octavian BARNA, University Danurea de Jos Galati, Romania  
Assoc. Prof. Dr. Yılmaz GÜR, Balıkesir University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Furkan ÖZEN, Akdeniz University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Nesrin EMRE, Akdeniz University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Ali YURDDAŞ, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Aziz BAŞYİĞİT, Kırıkkale University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Can ÇİVİ, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Canan CİMŞİT, Kocaeli University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Coşkun HARMANŞAH, Ege University, Turkey

Asst. Prof. Dr. Funda Irmak YILMAZ, Ordu University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. İdris KARAGÖZ, Yalova University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Metin Yurddaşkal, Dokuz Eylül University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Pınar ÇAM İCİK, Sinop University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Saim KURAL, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Simge İRİZALP, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Şükrü Taner AZGIN, Erciyes University, Turkey  
Asst. Prof. Dr. Tuncay YILMAZ, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Dr. Alev YÜKSEL AYDAR, Manisa Celal Bayar University, Turkey  
Dr. Engin AKYÜZ, Dokuz Eylül University, Turkey

**ENGINEERING SCIENCES / MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ**

# VERİ MADENCİLİĞİ İLE TÜRKİYE’DEKİ ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

**Seda KILICER\*,\*\* & Ruya SAMLI\*\***

*\*Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
sedakilicer@beykent.edu.tr*

*\*\*İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,  
ruyasamli@istanbul.edu.tr*

**Öz:** Bu çalışmada, veri madenciliği yöntemleri ile Türkiye’deki üniversitelerin elektrik elektronik mühendisliği lisans programlarının derslerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu açıdan, çeşitli yöntemler kullanılarak elektrik elektronik mühendisliği lisans programlarındaki derslerin çeşitliliklerinin anabilim dallarına göre dağılımları karşılaştırılmıştır. Böylece, bu programlardan mezun olan öğrencilerin almış oldukları eğitim çeşitliliği incelenerek ağırlık verilmesi gereken anabilim dalları tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen karşılaştırma için Türkiye’deki 15 adet üniversitenin elektrik elektronik mühendisliği lisans program dersleri toplanmış ve incelenmiştir. Araştırma sırasında veri toplayabilmek için üniversitelerin bölüm sitelerinden ve üniversitelerdeki öğretim üye ve elemanlarından yardım alınmıştır. Toplanan veriler Weka programında veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarından Naive Bayes ve J48 karar ağacı algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Üniversitelerde toplanan tüm dersler “ElektrikTesisleri, Elektronik, KontrolVeKumandaSistemleri, Telekomünikasyon, BolumdisiSecmeli, BolumiciSecmeli, Matematik, DevrelerVeSistemlerTeorisi” olmak üzere 8 ders sınıfına bölünerek incelenmiştir. Sonuç olarak ders çeşitliliğinin anabilim dalları arasında düzenli dağılım göstermediği, özellikle Matematik alanındaki ders çeşitliliğinin az olduğu ve seçmeli derslerde öğrencilere ders çeşitliliği sağlandığı ve öğrencilere istedikleri alanlarda uzmanlaşabilme hakkı verildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri madenciliği, naive bayes algoritması, j48 algoritması, eğitim, karar ağaçları, elektrik elektronik mühendisliği programı

## **Giriş**

Bilişim ve teknoloji dünyasında artan gelişmeler, kullanılan veri çeşitliliğinin ve miktarının artışına sebep olmuştur. Günümüzde her yaştan, her meslekten, özellikten insanın interneti sıklıkla kullanıyor olması büyük miktarda verinin oluşmasını sağlamış ve bu durum da büyük kapasiteli veri tabanlarının ve veri ambarlarının oluşturulmasını gerektirmiştir. Ancak bilinçsiz kullanım sonucunda, bu verilerin büyük kısmı anlamsız veri yığınları halindedir ve bu veriler işlenmediği sürece bir anlam ifade etmemektedir (Özbay, 2015). Anlamsız veri yığından anlamı verilerin üretilmesi için verilerin işlenmesi, verilerin analiz edilmesi, verilerin uygun formata dönüştürülmesi gibi işlemlerin tamamına “Veri Madenciliği” adı verilmektedir (Dolgun& Özdemir, 2009). Veri

madenciliği algoritmaları sonucunda, tek başına anlamlı olmayan verilerin arasında anlamlı ilişkiler kurulabilir, anlamsız veriler arasındaki fark edilmeyen anlamlı veriler açığa çıkartılabilir, geçmişte toplanan veriler işlenerek geleceğe yönelik kullanılabilir veriler elde edilebilir ve bu veriler ile farklı birçok uygulama gerçekleştirilebilir (Savaş vd., 2012). Veri madenciliği, çoğunlukla tek başına bir çözüm elde etmek için kullanılan bir araç değil, çözüme ulaşmak için verilecek karar sürecini destekleyen problemin çözülmesinde gerekli bilgileri sağlamada kullanılan bir araçtır (Baykal, 2006). Günümüzde sağlık, pazarlama, bankacılık, finans, borsa, internet gibi alanlar başta olmak üzere pek çok farklı alanda veri madenciliği uygulamaları yapılmaktadır. Eğitim alanı da veri madenciliği algoritmalarının sıklıkla uygulandığı bir diğer alan olarak karşımıza çıkmaktadır (Savaş vd., 2012). Bu çalışmanın benzeri Türkiye ve Avrupa birliği ülkelerindeki bilgisayar mühendisliği bölümleri lisans programı derslerinin karşılaştırılması için J48 algoritması kullanılarak yapılmıştır (Kilicer& Samli, 2018). Bu çalışmaya ek olarak Türkiye ve Avrupa birliği ülkelerindeki bilgisayar mühendisliği bölümleri lisans programı derslerinin karşılaştırılması için Naive Bayes ve J48 algoritması kullanılarak da bir çalışma yapılmıştır. (Kilicer, 2018)

## **Yöntem**

### **Araştırma Modeli**

Bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması için Weka programı kullanılmıştır. Literatürde genellikle başvuru ve sınıflandırma konusunda başarılı sonuçlar elde eden Naive Bayes ve J48 algoritmaları bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır

Naive Bayes algoritması, bir sınıflandırma/kategorileme algoritmasıdır (Usta, 2108). Bu algoritma belirli bir veri kümesindeki değerlerin frekanslarını ve kombinasyonlarını sayarak bir olasılık kümesini hesaplayan basit bir olasılıksal sınıflandırıcıdır (Patil& Sherekar, 2013). Naive Bayes algoritması koşullu olasılıklara dayanarak hedef sınıftaki belirli bir değer gerçekleşmesi olasılığını inceler ve buna dayalı olarak hedef sınıfın değerini tahmin eder. Bu sınıflandırmada sisteme belirli bir oranda öğretilmiş veri sunulur. Bu verilerin bir sınıfı/kategorisi bulunmalıdır. Öğretilmiş veriler üzerinde yapılan olasılık işlemleri ile, sisteme sunulan yeni test verileri, daha önce elde edilmiş olasılık değerlerine göre işlenir ve verilen test verisinin hangi kategoride olduğu tespit edilmeye çalışılır (Usta, 2108).

J48, basit C4.5 karar ağacı algoritmasının açık kaynaklı bir Java uygulamasıdır. Bir karar ağacının iç düğümleri farklı nitelikleri gösterir; düğümler arasındaki dallar bu özelliklerin gözlemlenen örneklerde sahip olabileceği olası değerleri verirken, terminal düğümleri bize bağımlı değişkenin son değerini (sınıflandırmasını) ifade eder (Farhad& Pachauri,



2017). Karar ağaçları, ağaç yapımında sadece bir yol takip ederler ve dolayısıyla alternatif yollar boyunca olabilecek daha iyi kuralları kaçırabilmektedirler (Altıkardeş vd.,2012).

### **Veri Toplama Modeli**

Bu çalışmada, Türkiye’deki elektrik elektronik mühendisliği lisans programları derslerinin içeriklerinin karşılaştırılabilmesi için ilk olarak derslerden bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan üniversiteler sonuçların daha başarılı olabilmesi için hem devlet üniversitelerinden hem vakıf üniversitelerinden seçilmiştir. Ayrıca teknik üniversitelere ek olarak ülkemizin farklı bölgelerinden örnek üniversiteler seçilerek analiz yapılmıştır.

Türkiye’deki 15 üniversiteden toplamda 1549 dersten oluşan veri elde edilmiştir. Üniversitelerin derslerini elde edecek tek bir kaynak olmadığı için her üniversitenin ders verisi, üniversitelerin web sitelerinden faydalanarak ve üniversitelerdeki ilgili kişilere mail atılarak tek tek elde edilmiştir. Tablo 1’de Türkiye’de üzerinde çalışılan 15 üniversite (alfabetik sırada), gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye’de incelenen üniversiteler

Beykent Üniversitesi	İstanbul Teknik Üniversitesi
Boğaziçi Üniversitesi	Kadir Has Üniversitesi
Erciyes Üniversitesi	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fırat Üniversitesi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Gaziantep Üniversitesi	Sakarya Üniversitesi
Gebze Teknik Üniversitesi	Bursa Uludağ Üniversitesi
İnönü Üniversitesi	

Bu çalışmada, veri setini oluşturan dersler, Naive Bayes ve J48 algoritmaları ile “ElektrikTesisleri, Elektronik, Kontrol Ve Kumanda Sistemleri, Telekomünikasyon, Bolumdisi Secmeli, Bolumici Secmeli, Matematik, Devreler Ve Sistemler Teorisi” olmak üzere 8 sınıfa bölünmüştür. Ders sınıfları oluşturularak Türkiye’deki eğitimde, derslerin hangi alanlarda yoğunluklu olduğu, hangi kısımlarda eksiklerin olduğu, hangi alanlarla ilgili derslere daha ağırlık verilmesi gerektiğinin tespit edilmesi, bu doğrultuda Türkiye’deki eğitimde göze çarpan eksikliklerin belirlenmesi ve eğitim kalitesinin yükseltilmesi amacıyla önerilerde bulunulması hedeflenmiştir. Her ders sınıfı için örnek ders listesi belirlenirken bazı derslerin isimleri Türkçe bazı derslerin isimleri ise İngilizce seçilmiştir. Bunun sebebi, Türkiye’deki elektrik elektronik lisans programlarından toplanan derslerin bazıları Türkçe isimli iken bazıları İngilizce olması ve verilerin düzgün analiz edilebilmesi için oluşturulan eğitim dosyasının da veri dosyasına uygun olarak düzenlenmesi

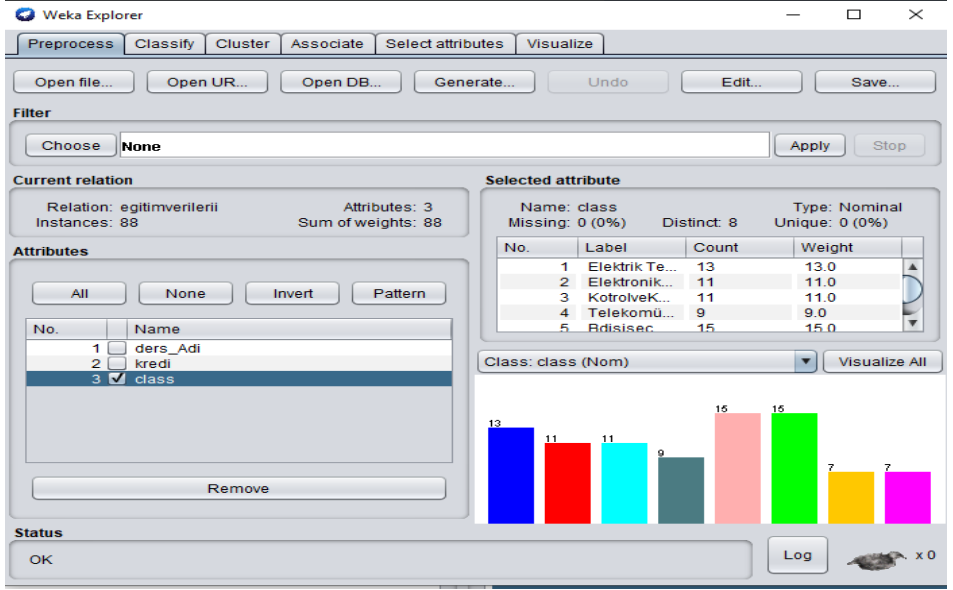
gerektiğidir. Tablo 2’de Türkiye her ders sınıfı için bazı örnek dersler yer almaktadır.

**Tablo 2.** Türkiye’deki ders sınıfları için bazı örnek dersler

Matematik	Lineer Cebir Ve Uygulamaları
	Mühendisler İçin Lineer Cebir
	Mathematics I
	Matematik
	Engineering Mathematics
BolumdisiSeçmeli	Genel Müzik Kültürü
	Sosyoloji
	Uygurluk Tarihi
	Mühendislik Ekonomisi
	Technical English
BolumiciSeçmeli	Power Electronic Circuits
	Digital Systems And Signal Processing
	Automatic Control Systems
	Güç Dağıtım Sistemleri
	Mikrodalga Tekniğı
DevrelerVeSistemlerTeorisi	Devre Analizi I
	Modern Kontrol Sistemleri
	Nonlineer Kontrol
	Devre Sentezi
	Circuit Laboratory
ElektrikTesisleri	Elektrik Makinaları I
	Electrical Machines II
	Power Systems II
	High Voltage Techniques I
	Güç Elektroniğı
KontrolVeKumandaSistemleri	Modern Kontrol Teknikleri
	Kontrol Ve Otomasyon
	Modern Vehicle Technology
	Microprocessors I
	Kontrol Sistemleri
Telekomünikasyon	Communication Systems
	Mobile Communication Systems
	Optimizasyon Yöntemleri
	Sinyaller Ve Sistemler
	İletişim Kuramı I
Elektronik	Elektronik Devreler I
	Analog Tüm Devreler
	VLSI Tasarımı

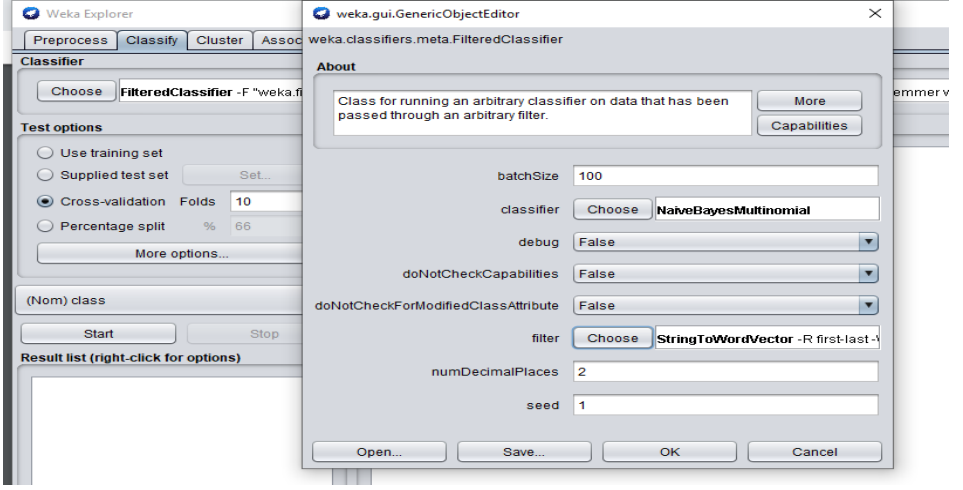
## Bulgular

Türkiye’deki üniversitelerden elde edilen derslerin isimleri, kredi bilgileri ve sınıf bilgileri ile beraber bir eğitim seti oluşturulmuş, ardından veri madenciliği sınıflandırma işlemlerinde kullanılan Weka programında kullanılmaya uygun bir hale getirilmiştir (Şekil 1).



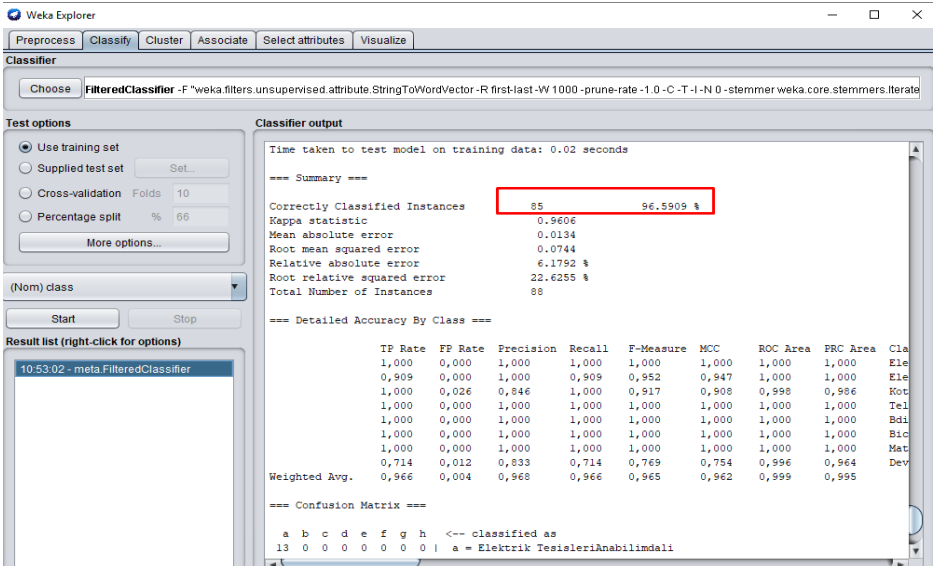
Şekil 1. Türkiye’deki ders listesinin yüklenmesi

Eğitim dosyası ilk olarak Naive Bayes algoritması seçilerek sisteme öğretilmiştir. (Şekil 2).



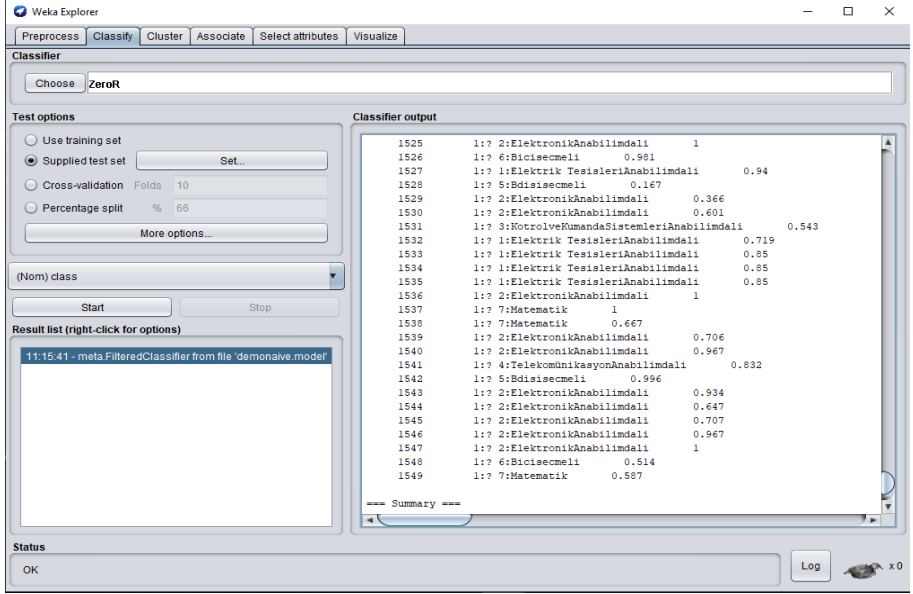
**Şekil 2.** Türkiye’deki Dersler İçin Sınıflandırma Algoritmasının Seçilmesi – Naive Bayes

Şekil 3’te eğitim dosyasının çalıştırılması sonucunda elde edilen başarı oranı görülmektedir. Elde edilen %96’lık başarı oranı eğitim dosyasının başarılı bir şekilde oluşturulduğunu göstermektedir.



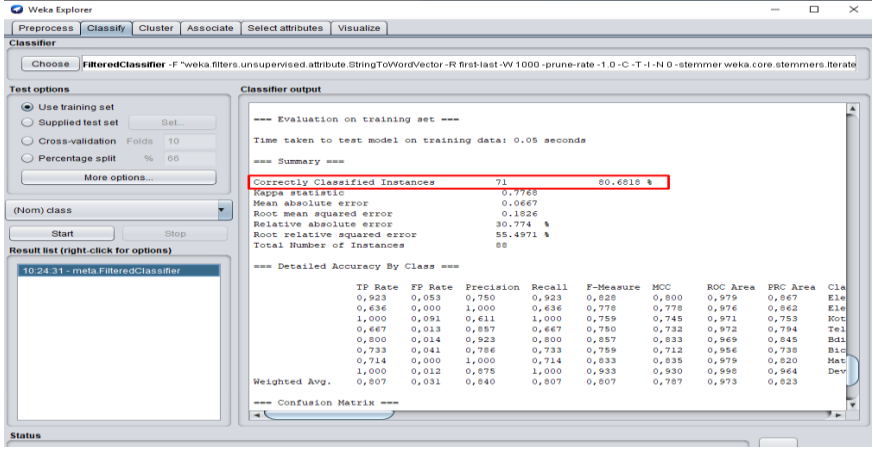
**Şekil 3.** Türkiye’deki dersler için eğitim dosyasının çalıştırılması- Naive Bayes

Her dersin hangi ders sınıfına hangi oranda ait olduğu bilgisi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Türkiye'deki derslerin Naive Bayes algoritması ile sınıflandırılması

Naive Bayes ile sınıflandırmada yapılan tüm işlemler, J48 algoritması ile sınıflandırma için de gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de Weka programında yüklenmiş olan veriler, sınıflandırma seçenekleri J48 algoritmasına göre ayarlanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Naive Bayes algoritmasında olduğu gibi ilk olarak eğitim verileri weka isimli programa yüklenmiştir. Şekil 5'te eğitim dosyasının çalıştırılması sonucunda elde edilen başarı oranı görülmektedir. Elde edilen başarı oranı %80.68'dir. Naive Bayes ile sınıflandırmada yapılan tüm işlemler, J48 algoritması ile sınıflandırma için de gerçekleştirilmiştir. Weka programına yüklenmiş olan veriler, sınıflandırma seçenekleri J48 algoritmasına göre ayarlanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Türkiye’deki dersler için eğitim dosyasının çalıştırılması J48

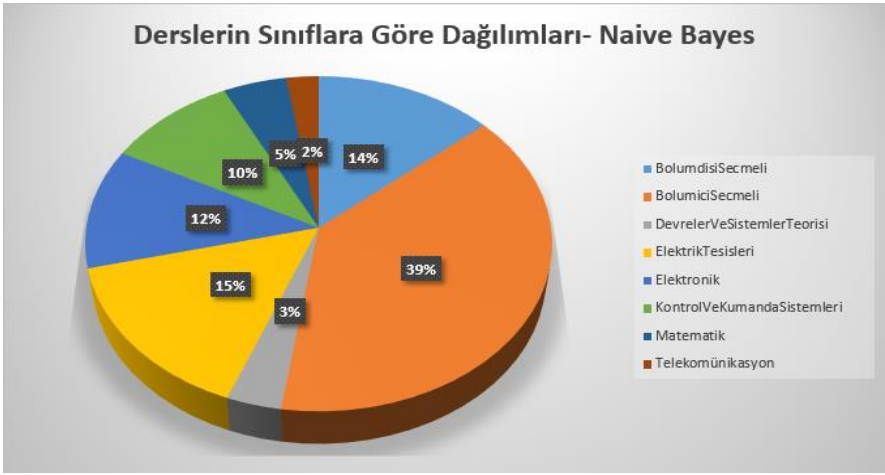
Bu çalışmada, Türkiye’deki üniversitelerin elektrik elektronik mühendisliği lisans programlarından elde edilen ders verileri, Naive Bayes ve J48 Algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sırasıyla Tablo 3’te Türkiye’deki derslerin Naive Bayes ile sınıflandırılması; Tablo 4’te Türkiye’deki derslerin J48 ile sınıflandırılması gösterilmiştir. Sırasıyla Şekil 6’da Naive Bayes Algoritması’na göre Türkiye’deki derslerin dağılımı, Şekil 7’de ise J48 Algoritması’na göre Türkiye’deki derslerin dağılımı verilmiştir.

**Tablo 3.** Naive Bayes algoritmasına göre Türkiye’deki derslerin dağılımı

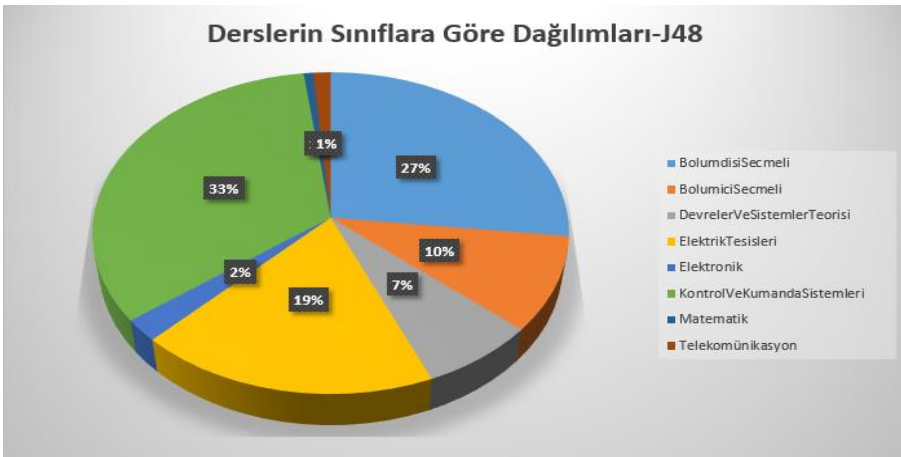
Ders Sınıfı	Ders Sayısı
BolumdisiSecmeli	211
BolumiciSecmeli	600
DevrelerVeSistemlerTeorisi	54
ElektrikTesisleri	237
Elektronik	180
KontrolVeKumandaSistemleri	154
Matematik	75
Telekomünikasyon	38

**Tablo 4.** J48 algoritmasına göre Türkiye’deki derslerin dağılımı

Ders Sınıfı	Ders Sayısı
BolumdisiSecmeli	416
BolumiciSecmeli	149
DevrelerVeSistemlerTeorisi	112
ElektrikTesisleri	290
Elektronik	35
KontrolVeKumandaSistemleri	518
Matematik	11
Telekomünikasyon	20



**Şekil 6.** Naive Bayes algoritmasına göre Türkiye’deki derslerin dağılımı



**Şekil 7.** J48 algoritmasına göre Türkiye’deki derslerin dağılımı

## Sonuç ve Öneriler

### Sonuç

Bu çalışmada, veri madenciliği yöntemleri ile ülkemiz üniversitelerinde verilmekte olan elektrik elektronik mühendisliği lisans programlarındaki derslerin çeşitliliklerinin anabilim dallarına göre dağılımları karşılaştırılmıştır. Bu sayede, elektrik elektronik mühendisliğinden mezun olan öğrencilerin almış oldukları eğitim çeşitliliğini inceleyerek ağırlık verilmesi gereken anabilim dalları tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Mühendislik eğitiminde temel bir öneme sahip Matematik Dersleri sınıfının oranı, Naive Bayes algoritmasına göre %5 gibi bir orana sahiptir. Mühendisliğin temelini oluşturan ve mühendislik yeteneğinin kazanılmasını sağlayan matematik dersleri konusunda biraz daha çeşitlilik sağlanarak daha güçlü bir mühendislik alt yapısı ve daha iyi bir matematiksel düşünme yeteneği oluşturulmalıdır.
- Naive Bayes ve J48 algoritması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde seçmeli derslerin çeşitliliğinin neredeyse en yüksek oranlarda oldukları görülmektedir. Bu durum öğrencilerin bölüm dışı seçmeli dersler ile kendilerini geliştirme ve bölüm içi seçmeli dersler ile de istediklerini anabilim dalında kendilerini istedikleri gibi geliştirme imkanı sağlamaktadır.
- Elektrik tesisleri anabilim dalının her iki algoritmaya göre de sonuçlarının yüksek olduğu görülmüştür.
- Telekomünikasyon anabilim dalına ait olan ders çeşitlilikleri incelendiğinde ise bu oranın Naive ve J48 algoritmalarında sırasıyla %2 ve %1 olduğu görülmüştür. Bu durum gösteriyor ki bu alanda öğrencilerin yeterli düzeyde eğitim alabilmeleri için ders çeşitliliğinin artırılmasına ve yeni derslerin açılmasına ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.
- Devreler ve sistemler alanındaki ders çeşitliliğinin de yeteri kadar olmadığı ve bu alanda da yeni derslerin açılması gerektiği sonucuna ulaşılabilir.

Elde edilen sonuçlara göre, elektrik elektronik mühendisliği lisans programlarına ait en büyük eksikliğin, mühendisliğin temel direği olan Matematik Dersleri sınıfındaki eksiklik olduğu görülmektedir. Ancak, Kontrol ve Kumanda Sistemleri ve seçmeli derslerin çeşitliliğinin ümit verici olduğu da elde edilen diğer bir sonuçtur. Yazarlar, gelecek çalışmalarda daha fazla üniversiteyi ders içeriklerini, ders kredilerini, derslerin seçmeli/zorunlu olmasını ve diğer farklı özelliklerini de işleme katarak yeni analizler gerçekleştirmeyi hedeflemektedir.



## Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçların daha genelleştirilebilmesi için daha fazla üniversiteden veri toplanarak incelenmelidir.

## Kaynaklar

Altıkardeş, A., Erdal, H., Fevzi BABA, F. ve Fak, A. ABPM Ölçümü olmaksızın karar ağaçları algoritması ile Non- Dipper/Dipper Öngörüsü, <http://www.turkmla.org/kongre2012/cd/pdf-format/77-86.pdf>, Yayın Tarihi Kasım 17, 2012, Erişim Tarihi Aralık,18,2018.

Baykal, A. (2006). Veri Madenciliği Uygulama Alanları. Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 7, 95-107.

Dolgun, Ö. M., Özdemir, T., G. ve Oğuz, D. (2009). Veri Madenciliğinde Yapısal Olmayan Verinin Analizi: Metin Ve Web Madenciliği. İstatistikçiler Dergisi, 2(2), 48-58.

Farhad Alam, F. ve Pachauri, S. (2017). Comparative Study of J48, Naive Bayes and One-R Classification Technique for Credit Card Fraud Detection using WEKA. Advances in Computational Sciences and Technology, 10(6 ), 1731-1743.

Kilicer, S., Samli, R., “Comparison of Turkey ad European Union Computer Engineering Programs”, International Conference On Advanced Technologies, Computer Engineering And Science, 11-13 Mayıs 2018, Karabük Üniversitesi, Karabük 2018, s610-613.

Kilicer, S., (2018). Veri Madenciliği İle Türkiye’deki Ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Bilgisayar Mühendisliği Bölümleri Ders İçeriklerinin Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özbay, Ö. (2015). Veri Madenciliği Kavramı Ve Eğitimde Veri Madenciliği Uygulamaları. Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi, 2(5), 262-272.

Savaş, S., Topaloğlu, N. ve Mithat Yılmaz, M. (2012). Veri Madenciliği Ve Türkiye’deki Uygulama Örnekleri. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(21), 1-23.

Usta, R., Naive Bayes Sınıflandırma Algoritması, <https://kodedu.com/2014/05/naive-bayes-siniflandirma-algoritmasi/>, Yayın Tarihi Mayıs 28, 2014, Erişim Tarihi Aralık 12, 2018

Patil, T. Shrekar, S. (2013), Performance Analysis of Naive Bayes and J48 Classification Algorithm for Data Classification. International Journal Of Computer Science And Applications, 6(2), 256-261.

# APPLICATION OF K-MEANS AND HIERARCHICAL CLUSTERING ALGORITHMS ON CHRONIC KIDNEY DISEASE DATASET AND COMPARATIVE ANALYSIS

Nur UYLAŞ SATI\* & Aşlı GÜLER SERİNKEN\*\*

\*Mugla Sıtkı Kocman University, Bodrum Maritime Vocational School,  
nursati@mu.edu.tr

\*\*Yasar University, Vocational School, asli.guler@yasar.edu.tr

**Abstract:** Clustering is an unsupervised learning system in data mining. The main aim in the clustering method is to divide the dataset into clusters considering the similarity on data points. This method has many applications in different areas such as medicine, business, engineering, bioinformatics, banking, education, etc. In this study, two basic clustering algorithms are explained by presenting their mathematical models. In numerical experiments, these algorithms are implemented on “Chronic Kidney Disease” real-world dataset and the obtained results according to accuracy and running times are presented in tables and also graphics are presented with screenshots in figures. Moreover, three more real-world datasets are used in implementations for comparative analysis.

**Keywords:** Clustering,  $k$ -means algorithm, hierarchical clustering algorithm

## Introduction

Data mining is the process of analyzing data from different perspectives and summarizing it into useful information that can be used to increase revenue, cuts costs, or both. Data mining is also defined as the analysis step of knowledge discovery in databases. In data mining, there are two types of learning systems; supervised learning and unsupervised learning.

In supervised learning, the main subject is determining rules on the training set. This set consists of some observations assuming that the classes of the data are known. To find the rules, known training subsets of the given classes are used and utility of the obtained rules is examined on the test set. In supervised learning, decision trees, neural network, multilayer perceptron, support vector machine methods are used commonly.

In unsupervised learning the training set only consists of input, the classes of data are unknown. The aim is to cluster the input information in classes basis of their statistical properties only. Distances and normalization,  $k$ -means, self-organizing maps are unsupervised models for different types of clustering (Kaushik & Mathur, 2014).

The clustering method, one of the main field of data mining, is an unsupervised classification technique which aims to divide the dataset into clusters considering the similarity on data points. This method has many applications in different areas such as medicine, business, engineering, bioinformatics, banking, education, etc.

In this study, the  $k$ -means algorithm and hierarchical clustering algorithm which uses recursively partitioning and hierarchical methods are explained and presented with their mathematical models. To see the efficiency of these algorithms and comparative analysis, they are implemented on real-world datasets which are available in UCI machine learning repository. Obtained results according to accuracy values and running times are presented in tables.

### Simple $k$ -means Algorithm

Simple  $k$ -means clustering algorithm, a partitioning method, was firstly defined by Mac Queen in 1967 (Mac Queen, 1967). It has been modified and improved in some researches, these modified algorithms can be found in the review on  $k$ -means algorithm by Shukla and Naganna (Shukla & Naganna, 2014). The aim in  $k$ -means clustering approach is to find a partition such that the distance measure between the empirical mean of a cluster and the points in the cluster is minimized (Dubey & Choubey, 2017).

Mathematical model of the  $k$ -means clustering problem can be defined as follows:

Given a set of observations  $(x_1, \dots, x_m)$  where each observation is a  $d$ -dimensional real vector,  $k$ -means clustering aims to partition the  $m$  observations into  $k$  sets ( $k \leq m$ ),  $S = \{S_1, \dots, S_k\}$  so as to minimize the distance determined by the experimenter in an  $L_p$  norm:

$$\arg \min_s \sum \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|_p$$

where  $\mu_i$  is the mean point in  $S_i$  and where  $\|\cdot\|_p$  is the  $L_p$  norm as follows:

$$L_p(x - y) = \left( \sum_{i=1}^L |x_i - y_i|^p \right)^{1/p}$$

When  $p=1$ , it is called the Manhattan Norm or City-block and when  $p=2$  it is called Euclidian norm.

$K$ -means is a preferred clustering method as it is easy to implement and effective in large datasets. The disadvantage of applying  $k$ -means algorithm is about predefining the numbers of the clusters and initial center points since these two parameters are so important on the final results.

### **Hierarchical Clustering Algorithm**

In hierarchical clustering, the aim is building a hierarchy of clusters. It has two types as agglomerative and divisive. Agglomerative clustering is a "bottom-up" approach such that analysis are started from a finite number of clusters, and pairs of clusters are combined as one moves up the hierarchy. At each iteration of an agglomerative algorithm, two closest groups are chosen to merge. In divisive clustering, "top-down" approach is used. All observations start in one cluster, and splits are performed recursively as one moves down the hierarchy (Rokach & Zaimon 2005). In this study, agglomerative "bottom-up" approach will be used in the experiments. If single-link clustering is performed, this distance is defined as the smallest distance between all possible pair of elements of the two groups:

$$d(G_i, G_j) = \min_{x^r \in G_i, x^s \in G_j} d(x^r, x^s)$$

The process stops when  $k$  number of clusters is achieved. After an agglomerative hierarchical clustering, the results are drawn as a hierarchical structure known as a dendrogram generally. Hierarchical clustering produces a hierarchy and, it is easier to determine the numbers of clusters by the dendrogram. Alongside these advantages, it has some disadvantages. This method is not effective in the implementations on the large datasets because of its time complexity and also if an instance is assigned to a cluster, it cannot be changed during the process. The performance of the algorithm depends on the initial clusters.

### **Numerical Experiments and Comparative Analysis**

In this case study, all implementations are applied on The Waikato Environment of Knowledge Analysis (WEKA) which is a well-known

machine learning tool used in data mining studies (Garner, 1995). The dataset used for the case study is accessible in UCI Machine Learning Repository and it is called as “chronic-kidney-disease” (Lichman, 2019). The source of the dataset is Apollo Hospital in India and it has been collected from the hospital for nearly 2 months of period. 24 nominal and numerical values are used for the attributes. Detailed information about the attributes is given in Table 1 (Lichman, 2019).

**Table 1.** Details about the attributes

1.Age(numerical)	age in years
2.Blood Pressure(numerical)	Bp- in mm/Hg
3.Specific Gravity(nominal)	Sg (1.005,1.010,1.015,1.020,1.025)
4.Albumin(nominal)	al - (0,1,2,3,4,5)
5.Sugar(nominal)	su - (0,1,2,3,4,5)
6.Red Blood Cells(nominal)	rbc - (normal,abnormal)
7.Pus Cell (nominal)	pc - (normal,abnormal)
8.Pus Cell clumps(nominal)	pcc - (present,notpresent)
9.Bacteria(nominal)	ba - (present,notpresent)
10.Blood Glucose Random(numerical)	Bgr - in mgs/dl
11.Blood Urea(numerical)	Bu - in mgs/dl
12.Serum Creatinine(numerical)	Sc - in mgs/dl
13.Sodium(numerical)	Sod - in mEq/L
14.Potassium(numerical)	Pot - in mEq/L
15.Hemoglobin(numerical)	hemo in gms
16.Packed Cell Volume(numerical)	pcv
17.White Blood Cell Count(numerical)	Wc - in cells/cumm
18.Red Blood Cell Count(numerical)	Rc - in millions/cmm
19.Hypertension(nominal)	htn - (yes,no)
20.Diabetes Mellitus(nominal)	dm - (yes,no)
21.Coronary Artery Disease(nominal)	cad - (yes,no)
22.Appetite(nominal)	appet - (good,poor)
23.Pedal Edema(nominal)	pe - (yes,no)
24.Anemia(nominal)	ane - (yes,no)
25.Class (nominal)	class - (ckd,notckd)

It is a labeled dataset to analyze the performance of the clustering algorithms in terms of accuracies. The accuracies are calculated by comparing the new labeling with the original labeling. For this purpose in WEKA applications “classes to clusters evaluation” is used. Since we have two classes of labels (ckd-notckd) in the dataset, we determine the cluster

numbers in the evaluations as “2”. The details about the dataset is given in Table 2.

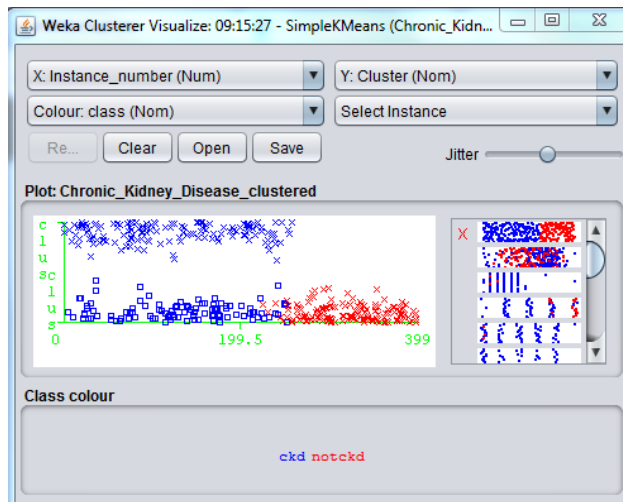
**Table 2.** Details of the dataset “chronic-kidney-disease (ckd)”

Number of Instances	Number of Attributes	Number of classes	Number of labeled instances	Percentages of labeled instances
400	25	2	250 (ckd)	62,5%
			150 (notckd)	37,5%

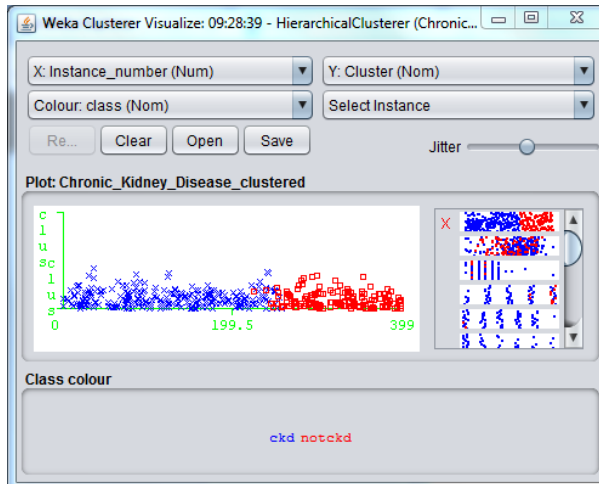
Obtained results after the implementations are given in Table 3 and shown in Figure 1 and Figure 2.

**Table 3.** Results of numerical experiments

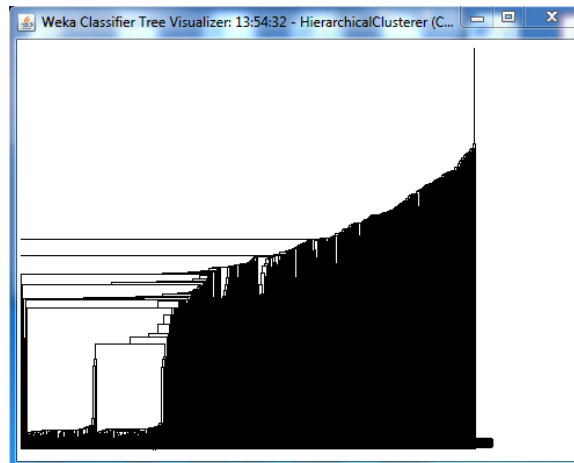
Algorithms	Running Times (sec)	Accuracy (%)
Simple <i>k</i> -means by Euclidian distance	0.03 sec.	74.25 %
Simple <i>k</i> -means by Manhattan distance	0.03 sec.	<b>74.75 %</b>
Hierarchical	0.29 sec.	62.5 %



**Figure 1.** Simple *k*-means cluster assignments



**Figure 2.** Hierarchical assignments



**Figure 3.** The obtained dendrogram after hierarchical clustering

In Figure 1 and 2, the rectangles represent the incorrectly clustered instances. From this point of view, it can be told that hierarchical clustering method cannot cluster any “notckd” instances. The 62.5 accuracy result is obtained just from the 250 numbers of ”ckd” instances. Also as can be seen in Figure 3, it is so hard to analyze the dendrogram graphics for large datasets. When the two clustering methods are compared according to this case study, it is seen that simple  $k$ -means is more effective than hierarchical clustering in terms of the results of running times and accuracy values.

For more confidential analyze, the experiments via  $k$ -means and hierarchical clustering is made on 3 more real-world datasets given in

Table 4 and the obtained results are shown in Table 5 in terms of accuracy values and running times.

**Table 4.** Details of real-world datasets

	Number of instances	Number of attributes	Number of classes
Diabetes	768	9	2
Blood	748	5	2
Wdbc	569	31	2

**Table 5.** Results of real-world datasets

		Running time	Accuracy
<i>k</i> -means	Diabetes	<b>0.01</b>	<b>66.80</b>
	Blood	<b>0.03</b>	58.83
	Wdbc	<b>0.03</b>	<b>92.8</b>
hierarchical	Diabetes	4.00	65.23
	Blood	1.00	<b>75.94</b>
	Wdbc	2.03	63.10

When the results are analyzed, it is seen that for the whole implementations, the lowest running time values are obtained at just implementations via the *k*-means method. It is one of important strength of *k*-means method for the problems with large datasets. The time complexity of *k*-means is defined as  $O(tkn)$  where  $n$  is the number of the data,  $k$  is the number of the clusters and  $t$  is the number of iterations. The time complexity of the hierarchical clustering method is defined with an exponential function  $O(n^2 \log n)$ , which makes it too slow for even medium datasets.

Besides, the highest accuracy values are obtained in the implementations via *k*-means method except for Blood dataset. This can be because of the outliers. The most important weakness of the *k*-means method is dealing with outliers. Having too many outliers in the dataset can cause wrong clustering.

## Conclusion

In this study, *k*-means and hierarchical clustering algorithms are applied to the real-world dataset called “chronic kidney disease”. In the implementations, WEKA tool is used with the “classes to clusters evaluation” since in the performance analysis accuracy values are used. Besides, obtained graphics and dendrogram are presented in figures. The best results are obtained by the *k*-means algorithm.

For a better analysis, the same algorithms are applied to three more real-world datasets. Obtained results show that the *k*-means algorithm is more



effective than hierarchical clustering algorithm in terms of running times and accuracy values for large datasets.

## References

- Kaushik, M. & Mathur, B. (2014). Comparative Study of *k*-means and Hierarchical Clustering Techniques, International Journal of Software and Hardware Research in Engineering, Vol(2), Issue(6), 93-98.
- MacQueen, J. B. (1967). Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, University of California Press. pp. 281–297, 1967.
- Shukla, S. & Naganna, S. (2014). A Review on *k*-means Data Clustering Approach, Journal of Information & Computation Technology, Vol(4), Number 17, pp. 1847-1860.
- Dubey, A. & Choubey, A. (2017). A Systematic Review on *k*-Means Clustering Techniques, International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), ISSN 2278 – 0882 Vol(6), Issue 6, June.
- Rokach, L. & Zaimon, O.Z. (2005). Chapter 15: Clustering Methods, Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, Springer, 321-352.
- Garner, S. R. (1995) WEKA: The waikato environment for knowledge analysis. In: Proc. New Zealand Computer Science Research Students Conference 57-64.
- Lichman, M. (2019). “UCI Machine Learning Repository”, <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.

# KOMPLEKS MÜHENDİSLİK TASARIM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜLMESİ İÇİN HİBRİT BENEKLİ SIRTLAN – JAYA OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

**Mert Sinan TURGUT\* & Oğuz Emrah TURGUT\*\***

\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, sinanturgut@me.com

\*\*İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,  
oeturgut@hotmail.com

**Özet:** Bu çalışma kapsamında kompleks mühendislik tasarım problemlerinin çözülmesi için önerilen Hibrit Benekli Sırtlan – Jaya Optimizasyon Algoritmasının etkinliği ve optimizasyon performansı irdelencektir. Önerilen algoritma Gri Kurt Algoritma konspetinden esinlererek tasarlanmıştır fakat bu algoritmanın mutasyon denklemleri kullanılmamaktadır. Benekli Sırtlan, Global Eniyi Arama ve Jaya algoritmalarının manipülasyon şemaları değişmeli olarak kullanılacaktır. Önerilen optimizasyon algoritmasının eksplorasyon fazı Benekli Sırtlan Algoritması'nın denklemleriyle, intensifikasyon fazı ise Global Eniyi Arama ve Jaya Algoritmaları'nın denklemleri stokastik bir biçimde uygulanmıştır. Ardından önerilen hibrit algoritma unimodel ve multimodel optimizasyon test fonksiyonlarına uygulanmış, elde edilen sonuçlar Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Jaya Algoritması, Benekli Sırtlan Algoritması ve Gri Kurt Algoritması'ndan elde edilen sonuçlar ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. 29 adet optimizasyon test fonksiyonundan 14'ünde önerilen algoritma karşılaştırılan algoritmalar üstünlük kurmuştur. Bunu yanında karşılaştırılan algoritmaların çalışma zamanları da incelenmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda önerilen algoritmanın sonuç kesinliği ve çalışma zamanı performansının kayda değer bir biçimde diğer algoritmalarından iyi olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Benekli Sırtlan Algoritması, Jaya Algoritması, Global Eniyi Arama Algoritması, Hibrit Algoritmalar, Optimizasyon Test Fonksiyonları

## Giriş

Tasarım optimizasyonu, belirli kısıtlar altında tanımlanmış bir amaç fonksiyonunun optimal parametrelerini elde etmek için oluşturulan yordamlar bütünü olarak belirtilebilir. Bu çeşit problemlere lineer olmayan kısıtlı optimizasyon problemleri denir. Mühendislik tasarım problemlerinin büyük bir çoğunluğu karışık tamsayılı lineer olmayan optimizasyon problemlerine örnek olarak gösterilebilir. Bu çeşit problemler konvensiyonel türev tabanlı algoritmalar ile çözülemeyecek

biçimde komplekstir. Etkin, kesin ve doğru bir çözüm için literatürde bir çok global deterministik algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmalar bir seviyeye kadar faydalı sonuçlar üretse de bu tür tasarım problemlerin karakteristik altyapısının başlangıç tahmin değerlerine bağlı olması ve lineer olmayan yapılarından dolayı bazı noktalarda türevlenememesi gibi dezavantajları bu algoritmaları geri plana itmiştir.

Deterministik algoritmaların kompleks tasarım problemleri üzerindeki başarısızlığı araştırmacıları yeni çözümler üretmeye yöneltmiştir. Sezgisel algoritmaların stokastik yapısı ve bu tür çözüm prosedürlerinin türevsel bir algoritmik işleyişinin bulunmaması tasarım problemlerinin çözümü için faydalı bir alternatif sunmuştur. Yukarıda sıralanan karakteristik özelliklerinden dolayı sezgisel yöntemler optimizasyon problemlerine yaklaşık çözümler üretebilme kapasitesine sahiptir. Benzeşimli Tavlama (Kirkpatrick, 1983), Tabu Arama (Glover, 1986) ve Karınca Kolonisi Algoritması (Dorigo,1992) sezgisel algoritmalara birer örnek olarak gösterilebilir.

Son on yıl içerisinde literatür çalışmalarında mühendislik problemlerine metasezgisel problemlerin uygulanmasında bir artış gözlemlenmiştir. Metasezgisel algoritmalar değişik çeşit ve tipte optimizasyon problemlerine uygulanabilen sezgisel yöntemlere denir. Başka bir deyişle metasezgisel algoritmalar az sayıda modifikasyonla uygulanacak optimizasyon problemine adapte edilebilen spesifik yapıda tanımlanmış çözüm prosedürleridir. Literatürde en çok uygulanan metasezgisel algoritmalarından bazıları Genetik Algoritmalar (Holland,1975), Diferansiyel Gelişim Algoritması (Storn ve Price,1997) , Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (Kennedy ve Eberhart,1995) olarak gösterilebilir. Metasezgisel algoritmaların kompleks mühendislik problemlerine uygulanması ile ilgili literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Gandomi ve arkadaşları (2011) yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü için Ateşböceği Optimizasyonu Algoritmasını önermiştir. He ve Wang (2007) Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasını kısıtlı mühendislik tasarım problemlerine uygulamış ve umut veren sonuçlar elde etmiştir. Coello (2000) önerdiği adaptif penaltı yöntemini Genetik algoritmalara uygulayarak, bu yöntemle değişik yapıda tanımlanmış mühendislik tasarımı problemleri çözmüştür. Buna benzer bir biçimde, Gandomi ve arkadaşları (2013) Guguk Kuşu Arama Algoritmasını değişik yapıdaki lineer olmayan kısıtlı mühendislik problemlerine uygulamıştır.

Literatüre alışmaları detaylı bir biçimde incelendiğinde hibrit optimizasyon algoritmalarının da bu kapsamda önemli bir yeri olduğu gözlemlenebilir. İki veya daha çok metasezgisel algoritmanın bir biçimde ortak kullanımını sağlayarak farklı bir algoritmik konsept oluşturması hibrit (melez) algoritmalar ile mümkündür. Hibrit algoritmaların geliştirilmesindeki ana motivasyon birleştirilen her algoritmanın kendine has özelliklerinden faydalanarak daha etkin ve efektif zm stratejileri geliştirmektir. Geliştirilen hibrit algoritmanın st düzey performansa ulaşabilmesi için hibritleştirilen birden çok algoritmayı uygun yapıda birleştirilmesi gerekmektedir. Fakat bu oldukça zaman alıcı ve algoritma yapısı recrbesi gerektiren bir süreçtir.

Metasezgisel algoritmalar ile lokal arama metodlarını hibritleştirmek son zamanlarda populerlik kazanmıştır. Metasezgisel algoritmanın elde ettiği optimal sonuçlar üzerine bir lokal arama algoritması uygulanarak global optimum zmler elde edilmek istenmektedir. Literatürde bu Şekilde geliştirilmiş bir çok hibrit algoritma bulunmaktadır. rnek olarak vermek gerekirse, Vasant ve Barsoum (2009) Genetik Algoritma ile ettiği sonuçlar üzerine izgi Arama Algoritması olarak tanımlanan bir yerel arama algoritmasını uygulayarak optimum sonucu elde etmeye çalışmışlardır. Ayrından Vasant (2010) Genetik Algoritma ile Benzetimli Tavlama Algoritmasının hibritleşmesini sağladı. Hibritleşme erevesinde Genetik Algoritma'dan elde edilen sonuçlar üzerine efektif bir yerel arama algoritması da olarak bilinen Benzetimli Tavlama algoritması uygulandı

Vasant (2013) izgi Arama , Benzetimli Tavlama ve rnt Arama algoritmalarını birleştirerek etkin bir hibrit algoritma oluşturmuştur. Bu hibrit algoritmanın özelliği birden çok yerel arama algoritmasının birleşiminden oluşmasıdır.

Şimdiye kadar bahsedilen algoritmalar göreceli eski algoritmalar olup optimizasyon kapasiteleri sınırlı yöntemlerdir. Özellikle son on yıl içinde geliştirilen metasezgisel tabanlı hibrit algoritmalar literatürde fazlasıyla yer almaktadır. Konstantinov ve arkadaşları (2019) Gri Kurt Algoritması ve Arılar Algoritmasını birleştirmişler ve hibrit algoritmayı değişik yapıda ve karakteristiklerdeki optimizasyon test problemlerin uygulamıştır. Chen ve arkadaşları (2019) Havai Fişek Algoritması (Fireworks Algorithm) ile Armoni Arama Algoritmasını (Harmony Search) birleştirerek hibrit algoritmayı 30 adet optimizasyon test fonksiyonuna uygulamıştır. Sonuçları literatürde yer alan farklı algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Mortaza ve arkadaşları (2018) Ğretme ve Ğrenme Tabanlı Algoritma (Teaching-Learning based Optimization) ile Parçacık

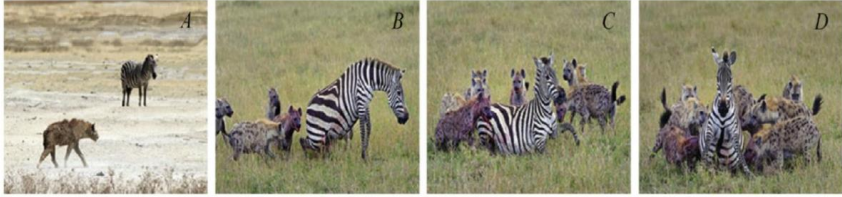
Sürü Optimizasyonu algoritmalarını birleştirerek «İnteraktif Arama» adlı algoritmayı önermişlerdir. Önerilen algoritma literatürdeki diğer algoritmalar ile karşılaştırılmış ve sonuç kesinlikleri irdelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Benekli Sırtlan Algoritması (Dhiman ve Kumar,2017) – Jaya algoritması (Rao,2016) ve Global Eniyi Arama Algoritmasının (Turgut ve Çoban,2016) birleştirilmesi ile hibrit bir algoritma oluşturulacaktır. Fakat ilk önce bu yapıyı oluşturan algoritmaların temel algoritmik yapıları tanımlanacaktır.

## Önerilen Hibrit Algoritma

### Benekli Sırtlan Algoritması

Dhiman ve Kumar tarafından önerilen algoritma, doğadaki sırtlanların avlanma davranışını taklit ederek bir fonksiyonun optimum değerini bulmayı hedefleyen sürü tabanlı bir metasezgisel bir algoritmadır.

Benekli Sırtlanlar doğada avlanırken önce koku ve iz sürmeyle avlarını bulurlar, ardından onları takibe alırlar, sonrasında avını çevreleyip sürü halinde saldırırlar. Bu davranışlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir



Şekil . Sırtlan sürüsü, A) av arıyor, B) avını takibe alıyor, C) avını çevreliyor, D) avına saldırıyor

### Şekil 1. Sırtlan sürülerinin avlanma karakteristikleri

Benekli sırtlanların bu karakteristik avlanma davranışı aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$\vec{D}_h = \left| \vec{B} \cdot \vec{P}_p - \vec{P}(x) \right| \quad (1)$$

$$\vec{P}(x+1) = \vec{P}_p(x) - \vec{E} \cdot \vec{D} \quad (2)$$

Burada  $\vec{D}_h$  sırtlan ile avı arasındaki mesafeyi,  $x$  şu anki iterasyonu,  $\vec{B}$  ve  $\vec{E}$  katsayı vektörlerini,  $\vec{P}_p$  avın pozisyonunu ve  $\vec{P}$  sırtlanın pozisyonunu temsil etmektedir.

## Jaya Algoritması

Jaya Algoritmasının basit bir manipülasyon denklemi olup aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$X_{yeni,i,j} = X_{i,j} + rand_1(0,1)(X_{eniye,i,j} - |X_{i,j}|) - rand_2(0,1)(X_{enkötu,i,j} - |X_{i,j}|) \quad (3)$$

Bu denklemde  $X_{yeni,i,j}$  güncellenmiş popülasyon bireylerini,  $X_{i,j}$  anlık popülasyon bireylerini,  $rand_1(0,1)$  ve  $rand_2(0,1)$  birbirinden farklı 0 ile 1 arasında tanımlanmış Gauss dağılımlı rastgele sayıyı,  $X_{eniye}$  ve  $X_{enkötu}$  sırasıyla tanımlı popülasyon içinde fonksiyonel değeri en iyi ve en kötü elemanları ifade etmektedir.

## Global Eniyileme Algoritması

Global Eniyileme Algoritması, iterasyonlar sonucunda elde edilmiş en iyi sonuç üzerinden problemin global optimum çözümü elde etmeyi amaçlayan bir algoritmadır. Bu algoritma, Diferansiyel Gelişim Algoritması'nın bazı mutasyon şemalarını stokastik olarak kullanır. Bu çalışma kapsamında Global Eniyileme Algoritması'nda kullanılan manipülasyon şemalarından aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$X_{yeni,i,j} = X_{eniye,i,j} - 2.0 \times (rand_1(0,1) - 0.5) \times (X_{eniye,i,j} - X_{i,j}) \quad (4)$$

## Hibrit algoritma için önerilen yerel arama procedürü

Global Eniyileme Algoritması ve Jaya Algoritması stokastik bir biçimde hibritleştirilmiş ve efektif bir yerel arama algoritması oluşturulmuştur. Önerilen yerel arama algoritması yapısı altında görüldüğü üzere Jaya algoritması uygulanan kısımda algoritma  $X_{i,j}$  yerine  $X_{eniye,i,j}$  sonuç üzerinde yönlendirilmiştir. Bu yönlendirmedeki amaç elde edilmiş en iyi sonuç üzerinden global optimum sonucu elde etmektir.

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
    if ( $\text{rand}_1(0,1) < \text{rand}_2(0,1)$ )
       $X_{\text{yeni},i,j} = X_{\text{eniyi},i,j} + \text{rand}_3(0,1)(X_{\text{eniyi},i,j} - |X_{i,j}|) - \text{rand}_4(0,1)(X_{\text{mksm},i,j} - |X_{i,j}|)$ 
    else
       $X_{\text{yeni},i,j} = X_{\text{eniyi},i,j} - 2.0 \times (\text{rand}_5(0,1) - 0.5) \times (X_{\text{eniyi},i,j} - X_{i,j})$ 
    end
  end
end

```

**Şekil 2.** Önerilen yerel arama algoritması

### Önerilen hibrit algoritma

Bu çalışmada önerilen hibrit algoritma Gri Kurt Algoritması'ndan esinlenerek geliştirilmiştir. Gri Kurt Algoritması'nda tanımlanan populasyon içerisinde objektif fonksiyon değeri en iyi 3 eleman alınır ve bu elemanlar üzerinden en iyi sonuç elde etmeye çalışılır. Önerilen hibrit algoritma çerçevesinde Benekli Sırtlan Algoritması'nın mutasyon denklemlerinden explorasyon ile ilgili kısımlar kullanılmıştır. Explorasyon ile elde edilen faydalı ve umut veren arama bölgeleri üzerine önerilen lokal arama algoritması uygulanmıştır. Önerilen hibrit yöntemin algoritmik altyapısı aşağıda şekillerde tanımlandığı gibidir

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
     $Dh_{i,j} = |2.0 \times \text{rand}_5(0,1) \times \text{alfa}_j - X_{i,j}|$ 
     $X1_{i,j} = \text{alfa}_j - 2.0 \times \text{rand}_6(0,1) \times Dh_{i,j}$ 
  end
end

```

**Şekil 3.** Algoritma 1 – En başarılı birey (alfa) üzerinden eksplorasyon

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
    if ( $\text{rand}_7(0,1) < \text{rand}_8(0,1)$ )
       $X_{1_{\text{yeni},i,j}} = X_{\text{alfn},j} + \text{rand}_9(0,1)(X_{\text{alfn},j} - |X_{1_{i,j}}|) - \text{rand}_{10}(0,1)(X_{\text{enkön},j} - |X_{1_{i,j}}|)$ 
    else
       $X_{1_{\text{yeni},i,j}} = X_{\text{alfn},j} - 2.0 \times (\text{rand}_{11}(0,1) - 0.5) \times (X_{\text{alfn},j} - X_{1_{i,j}})$ 
    end
  end
end

```

**Şekil 4.** Algoritma 2 – alfa bireyi üzerinden yerel arama

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
    if ( $X_{i,j} < \text{Lower}_j$ ) or ( $X_{i,j} > \text{Upper}_j$ )
       $X_{i,j} = \text{Lower}_j + (\text{Upper}_j - \text{Lower}_j) \times \text{rand}(0,1)$ 
    end
  end
end

```

**Şekil 5.** Algoritma 3 – Tanımlı sınırları aşan bireyleri sınırlar içine yerleştirme

```

for  $i=1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
    if ( $\text{fitness}(X_{\text{yeni},i}) < \text{fitness}(X_{\text{eski},i})$ )
       $X_{\text{eski},i,j} = X_{\text{yeni},i,j}$ 
    end
  end
end

```

**Şekil 6.** Algoritma 4 - Populasyon bireylerini güncelleme



**for**  $i = 1$  **to**  $N$

**for**  $j = 1$  **to**  $D$

$$Dh_{i,j} = \left| 2.0 \times rand_3(0,1) \times beta_j - X_{i,j} \right|$$

$$X2_{i,j} = beta_j - 2.0 \times rand_4(0,1) \times Dh_{i,j}$$

**end**

**end**

**Şekil 7.** Algoritma 5 – İkinci en iyi bireyler (beta) üzerinden eksplorasyon

**for**  $i = 1$  **to**  $N$

**for**  $j = 1$  **to**  $D$

**if** ( $rand_{15}(0,1) < rand_{16}(0,1)$ )

$$X2_{yeni,j} = X_{betn,j} + rand_{12}(0,1) \left( X_{betn,j} - |X2_{i,j}| \right) - rand_{13}(0,1) \left( X_{enk0etn,j} - |X2_{i,j}| \right)$$

**else**

$$X2_{yeni,j} = X_{alfa,j} - 2.0 \times (rand_{14}(0,1) - 0.5) \times (X_{alfa,j} - X2_{i,j})$$

**end**

**end**

**end**

**Şekil 8.** Algoritma 6 – En iyi ikinci sonuç üzerinden yerel arama

**for**  $i = 1$  **to**  $N$

**for**  $j = 1$  **to**  $D$

$$Dh_{i,j} = \left| 2.0 \times rand_1(0,1) \times delta_j - X_{i,j} \right|$$

$$X3_{i,j} = delta_j - 2.0 \times rand_2(0,1) \times Dh_{i,j}$$

**end**

**end**

**Şekil 9.** Algoritma 7 – En iyi üçüncü sonuç üzerinden eksplorasyon

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
    if ( $\text{rand}_{17}(0,1) < \text{rand}_{18}(0,1)$ )
       $X3_{\text{yeni},i,j} = X_{\text{delta},j} + \text{rand}_{19}(0,1)(X_{\text{delta},j} - |X3_{i,j}|) - \text{rand}_{20}(0,1)(X_{\text{enkost},j} - |X3_{i,j}|)$ 
    else
       $X3_{\text{yeni},i,j} = X_{\text{delta},j} - 2.0 \times (\text{rand}_{21}(0,1) - 0.5) \times (X_{\text{delta},j} - X3_{i,j})$ 
    end
  end
end

```

**Şekil 10.** Algoritma 8 – En iyi üçüncü sonuç üzerinden yerel arama

```

for  $i = 1$  to  $N$ 
  for  $j = 1$  to  $D$ 
     $X_{i,j} = (X1_{i,j} + X2_{i,j} + X3_{i,j}) / 3$ 
  end
end

```

**Şekil 11.** Algoritma 9 – Güncellenmiş sonuçların ortalamalarını almak

Önerilen hibrit algoritmanın sözde kodu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir

```
Tanımla :  $f(x)$  - Amaç fonksiyonu ,  $D$  - Tasarım değişkenlerinin sayısı ,  $N$  - Populasyon boyutu
           Üst sınır ve Alt sınır - Tanımlı alt ve üst sınırlar ,  $Maxiter$  - Maksimum iterasyon sayısı

Adım 1: Populasyon bireylerini tanımlı üst ve alt sınırlar içinde randomize olarak oluşturun.
Adım 2: Populasyon bireylerinin içinden en iyi üç bireyi seç (alfa - beta - delta)
Adım 3: İterasyon sayısını birle eşitle ve iterasyonu başlat (iter=1)

While (iter <  $Maxiter$ )
    Adım 4 : Algoritma 1 ile en başarılı birey üzerinden (alfa) keşif yapın sağla
    Adım 5: Algoritma 3 ile tanımlı sınırları aşan bireyleri sınırlar içine yerleştir
    Adım 6: Algoritma 2 ile alfa bireyi üzerinden lokal aramayı gerçekleştir
    Adım 7: Algoritma 4 ile populasyon bireylerini güncelle
    Adım 8: Algoritma 5 ile en iyi ikinci birey (beta) üzerinden keşif yapın sağla
    Adım 9: Algoritma 3 ile tanımlı sınırları aşan bireyleri sınırlar içine yerleştir
    Adım10: Algoritma 6 ile beta bireyi üzerinden lokal aramayı gerçekleştir
    Adım11: Algoritma 4 ile populasyon bireylerini güncelle
    Adım12: Algoritma 7 ile en iyi üçüncü birey (delta) üzerinden keşif yapın sağla
    Adım13: Algoritma 3 ile tanımlı sınırları aşan bireyleri sınırlar içine yerleştir
    Adım14: Algoritma 8 ile delta bireyi üzerinden lokal aramayı gerçekleştir
    Adım15: Algoritma 4 ile populasyon bireylerini güncelle
    Adım16: Algoritma 3 ile tanımlı sınırları aşan bireyleri sınırlar içine yerleştir
    Adım16: Algoritma 9 ile güncellenmiş sonuçların ortalamalarını al
    Adım17: Ortalaması alınmış sonuçları eniyi sonuç birinci en kötü sonuç sonuncu olacak
           şekilde sırala
    Adım18: İterasyon sayısını artır (iter = iter+1)

end

Çıktı      İterasyonlar sonucu elde edilen alfa bireyi çıktı olarak al
```

Şekil 12 Önerilen algoritmanın sözde kodu

### Önerilen algoritmanın test fonksiyonları üzerinden test edilmesi

Önerilen hibrit algoritma 29 optimizasyon test fonksiyonu üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Parçacık Sürü Optimizasyonu, Diferansiyel Evrim Algoritması, Benekli Sırtlan Algoritması, Jaya Algoritması algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. 29 test fonksiyonundan ilk 15 fonksiyon multimodal test fonksiyonu, geri kalan 14 fonksiyonu ise unimodal test fonksiyonudur. Bu fonksiyonlar optimizasyon test fonksiyonları olup her birinin optimum değeri 0'dır. Multimodal test fonksiyonları algoritmanın keşif kapasitesini ölçerken, unimodal test fonksiyonları ise algoritmanın intensifikasyon kapasitesini ölçer. Aşağıdaki tablolarda önerilen algoritma ve yukarıda belirtilen algoritmalar 29 adet test fonksiyonuna uygulanmış ve sonuçlar istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda önerilen hibrit algoritmanın 14 test

fonksiyonunda en iyi sonucu elde etmiştir. Böylece hibrit algoritmanın çözüm etkinliği doğrulanmış bulunmaktadır

**Tablo 1.** Levy test fonksiyonundan Alpine test fonksiyonuna kadar algoritmaların istatistiksel sonuçları

	Best	Std.dev.	Mean	Worst
<b><math>f_1</math> - Levy</b>				
Grey Wolf Inspired	1.1307E+00	2.0104E-01	1.6294E+00	2.1445E+00
Grey Wolf	<b>6.0572E-01</b>	2.6612E-01	1.2927E+00	1.9184E+00
Spotted Hyena	1.2374E+00	3.9680E-01	1.8271E+00	3.9289E+00
Jaya	5.9420E+00	5.7865E+00	1.2432E+01	3.1980E+01
PSO	1.6355E+00	2.8812E+00	6.0118E+00	1.4701E+01
DE	6.4114E+00	2.2456E+00	1.1673E+01	1.9958E+01
<b><math>f_2</math> - Ackley</b>				
Grey Wolf Inspired	<b>3.5213E-08</b>	2.9084E-07	2.9294E-07	1.6262E-06
Grey Wolf	2.6271E-03	1.5111E-03	5.6719E-03	9.6961E-03
Spotted Hyena	6.7377E-03	2.1679E-02	3.1413E-02	1.5346E-01
Jaya	2.8756E+00	4.5350E-01	3.6682E+00	4.6279E+00
PSO	1.4883E+00	9.3378E-01	3.4813E+00	5.6669E+00
DE	6.0977E+00	6.9865E-01	8.3439E+00	1.0426E+01
<b><math>f_3</math> - Griewank</b>				
Grey Wolf Inspired	0.0000E+00	1.6632E-01	5.6934E-02	7.2499E-01
Grey Wolf	<b>3.8810E-07</b>	8.4947E-03	1.2560E-03	5.8870E-02
Spotted Hyena	5.3805E-06	1.2024E-01	8.4733E-02	5.4074E-01
Jaya	5.3320E-01	8.2111E-02	8.4754E-01	9.7167E-01
PSO	1.7093E+00	8.9711E-01	3.3709E+00	6.5537E+00
DE	4.6055E-01	7.7906E-02	7.6754E-01	9.1997E-01
<b><math>f_4</math> - Rastrigin</b>				
Grey Wolf Inspired	<b>4.1611E-09</b>	2.6817E+00	9.5171E-01	1.7575E+01
Grey Wolf	8.5492E+00	4.9357E+00	1.7175E+01	3.1211E+00
Spotted Hyena	5.7619E+00	5.4678E+01	9.7643E+01	2.4773E+02
Jaya	2.5602E+02	2.5810E+01	3.1391E+02	3.6996E+02
PSO	5.5604E+01	2.6090E+01	1.0026E+02	1.7936E+02
DE	1.6809E+02	1.2833E+01	2.0529E+02	2.3443E+02
<b><math>f_5</math> - Zakharov</b>				
Grey Wolf Inspired	6.7964E+00	6.1997E+03	1.7431E+03	5.4616E+04
Grey Wolf	<b>1.9677E+00</b>	9.7625E+00	1.3110E+01	5.7012E+01
Spotted Hyena	7.6250E+00	6.1431E+01	8.3533E+01	3.4055E+02
Jaya	2.3258E+02	8.7049E+01	4.0163E+02	5.9907E+02
PSO	9.6340E+01	5.5718E+01	1.9650E+02	5.0658E+02
DE	1.8212E+02	3.7561E+01	2.7389E+02	3.6589E+02
<b><math>f_6</math> - Alpine</b>				
Grey Wolf Inspired	<b>3.0113E-03</b>	5.5304E-03	1.6019E-02	2.9429E-02
Grey Wolf	6.8688E-03	3.2902E-02	1.7939E-02	1.9129E-01
Spotted Hyena	7.9864E-03	4.0239E+00	2.5668E+00	1.6685E+00
Jaya	1.6000E+01	3.8360E+00	2.4512E+01	3.2068E+01
PSO	1.1666E+00	2.6058E+00	5.4474E+00	1.2653E+01
DE	1.4014E+01	1.9477E+00	1.9902E+01	2.3406E+01

**Tablo 2.** Penalized1, Penalized2 ve Quintic test fonksiyonlarının istatistiksel sonuçları

<b><math>f_7</math> - Generalized Penalized1</b>				
Grey Wolf Inspired	2.0978E-01	1.3265E-01	4.5157E-01	7.9252E-01
Grey Wolf	2.2571E-02	2.6350E-02	5.9703E-02	1.3301E-01
Spotted Hyena	1.5298E-01	1.1135E-01	2.8643E-01	8.5096E-01
Jaya	2.5789E+00	9.2044E-01	4.6853E+00	7.3829E+00
PSO	<b>6.6053E-04</b>	1.9473E-02	1.0137E-02	1.2637E-01
DE	7.1000E-02	7.1384E-02	2.3804E-01	3.9558E-01
<b><math>f_8</math> - Generalized Penalized2</b>				
Grey Wolf Inspired	3.5455E-01	2.5997E-01	8.0337E-01	1.5301E+00
Grey Wolf	2.5671E-01	2.3985E-01	8.2131E-01	1.2996E+00
Spotted Hyena	1.3807E+00	3.5398E-01	2.1813E+00	4.1155E+00
Jaya	2.6399E+00	1.1264E+00	4.4723E+00	7.4372E+00
PSO	<b>3.1586E-02</b>	1.6605E-01	2.6886E-01	9.7577E-01
DE	3.5270E-01	1.3174E-01	6.7756E-01	1.0241E+00
<b><math>f_9</math> - Quintic</b>				
Grey Wolf Inspired	5.1921E+01	6.3386E+00	6.3994E+01	8.0213E+01
Grey Wolf	<b>2.7835E+01</b>	1.2127E+01	4.8285E+01	8.3342E+01
Spotted Hyena	4.2225E+01	1.6038E+01	7.7498E+01	1.1377E+01
Jaya	1.5374E+02	3.6149E+02	5.2098E+02	1.9018E+03
PSO	2.8272E+01	3.1905E+01	8.3320E+01	2.3302E+02
DE	1.8014E+02	1.2897E+02	3.8920E+02	8.7229E+02

**Tablo 3.** Csendes fonksiyonundan Schwefel 2.23 fonksiyonuna kadar olan fonksiyonların istatistiksel analizi

<i>f<sub>10</sub> – Csendes</i>				
Grey Wolf Inspired	<b>1.2570E-30</b>	4.1105E-23	8.5347E-24	2.6703E-22
Grey Wolf	1.6250E-12	4.2989E-09	1.6719E-09	2.2750E-08
Spotted Hyena	1.2533E-08	4.3788E-01	1.6454E-01	2.3546E+00
Jaya	1.0436E+03	5.8544E+03	7.6116E+03	2.5920E+04
PSO	3.5086E+00	4.1854E+02	3.0175E+02	3.1818E+03
DE	9.7276E+02	3.0944E+03	4.8308E+03	2.2434E+05
<i>f<sub>11</sub> – Schaffer</i>				
Grey Wolf Inspired	1.7632E-01	2.6022E-02	2.3696E-01	2.9745E-01
Grey Wolf	<b>4.6706E-03</b>	7.9278E-03	1.6799E-02	4.0442E-02
Spotted Hyena	6.2238E-03	1.0074E-02	2.7363E-02	5.3396E-02
Jaya	6.4412E-02	1.4089E-02	9.8805E-02	1.3873E-01
PSO	3.7224E-02	1.3400E-02	7.3132E-02	7.8820E-02
DE	2.9860E-02	4.9025E-03	4.4252E-02	5.4729E-02
<i>f<sub>12</sub> – Salomon</i>				
Grey Wolf Inspired	5.4031E-01	3.5713E-01	1.1680E+00	2.0297E+00
Grey Wolf	<b>1.9987E-01</b>	7.5563E-02	3.6099E-01	5.9987E-01
Spotted Hyena	2.9987E-01	1.1888E-01	5.6469E-01	9.9991E-01
Jaya	1.1089E+00	1.3821E-01	1.3239E+00	1.7463E+00
PSO	3.9987E-01	6.9462E-02	6.0316E-01	8.0414E-01
DE	6.9991E-01	5.8519E-02	8.1136E-01	9.9589E-01
<i>f<sub>13</sub> – Inverted cosine mixture function</i>				
Grey Wolf Inspired	<b>3.9523E-14</b>	3.6421E-12	2.5882E-12	2.3108E-11
Grey Wolf	9.0874E-05	7.2312E-02	2.2598E-02	3.5134E-01
Spotted Hyena	3.0402E-04	3.7018E-01	1.6991E-01	1.8361E+00
Jaya	1.3858E+01	1.1075E+01	3.3478E+01	6.6279E+01
PSO	1.4405E+00	8.5754E-01	3.0666E+00	5.9976E+00
DE	5.4620E+00	1.2017E+00	8.2811E+00	1.2007E+01
<i>f<sub>14</sub> – Path</i>				
Grey Wolf Inspired	4.6221E+00	7.5804E-01	6.7920E+00	8.1674E+00
Grey Wolf	<b>2.5873E-01</b>	4.6104E-01	8.6473E-01	2.3194E+00
Spotted Hyena	3.2311E+00	3.8039E-01	4.7471E+00	5.3983E+00
Jaya	3.7924E+00	3.3962E-01	4.8261E+00	5.5039E+00
PSO	1.0630E+00	6.7538E-01	3.4715E+00	4.7837E+00
DE	2.2054E+00	3.7868E-01	3.1689E+00	3.9478E+00
<i>f<sub>15</sub> – Wavy</i>				
Grey Wolf Inspired	1.7438E-01	1.6300E-01	5.1939E-01	8.9495E-01
Grey Wolf	1.1289E-01	5.6461E-02	1.9570E-01	4.0238E-01
Spotted Hyena	<b>1.2802E-02</b>	1.7604E-01	3.6331E-01	7.4745E-01
Jaya	7.8825E-01	1.7996E-02	8.2884E-01	8.5825E-01
PSO	2.9282E-01	7.6831E-02	4.5984E-01	6.5518E-01
DE	5.3259E-01	2.3234E-02	5.9846E-01	6.5200E-01
	<b>Best</b>	<b>Std.dev.</b>	<b>Mean</b>	<b>Worst</b>
<i>f<sub>16</sub> – Sphere</i>				
Grey Wolf Inspired	<b>4.4612E-15</b>	6.9751E-13	3.4954E-13	4.0941E-12
Grey Wolf	1.3832E-05	3.7349E-05	6.1624E-05	1.8613E-04
Spotted Hyena	7.2953E-05	3.2609E-03	2.7016E-03	1.7799E-02
Jaya	1.5151E+01	7.1649E+00	3.0084E+01	4.6887E+01
PSO	1.3945E-01	4.4202E-01	6.9353E-01	2.4245E+00
DE	3.0808E+00	1.1044E+00	5.4060E+00	8.4262E+00
<i>f<sub>17</sub> – Rosenbrock</i>				
Grey Wolf Inspired	2.7937E+01	1.3646E-01	2.8238E+01	2.8747E+01
Grey Wolf	<b>2.7389E+01</b>	4.2884E-01	2.8541E+01	2.8983E+01
Spotted Hyena	2.8081E+01	1.1434E+02	6.4800E+01	9.6423E+02
Jaya	6.0261E+03	8.7132E+03	1.8770E+04	4.2679E+04
PSO	3.5038E+01	3.8554E+01	1.0457E+02	2.4096E+02
DE	2.2595E+02	6.2881E+01	3.8839E+02	6.0667E+02
<i>f<sub>18</sub> – Schwefel 2.22</i>				
Grey Wolf Inspired	<b>2.8831E-08</b>	1.3653E-07	1.8253E-07	6.2770E-07
Grey Wolf	4.6155E-03	5.6404E-03	1.3311E-02	3.1536E-02
Spotted Hyena	1.9158E-03	1.1780E-02	1.4331E-02	6.4456E-02
Jaya	1.7677E+01	5.3330E+00	2.6741E+01	4.3334E+01
PSO	6.0423E-01	7.1582E-01	2.1345E+00	4.1944E+00
DE	4.9648E+00	9.2907E-01	7.6560E+00	1.0551E+01
<i>f<sub>19</sub> – Schwefel 2.23</i>				
Grey Wolf Inspired	<b>1.8886E-47</b>	6.3874E+10	2.5371E+10	2.1143E+11
Grey Wolf	6.6381E-19	4.8718E-12	7.8898E-13	3.7468E-11
Spotted Hyena	2.7172E-09	4.4016E+00	1.2183E+00	2.3077E+00
Jaya	3.1178E+04	7.1264E+05	7.8730E+05	3.4842E+07
PSO	4.6409E-02	1.4584E+02	6.7427E+01	1.2463E+03
DE	4.9626E+01	7.5793E+02	9.2281E+02	5.0123E+03

**Tablo 4.** Scwefel 2.25 fonksiyonundan Discus fonksiyonuna kadar olan fonksiyonların istatistiksel analizi

<b><i>f<sub>20</sub> – Schwefel 2.25</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>7.8042E+00</b>	1.5571E+00	1.1277E+01	1.4591E+01
Grey Wolf	1.1258E+01	1.6814E+00	1.4219E+01	1.8194E+01
Spotted Hyena	1.5136E+01	4.3492E+00	2.1435E+01	3.9021E+01
Jaya	7.5845E+01	1.9276E+02	3.4910E+02	9.1478E+02
PSO	3.9468E+00	1.3432E+01	2.4113E+01	7.5009E+01
DE	3.2210E+01	1.5574E+01	7.0200E+01	1.0851E+02
<b><i>f<sub>21</sub> – Brown</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>2.8143E-14</b>	2.6049E-10	7.5844E-11	1.6980E-09
Grey Wolf	3.2897E-05	2.6108E-04	2.8670E-04	1.3238E-03
Spotted Hyena	1.8847E-04	5.4549E-02	3.2612E-02	2.1068E-01
Jaya	1.7737E+02	7.7659E+13	1.2499E+13	5.1538E+14
PSO	3.1040E+00	7.8864E+05	5.9088E+04	1.0926E+07
DE	4.0768E+02	4.4110E+14	5.0664E+13	4.7893E+15
<b><i>f<sub>22</sub> – Stretched V Sine Wave</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>1.2125E-02</b>	2.0281E-02	3.6770E-02	1.0208E-01
Grey Wolf	2.6177E+00	6.6342E-01	3.7576E+00	5.1265E+00
Spotted Hyena	1.3028E+00	6.1462E+00	8.4644E+00	3.3747E+01
Jaya	4.2671E+01	4.1016E+00	5.3354E+01	6.2354E+01
PSO	2.5721E+01	5.3942E+00	3.6521E+01	5.3693E+01
DE	3.9598E+01	3.1132E+00	4.8147E+01	5.5159E+01
<b><i>f<sub>23</sub> – Powell Singular</i></b>				
Grey Wolf Inspired	5.3198E+05	2.3532E+04	5.6898E+05	6.8108E+05
Grey Wolf	1.2559E-03	7.3680E-03	1.0281E-02	4.3204E-02
Spotted Hyena	<b>1.2691E-02</b>	2.3108E+01	8.9785E+00	1.1765E+02
Jaya	3.4721E+03	4.5194E+03	1.1817E+04	2.9457E+04
PSO	2.6701E+02	1.8966E+03	1.8945E+03	1.6844E+04
DE	1.2716E+04	6.1679E+03	2.4807E+04	4.4946E+04
<b><i>f<sub>24</sub> – Sum of Different Powers</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>1.7059E-23</b>	3.7678E-16	9.0610E-17	2.3884E-15
Grey Wolf	1.3510E-12	1.0246E-07	1.9520E-08	7.1112E-07
Spotted Hyena	1.7952E-09	8.9097E+00	2.1689E+00	5.2107E+01
Jaya	3.7355E+06	8.4540E+08	3.2235E+08	4.6342E+09
PSO	2.4135E-02	1.4305E+02	3.2494E+01	1.8100E+03
DE	1.7365E+01	5.7934E+02	4.8930E+02	3.8340E+03
<b><i>f<sub>25</sub> – High Conditioned Elliptic</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>9.8148E-12</b>	1.5760E-09	6.6561E-10	1.0135E-08
Grey Wolf	1.4478E-02	1.2123E-01	1.2713E-01	8.9093E-01
Spotted Hyena	1.1978E-02	9.5517E-01	8.1675E-01	5.2401E+00
Jaya	3.6344E+04	3.1290E+04	8.2172E+04	1.5348E+05
PSO	7.9734E+01	3.2852E+02	4.6362E+02	2.6039E+03
DE	2.9040E+03	1.4981E+03	6.2132E+03	1.1003E+04
<b><i>f<sub>26</sub> – Sum squares</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>4.3465E-14</b>	9.0500E-12	4.3043E-12	4.8593E-11
Grey Wolf	5.8576E-05	7.0181E-04	8.4493E-04	3.8982E-03
Spotted Hyena	7.7253E-04	1.0963E-01	4.2192E-02	7.2284E-01
Jaya	1.9331E+02	1.0002E+02	3.8129E+02	5.8116E+02
PSO	1.0956E+00	5.2153E+00	7.9362E+00	3.2855E+01
DE	3.3666E+01	1.2353E+01	6.0581E+01	9.1083E+01
<b><i>f<sub>27</sub> – Hyperellipsoid</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>8.3986E-14</b>	2.3993E-11	1.6458E-11	1.3432E-10
Grey Wolf	8.1939E-04	4.0705E-03	6.7416E-03	1.8536E-02
Spotted Hyena	2.6428E-03	2.7790E-01	1.9741E-01	1.4527E+00
Jaya	2.3138E+03	1.0227E+03	4.0461E+03	7.7527E+03
PSO	1.0925E+01	4.3454E+01	6.4342E+01	2.3090E+02
DE	3.4202E+02	1.2714E+02	5.7918E+02	8.9795E+02
<b><i>f<sub>28</sub> – Bent Cigar</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>2.0496E-09</b>	2.6758E-07	1.6350E-07	1.2281E-06
Grey Wolf	5.0791E+00	3.4026E+01	4.7430E+01	1.7709E+02
Spotted Hyena	8.7876E+00	1.7516E+03	1.5760E+03	9.1673E+03
Jaya	1.3171E+07	9.5325E+07	2.8423E+07	5.5969E+07
PSO	6.8882E+04	3.4907E+05	5.6519E+05	1.6410E+06
DE	2.0072E+06	1.0268E+06	4.5524E+06	7.8992E+06
<b><i>f<sub>29</sub> – Discus</i></b>				
Grey Wolf Inspired	<b>7.4260E-15</b>	2.7937E-12	2.2141E-12	1.1351E-11
Grey Wolf	1.9715E-05	9.7604E-05	1.5321E-04	4.1946E-04
Spotted Hyena	5.6353E-05	1.8965E-02	1.1166E-02	1.2162E-01
Jaya	2.3621E+00	1.4640E+01	5.1798E+01	9.1777E+01
PSO	2.3640E-01	8.3413E-01	1.5944E+00	5.7208E+00
DE	4.1330E+00	1.8789E+00	9.2034E+00	1.3386E+00

## Referanslar

- Kirkpatrick S, Gelatt Jr CD, Vecchi, MP Optimization by Simulated Annealing, Science 1983 220 671-680
- Glover F, Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, Computers and Operations Research 13 1986 533-549
- Dorigo M, Optimization, Learning and Natural Algorithms, Phd Thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992
- Holland JH, Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan; re-issued by MIT Press (1992)
- Storn R, Price K, Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, Journal of Global Optimization 11 1997 341-359
- Kennedy J, Eberhart RC, Particle Swarm Optimization, In: Proc IEEE International Conference on Neural Networks, Vol IV, pp.1942-1948, Piscataway, NJ, 1995
- Gandomi AH, Yang XS, Alavi AH, Mixed variable structural optimization using firefly algorithm, Computers & Structures 89 (2011)
- He Q, Wang L, An effective co-evolutionary particle swarm optimization for constrained engineering design problems, Engineering Applications of Artificial Intelligence 20 2007 89-99
- Coello CAC, Use of a self-adaptive penalty approach for engineering optimization problems, Computers in Industry 41 2000 113-127
- Gandomi AH, Yang XS, Alavi AH, Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems, Engineering with Computers 29 2013 17-35
- Vasant P, Barsoum N, Hybrid genetic algorithm and line search method for industrial production planning with non-linear fitness functions, Engineering Applications of Artificial Intelligence 22 2009 767-777
- Vasant P, Hybrid LS-SA-PS methods for solving fuzzy nonlinear programming problems. Mathematical and Computer Modelling 57 2013 180-188

- Konstantinov SV, Khamidova UK, Sofronova EA, A novel Hybrid Method of Global Optimization Based on the Grey Wolf Optimizer and the Bees Algorithm, *Procedia Computer Science* 150 2019 471-477
- Chen Y, Li L, Zhao X, Xiao J, Wu Q, Tan Y, Simplified hybrid fireworks algorithm, *Knowledge-Based Systems* 173 2019 129-139
- Mortazavi A, Toğan V, Nuhoglu A, Interactive search algorithm: A new hybrid metaheuristic optimization algorithm, *71* 2018 275-292
- Dhiman G, Kumar V, Spotted hyena optimizer : A novel bio-inspired based metaheuristic technique for engineering applications, *Advances in Engineering Software* 114 2017 48-70
- Rao RV, Jaya A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations* 7 2016 19-34
- Turgut OE, Coban MT, Thermal design of spiral heat exchangers and heat pipes through global best algorithm, *Heat and Mass Transfer* 53 2017 899-916



# ÇEVİRİMİÇİ BİYOMETRİK İMZA TANIMA

**Muhammet Aksakal\* & Banu Öntürk Diri\*\***

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği  
\*mhmmmt.aksakal@gmail.com \*\*diri@yildiz.edu.tr*

**Özet:** Günümüzde biyometrik çalışmaların artmasına bağlı olarak kullanım alanları da gözle görülür bir şekilde artış göstermiştir. Bankalar, finans kurumları ve diğer ticari kuruluşlarda artan güvenlik ihtiyacı biyometrik bilgi tabanlı yöntemlerin kullanımını zorunlu kılmıştır. Yüz, parmak izi, iris vs. statik biyometrikler de yerini kişinin karakteristik özelliklerini ve hareket bilgilerini içeren davranışsal biyometriklere bırakmıştır. Biyometrik imza kişinin karakteristik davranışını gösterdiği için davranışsal bir biyometriktir. Bu çalışmada, kişilerden bir tablet ve kalem aracılığı ile elde edilen imzalar, birkaç makine öğrenmesi yöntemi ve yapay sinir ağı modeli kullanılarak eğitilmiş ve gerçek zamanlı olmayan imza tanıma problemi üzerinde performansı incelenmiştir. Çalışmada 30 kişiden 10 imza örneği alınarak eğitim kümesi oluşturulmuştur. Her kişiden alınmış olan imza üzerinden vuruş sayısı, basınç, hız, ivme vs. gibi özellikler çıkarılmıştır. Üç katlı çapraz geçiş yaparak sistemin performansı ve güvenilirliği incelenmiştir. En iyi başarı Destek Vektör Makinası ile %92 olarak alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyometri, biyometrik imza, yapay sinir ağı, imza tanıma

## 1. Giriş

Günümüzde biyometrik çalışmalar hızla artış gösteren trend haline gelmiştir. Biyometrik çalışmaların artmasına bağlı olarak kullanım alanları da oldukça genişlemiştir. Son birkaç yılda bankalarda, finans kurumlarında ve diğer ticari kuruluşlarda artan güvenlik ihtiyacından dolayı biyometrik sistemlerin kullanımı çarpıcı bir biçimde artmıştır. Yüz, parmak izi, iris vs. statik biyometrikler yerini kişinin karakteristik özelliklerini ve hareket bilgilerini içeren davranışsal biyometriklere bırakmaktadır. Böylece güvenlik tehditleri, sahtecilik, dolandırıcılık vs gibi işlerin engellenmesi amaçlanmaktadır. (Jain, NandaKumar, & Ross, 2016).

Literatürde imza tanıma ve doğrulamaya yönelik birçok sayıda çalışma vardır. İmza tanımada çevrimiçi ve çevrimdışı olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır (Bhattacharya, Ghosh, & Biswas, 2013; Mohammed, Nabi, Mahmood, & Nabi, 2015). Çevrimdışı imza tanımada, imzanın görüntüsü üzerinden görüntü işleme yöntemleri kullanılarak imzanın sadece yapısal özellikleriyle tanıma yapılır. Çevrimiçi imza tanımada ise

imzanın vuruş sayısı, basınç, zaman serisi olarak alınan x ve y yönleri, hız, atılan imzanın süresi vb. gibi dinamik özellikleri de statik özellikleriyle birlikte kullanılır. Burada imzanın davranışsal detayının yakalamak için özel bir cihaz ve kalem kullanılır (Anikin & Anisimova, 2016; Bashir & Kempf, 2013). İmzalar arasındaki farklılıkları veya benzerlikleri bulmada parametrik ve işlevsel olmak üzere iki yaklaşım kullanılır. Bir imzanın parametrik özellikleri imzanın genel özelliklerini tarif eder. Bu özellikler imzanın atılma süresi, en boy oranı, imzanın uzunluğu, vuruş sayısı vb. parametrik özellikleridir. Hız, ivme, kalemin basıncı, kalem eğim açısı vb özelliklerde imzanın işlevsel özellikleridir (Guru & Prakash, 2009).

Çevrimdışı bir sisteme göre çevrimiçi sistemlerde kullanıcının imzası x ve y koordinatlarının sırası ve basınç gibi ilişkili nitelikler birlikte değerlendirilir. Orjinal ve sahte imzalar arasında bu değerler farklılık göstereceğinden çevrimiçi imza doğrulama sistemi genellikle çevrimdışı bir sistemden daha iyi doğruluk sağlar (Jabin & Zareen, 2015). Ayrıca, biyometrik imzalar kişinin duygusal ve fiziksel durumundan da etkilenir (Tahezadeh, Karimi, Ghobadi, & Beh, 2011).

Dinamik Zaman Bükme (DZB), Yapay Sınır Ağları (YSA), Destek Vektör Makinası (DVM), Bayes öğrenme, Gizli Markov Modeli (GMM) gibi yöntemler imza tanıma için kullanılan en yaygın yöntemlerdir (Deore & Handore, Offline signature recognition: Artificial neural network approach, 2015; Fuentes, Salicetti, & Dorizzi, 2002). YSA mimarileri sınıflama işlemlerindeki başarısından dolayı imza tanıma uygulamalarında iyi sonuç veren ve yaygın kullanılan bir tekniktir (Akram, Qasim, & Amin, 2012; Meshoul & Batouche, 2010).

Bu çalışmada kişilerden elde edilen imza veri kümesi üzerinden zaman serisi olarak x ve y yönleri, basınç ve parametrik özellikleriyle birlikte 307 adet özellik çıkarılarak DVM, Naive Bayes (NB), K-En Yakın Komşuluk (KNN) ve basit bir YSA yöntemleri kullanılarak sistem modellenmiş ve başarıları test edilmiştir.

Makalenin ikinci kısmında veri kümesi tanımlanmış, üçüncü bölümünde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümünden veriler için uygulanan sınıflama algoritmalarının eğitim ve sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir. Son bölümde de deneysel sonuçlara yer verilmiştir.

## **2. Veri Kümesi**

Bu çalışmada 30 kişiden 10 farklı imza örneği alınarak veri kümesi oluşturulmuştur. İmzalar Wacom marka bir tablet ve kalem kullanılarak temin edilmiştir. İmza örnekleri erkek, kadın ve farklı yaş gruplarından alınmıştır. İmzalar kişilerden 100 Hz frekansı ile 10ms aralıklarla alınmıştır. Alınan bu bilgiler içerisinde tabletin x ve y koordinatlarını,

kalemin yüzeye yapmış olduğu basınç bilgisi ve süre bilgisi de yer almaktadır. Her imza atılma süresine bağlı olarak farklı büyüklükte bilgiden oluşmaktadır. Alınan imzaların basınç değerleri de 0 – 1024 seviye aralığındadır. Şekil 1’de kişilerden alınmış veri setimiz içerisinde yer alan bazı imza örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1. İmza örnekleri

### 3. Metod ve Yöntemler

Bu bölümde imzadan çıkarılan özelliklerden ve kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir.

#### A. Ön İşlemler

Elde edilen tüm imzaların ön işlemedeki ilk adımı, imzaların başlangıç konumlarındaki farklılığı ortadan kaldırmak için ilk başta imzaların başlangıç noktalarının (0,0) noktasına çekilmesi oluşturmaktadır. Şekil 1’de ham veri olarak bir kişiye ait iki imza örneğinin x yörüngesindeki zamana bağlı değişimi görülmektedir. Her imzanın x ve y değerleri  $x_1$  ve  $y_1$  değerinden çıkarılarak (0,0) noktasına ötelenmiştir (1)

$$X_i = X_i - X_1$$

$$Y_i = Y_i - Y_1 \quad (1)$$

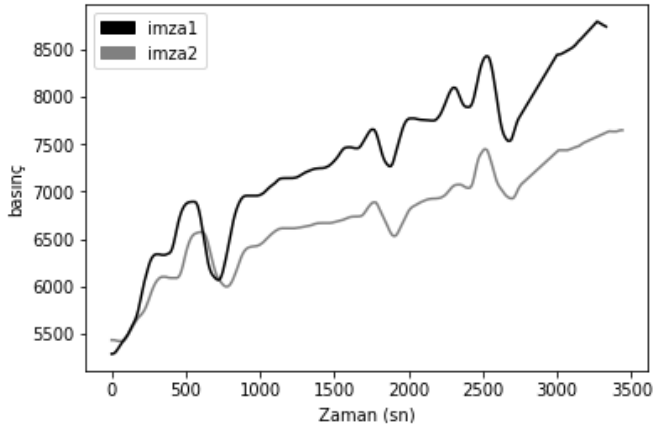
Burada  $x_i$ , i. 10ms x ’deki koordinatın değerini temsil etmektedir. Bir sonraki adımda imzaların anlık hızları ve anlık ivmeleri hesaplanmıştır. Her imza verisi üzerinden ayrıca kalem ile tabletin temas süresi, kalemin havada kalma süresi, imzanın eni ve boyu, imzanın en boy oranı, kalemin tablete vuruş sayısı, ortalama basınç ortalama hız, ortalama ivme değerleri hesaplanarak 9 farklı parametrik özellik çıkarılmıştır. Tablo 1’ de bir kişiye ait üç imza örneğinden çıkarılan özellikler gösterilmiştir. Bir sonraki aşamada imza verilerinden 30ms aralıklarla örnekler alınmıştır.

Tablo 1. Bir kişiye ait üç imza örneğinden çıkarılan özellikler

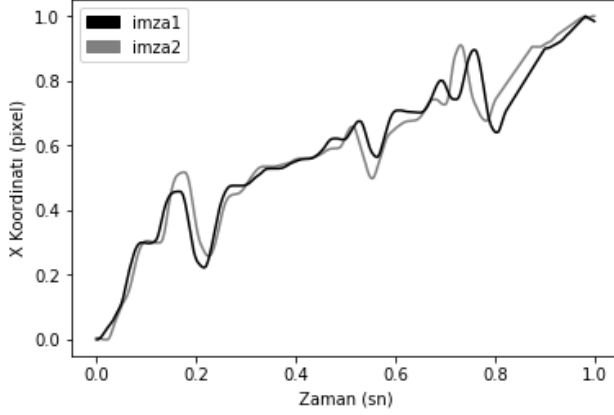
Özellikler	1. imza	2. imza	3. imza
Vuruş sayısı	3	3	3
Temas süresi (ms)	2520	2352	2312
Havadaki süre (ms)	240	328	256
En	2623	2881	2818
Boy	3114	3102	2801
En/boy	0.84	0.93	1.01
Ort basınç	711.3	782.2	803.3
Ort hız	7.43	7.93	9.16
Ort ivme	0.19	0.21	0.49

Son işlem adımı, oluşturulan veri kümesinin normalleştirilmesidir. Normalleştirme için min-max normalizasyonu kullanılmıştır. Şekil 3 'de, Şekil 2 'deki imza örneklerinin öteleme ve normalizasyon işlemleri uygulandıktan sonraki halleri gösterilmiştir. Daha sonra çıkarılan parametrik özelliklerle birlikte zaman serisi olarak elde edilen x, y ve basınç (p) değerleri bir vektör hale getirilmiştir. Bu vektör 2sn 'lik bir bilgi ile kısıtlanmıştır. Bu işlemlerden sonra her bir imza vektörümüz 307 özellikli bir vektör olarak elde edilmiştir (2).

$$V = (\text{Çıkarılan özellikler}, x_i, y_i, p_i) \quad (2)$$



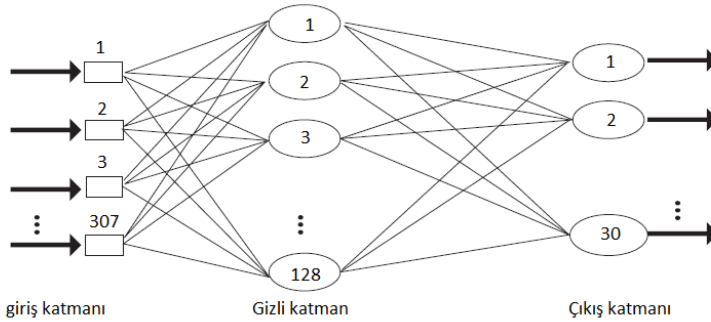
Şekil 2. Bir kişiye ait iki örnek imzanın x yörüngesindeki değişimi



Şekil 3. Öteleme ve Normalizasyon sonrası

## B. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı, birbirine tam bağlı olan ve bir girdi kümesini istenen çıktılara dönüştüren bir dizi işlem elemanından oluşur (Mishra & Srivastava, 2014). Dönüşümün sonucu, elemanların özellikleri ve aralarındaki bağlantılarla ilişkili ağırlıklar ile belirlenir. Düğümler arasındaki bağlantıları değiştirerek ağ istenen çıkışlara uyum sağlayabilir. Son zamanlarda yapay sinir ağları ve derin öğrenme algoritmaları, artan işlemci gücü ve grafik işlemcilerinin kullanımıyla birlikte, büyük verilerin sınıflandırılması, yüz tanıma, görüntü işleme gibi birçok çalışmanın temel yapı taşı olmuştur (Çalik, Kurban, Yılmaz, Ata, & Yıldırım, 2017). Derin öğrenme, ham girdiden kademeli olarak daha yüksek seviyeli özellikler çıkaran bir veya birden fazla gizli katmandan oluşan bir makine öğrenme yöntemidir. Şekil 4 'de modelleme için kullanılan YSA gösterilmiştir.



Şekil 4. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli

Bu çalışmada, Python programı üzerinde Keras kütüphanesi kullanılarak 307 girişli, bir gizli katmana sahip yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ön işleme sonrası imza verilerinden çıkarılan özellikler bu sinir ağına input olarak verilerek sınıflandırma yapılmıştır.

#### 4. Eğitim ve Sınıflandırma

Eğitim için oluşturulan biyometrik imza veri seti üzerinde 3 katlı çapraz geçerleme uygulanmıştır. On farklı kombinasyon ile 3 katlı çapraz geçerleme kümeleri oluşturulmuştur. Eğitim verisi, Python arayüzü ve Keras kütüphanesi kullanılarak DVM, NB, KNN ve oluşturulan derin öğrenme modelinde ayrı ayrı eğitilmiştir. En yakın komşuluk için k değeri 3 seçilmiştir. Her bir makine öğrenme modelinin sonuçlarının ortalaması alınarak başarımlar sunulmuştur.

YSA modeli giriş, gizli ve çıkış katmanı olarak tasarlanmıştır. Giriş katmanında 307 input vardır. Gizli katman 128 nöron eklenerek oluşturulmuştur. Buradaki nöron sayısının seçimi input sayısı ve çıkış sayısının ortalaması baz alınarak belirlendi. Gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonu olarak RELU kullanılmıştır. YSA modelinin çıkışında sınıf sayısı kadar çıkış tanımlanmıştır. Çıkış katmanında Softmax aktivasyon metodu kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan 4 modelin ortalama başarımları Tablo 2’de gösterilmiştir. En iyi başarımlar DVM ile %92 olarak alınmıştır. Derin öğrenme modeliyle %91’lik, Bayes modeli ile %89 ve KNN ile de %79 doğruluk ile sınıflandırılmıştır.

Tablo 2. Sınıflandırma başarımları

Test sayısı	YSA	DVM	NB	KNN
1	0,924	0,913	0,924	0,763
2	0,946	0,956	0,881	0,784
3	0,881	0,913	0,870	0,795
4	0,935	0,935	0,860	0,805
5	0,892	0,924	0,892	0,763
6	0,956	0,946	0,935	0,806
7	0,924	0,924	0,913	0,827
8	0,935	0,903	0,903	0,784
9	0,903	0,946	0,870	0,838
10	0,870	0,903	0,860	0,784
<b>Ortalama</b>	<b>0,916</b>	<b>0,926</b>	<b>0,890</b>	<b>0,794</b>

## 5. Sonuç

Çalışma 30 kişiden alınan 10 imza örneği üzerinden 3 katlı çapraz geçerleme ile 4 ayrı makine öğrenmesi modeli üzerinde test edilmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı %92 ile Destek Vektör Makinesi ile alınmıştır. Yapay Sinir Ağı ile yapılan modelin test işlemleri sonucunda yetersiz eğitim verisi olmasına rağmen yüksek başarımlı bir sınıflama sağlayabildiği görülmüştür. Bu sebeple ileriki çalışmalarda üretilen parametrik özelliklerin çeşitliliği artırılarak ve yapay sinir ağındaki katmanlarda yapılacak değişiklikler ile sistemin sınıflandırma başarımı üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

## Kaynaklar

- Akram, M., Qasim, R., & Amin, M. A. (2012). A comparative study of signature recognition problem using statistical features and artificial neural networks. *International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*. Dhaka: IEEE.
- Anikin, I. V., & Anisimova, E. S. (2016). Handwritten Signature Recognition Method Based on Fuzzy Logic. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*. Omsk: IEEE.
- Bashir, M., & Kempf, J. (2013). Area bound dynamic time warping based fast and accurate person authentication using a biometric pen. *Digital Signal Processing*.
- Bhattacharya, I., Ghosh, P., & Biswas, S. (2013). Offline Signature Verification Using Pixel Matching Technique. *International Conference on Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications*.
- Çalik, N., Kurban, O. C., Yilmaz, A. R., Ata, L. D., & Yildirim, T. (2017). Signature recognition application based on deep learning. *25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Antalya: IEEE.
- Deore, M. R., & Handore, S. M. (2015). Offline signature recognition: Artificial neural network approach. *International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*. Melmaruvathur: IEEE.
- Fuentes, M., Salicetti, S. G., & Dorizzi, B. (2002). On line signature verification: Fusion of a Hidden Markov Model and a neural network via a support vector machine. *Proceedings Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*. Ontario: IEEE.

- Guru, D. S., & Prakash, H. N. (2009). Online Signature Verification and Recognition: An Approach Based on Symbolic Representation. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. IEEE.
- Jabin, S., & Zareen, F. J. (2015). Biometric signature verification. *International Journal of Biometrics*. Geneva.
- Jain, A. K., NandaKumar, K., & Ross, A. (2016). 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities. *Pattern Recognition Letters*.
- Kholmatov, A., & Yanikoglu, B. (2009). SUSIG: an on-line signature database, associated protocols and benchmark results. *Pattern Analysis & Applications*.
- Malik, M. I., Ahmed, S., Dangel, A., & Liwicki, M. (2012). A Signature Verification Framework for Digital Pen Applications. *10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems*.
- Meshoul, S., & Batouche, M. (2010). Combining Fisher Discriminant Analysis and probabilistic neural network for effective on-line signature recognition. *10th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA 2010)*. Kuala: IEEE.
- Mishra, M., & Srivastava, M. (2014). A view of Artificial Neural Network. *International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014)*. IEEE.
- Mohammed, R. A., Nabi, R. M., Mahmood, S. M.-R., & Nabi, R. M. (2015). State-of-the-Art in Handwritten Signature Verification System. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*.
- Reillo, R. S., Jimenez, J. L., & Gonzalo, R. B. (2018). Forensic Validation of Biometrics Using Dynamic Handwritten Signatures. *IEEE Access ( Volume: 6 )*. IEEE.
- Taherzadeh, G., Karimi, R., Ghobadi, A., & Beh, H. M. (2011). Evaluation of online signature verification features. in *Advanced Communication Technology*. *13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011)*. Seoul: IEEE.



# GÖRÜNTÜLER İÇİN METİN GİZLEME TEKNİĞİ ve ÖRNEK UYGULAMA YAZILIMI

**Coşkun HARMANŞAH\* & Volkan SÖZERİ\*\*  
Nurcan SEYLAN\*\*\***

*\*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, coskun.harmanseh@ege.edu.tr*

*\*\*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu,  
volkan.sozeri@ege.edu.tr*

*\*\*\*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, nurcan.seylan@ege.edu.tr*

**Özet:** Bilgiye erişimde ve bilgi transferinde farklı yöntem ve tekniklerle bilginin güvenliği sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu durum bilginin güvenliğini ve korunmasını geçmişe kıyasla daha önemli hale getirmiştir. Bilgi güvenliği ve bilginin korunması amacıyla yoğun olarak kullanılan yöntemlerden birisi Steganografidir. Bu çalışmada, görüntüyü oluşturan pikseller ve komşu piksellerin yeşil (green) değerine dayalı geri dönüşümlü bir steganografi yöntemi önerilmiş ve DHY Steganografi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulamada, steganografi işlemi öncesi orijinal resmin boyutlarının (genişlik ve yükseklik) 6 sayısına göre modu alınır. Resmin genişlik ve yükseklik değerleri için, bulunan mod değerlerinden itibaren gizleme işlemine başlanır. Her piksel için sonraki pikselin yeşil renk değeri farkı alınır. Bu işlem resimdeki son piksele kadar tekrarlanır ve farklar toplanır. Elde edilen farkların toplamı, çıkarma işlemi yapılan piksel sayısına bölünür. Hesaplanan ortalama, en yakın üst tamsayıya yuvarlanır ve buna anahtar (key) adı verilir. Resim içerisine gizlenecek metin, komşu piksellerin yeşil değeri farkı anahtara eşit ise bir sonraki pikselin mavi renginin son basamak değerine her karakterin ASCII tablosundaki onlu karşılığının bir karakteri yazılır. Metin gizleme işlemi, komşu piksellerin yeşil renginin fark değerlerine göre yapıldığı için, kullanılan pikseller sıralı ve/veya düzenli bir grup oluşturmaz. Çalışmada önerilen DHY steganografi uygulaması aracılığıyla png ve jpeg formatlı resim dosyalarında metin gizleme işlemi için çeşitli testler yapılmış ve geliştirilen uygulama yazılımı tanıtılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi güvenliği; steganografi; veri gizleme; uygulama yazılımı

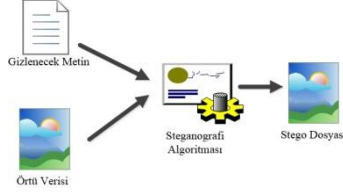
## Giriş

Metin, resim, ses ve video gibi verileri içeren dosyalar yoğun biçimde kişisel ve kurumsal platformlar arasında iletilmekte ve paylaşılmaktadır. Veri alışverişi ve paylaşımındaki artış, kişi ve kurumlar arasındaki bilgi güvenliğini ve gizliliğini daha önemli hale getirmiştir. Bilginin yetkisiz

erişimlerden korunması, bütünlüğü ve doğruluğu bilgi güvenliğinin en önemli unsurlarıdır. Bilgilerin güvenli şekilde kullanıcılar ve kurumlar arasında iletimi ve paylaşımına yönelik önlemler; erişim kontrolü, kimlik doğrulama, şifreleme, veri tabanı ve ağ güvenliği başlıklarında ele alınmakta ve her biri için farklı yaklaşım ve teknikler kullanılmaktadır. (Özbilgin, Durmuş ve Karagöl, 2018; Canbek ve Sağiroğlu, 2006; Kumar ve Kumar Sharma, 2014; Saleh, Abdelmgeid ve Omara 2016). İnternet uygulamalarındaki çeşitlilik ve kullanılan farklı teknolojiler veri iletişimi ve paylaşımında güvenlik risklerini de artırmaktadır. Bundan dolayı, veri güvenliği amacıyla kullanılan teknik ve yöntemlerin güncellenmesi ve yeni yaklaşımlarla desteklenmesi gerekmektedir. İletişimde bilgi güvenliğini sağlamak amacıyla kriptografi ve steganografi olmak üzere iki temel yöntem kullanılmaktadır. Kriptografi işlemi, bir verinin (düz metin) içeriğinin okunamaz başka bir forma (şifreli metin) dönüştürülmesidir. Bu tekniğin uygulanmasında çeşitli matematiksel yöntemlerle asimetrik veya simetrik farklı algoritmalar birlikte kullanılabilir (Atıcı, 2007). Bilginin gizlenmesinde kullanılan diğer temel yaklaşım ise Steganografi yöntemidir. Steganografi bir verinin resim, ses veya video görüntüsü gibi başka bir verinin içerisine gizlenmesidir (Petitcolas, Anderson ve Kuhn, 1999). Bu yöntemin amacı gizli bir verinin varlığını saklamaktır. Böylece, iletilen veya paylaşılan bilginin varlığının diğer kullanıcılardan gizlenmesi sağlanmaktadır. Burada en önemli nokta, gizli verinin orijinal veri en az şekilde bozularak saklanmasıdır. Günümüzde, steganografi gelişmiş veri yapıları (Pang, Tan ve Zhou, 2003; Hand ve Roscoe, 2002), tıbbi görüntüler ve belge doğrulama (Rodriguez-Colin, Cladua ve Trinidad-Blas, 2007), belge izleme araçları (Wayner, 2002) ve genel iletişim (Sharp, 2001) gibi farklı alanlarda geliştirilen çeşitli uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Steganografi veri ortamına göre; metin, ses, görüntü ve video olmak üzere dört farklı kullanıma sahiptir. Her bir kullanım, farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma konusu olan görüntü dosyalarında veri gizlemek için üç yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır (Sellars, 1999). Bunlar: En Önemli Bit Ekleme (Least Significant Bit, LSB), Maskeleye ve Filtreleme, Algoritma ve Dönüşümler' dir.

Görüntü steganografi yönteminde temel olarak iki algoritma kullanılmaktadır. Biri; veriyi gizlenecek resme gömme işlemi, diğeri ise gizlenmiş verinin resimden çıkartılma işlemidir (Raphael ve Sundaram, 2011). Burada ilk dosya gizli veriyi saklayacak resim dosyası olup örtü verisi (cover image) olarak adlandırılır. Diğer dosya ise gizlenecek bilgi veya mesajdır. Bu mesaj stego olarak isimlendirilmektedir. Gizlenecek verinin gömme işlemi sonucunda örtü verisi ve gömülü mesajın

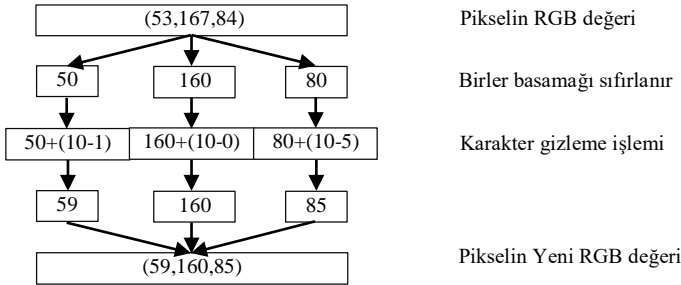
oluşturduğu dosyaya “stego resim” adı verilir (Şahin, 2007; Goel, Rana ve Kaur, 2013; Choudhury, Das ve Tuithung, 2015).



**Şekil1.** Veri gizleme genel blok diyagramı

### RGB Kodlama Yöntemi

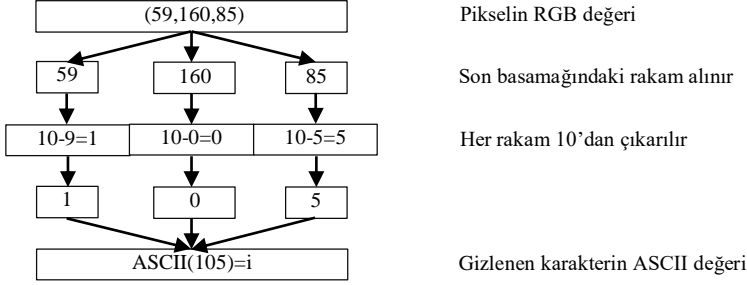
Bu yöntem bir piksel içerisinde yer alan Red (Kırmızı), Green (Yeşil) ve Blue (Mavi) değerlerinin içerisinde bir karakterin ASCII karakter kümesindeki sayısal değerinin yerleştirmesine dayanır (Ching-Yu, 2007). Bir piksel için her renk kodunun içerisinde, karakterin 3 haneden oluşan ASCII karakter karşılığının basamak değerleri sırası ile yerleştirilir. Örnek olarak RGB değeri (53,167,84) olan piksel içerisinde ‘i’ harfi gizlenecek olsun. ‘i’ karakterinin ASCII tablosundaki sayısal karşılığı 105’ tir. Başlangıçta ilgili pikseldeki tüm renk değerlerinin 1’ ler basamağı sıfıra eşitlenir. Pikselin yeni RGB değeri (50,160,80) olur. Sonraki adımda karakterin ASCII kodunu oluşturan her bir rakamı 10’ dan çıkarılır (10-1=9), (10-0=0), (10-5=5), sonuç 10 ise 0 kabul edilir. Elde edilen bu rakamlar sırası ile o pikseldeki her bir renk değerinin son basamağına eklenir(50+9=59, 160+0=160, 80+5=85). Yeni oluşan RGB değeri (59, 160, 85) olmaktadır. Şekil 2’de görülmektedir.



**Şekil2.** RGB kodlama yöntemi ile karakter gizleme

Gizlenmiş olan bir verinin elde edilmesi için gizleme işleminin tersi uygulanır. Pikselin RGB değeri (59, 160, 85) alınır. Pikseldeki her renk değerinin ayrı ayrı 10’a göre modu alınır (son basamağındaki rakam

alınır)( $59 \bmod 10=9$ ,  $160 \bmod 10=0$ ,  $85 \bmod 10=5$ ). Her rakam 10'dan çıkarılır ( $10-9=1$ ,  $10-0=0$ ,  $10-5=5$ ). Bulunan rakamlar birleştirilir ve 'i' karakterinin ASCII tablosundaki karakter karşılığı (105) elde edilir.



**Şekil3.** RGB kodlama yöntemi ile gizlenen karakterin çıkarılması

### En Önemsiz Bite Ekleme (Least Significant Bit Insertion) Yöntemi

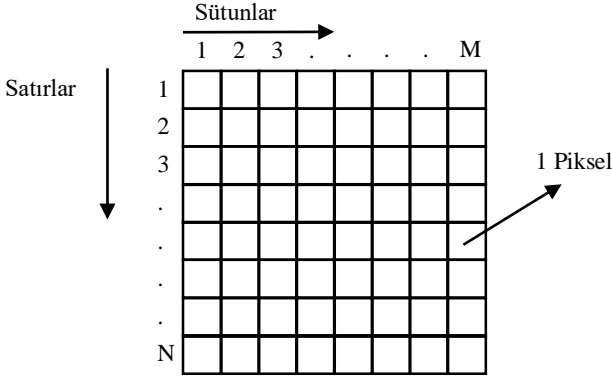
Bu teknikte, her pikselin (RGB) renk değerlerinin ikili sayı karşılıklarının son (en önemsiz) biti kullanılır. Bir karakterin ASCII tablosundaki ikili sayı karşılığı (8 bit) gizlemek için 3 piksel gereklidir. Karakterin ikili sayı değeri, 3 pikselde bulunan 9 renk değerinin ilk 8'inin son bitine sırası ile gömülmektedir. Pikseller üzerindeki bu işlemler renk üzerinde bazı değişikliklere yol açmaktadır ama bu değişim gözle fark edilemeyecek kadar az olmaktadır.

Gizlenmiş olan bir verinin elde edilmesi için gizleme işleminin tersi uygulanır. 3 pikselin toplamda 9 renk değerinden ilk 8'inin ikili sayı değerinin son bitleri alınır. Bit değerleri birleştirilir ve oluşan 1 byte uzunluğundaki ikili sayı değerinin ASCII tablosundaki karakter karşılığı bulunur.

### DHY Kodlama Yöntemi

Bu yöntemde, pikselin yeşil değeri ortak bir sayısal fark içeren komşu piksellerin, sonraki komşu piksellerinin mavi değerlerine bir ASCII karakter kümesinin sayısal değerliğinin gömülmesi mantığına dayanmaktadır.

Sayısal (digital) resim M sütunluk ve N satırlık bir dizi ile gösterilir. Genellikle satır ve sütun indeksleri x ve y veya c ve r olarak gösterilebilir. Bir resim dizisinin elemanlarına piksel denir (Young, Gerbrands ve Van Vliet, 1995).

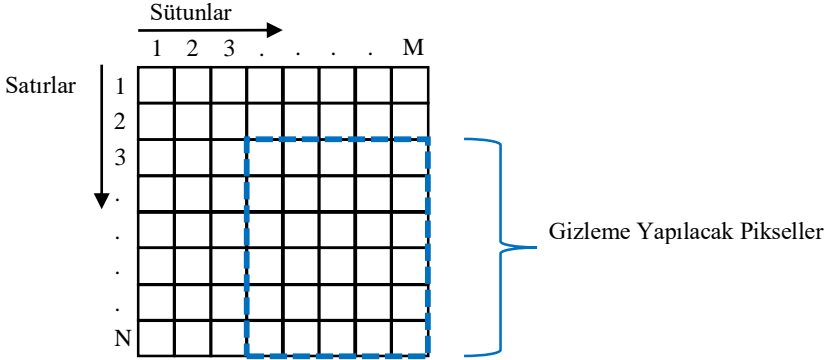


**Şekil4.** Sayısal resmin temel yapısı

Önerilen yöntemde genişlik ve yükseklik değerlerinin 6'ya göre modu alınır. Değerlendirme işlemine bulunan mod değerinden itibaren başlanır, resmin son pikseline kadar devam eder. Eğer resmin genişliği  $M$  ise işlem yapılan genişlik  $M'$  ve yükseklik  $N$  ise işlem yapılan yükseklik  $N'$  kadardır.

$$M' = M - (M \bmod 6) \text{ ve } N' = N - (N \bmod 6) \text{ olur.}$$

Örneğin; boyutları  $M=200$ ,  $N=100$ 'lük bir resim (200,100) için; (2,4) numaralı pikselden hesaplama işlemine başlanır. Buradan;  $M'= 200 - (200 \bmod 6)=198$ ,  $N'= 100 - (100 \bmod 6)=96$  olarak hesaplanır. Gizleme işlemi (198,96) alan içerisine yapılır.



**Şekil5.** DHY yöntemi ile veri gizlenecek piksellerin örnek gösterimi

Başlangıç pikselinden itibaren, aynı satırda bulunan her piksel için sonraki komşu pikselin yeşil değer farkının mutlak değeri alınır. Bu işlem sondan bir önceki piksel ile son pikselin yeşil değer farkı alınana kadar devam ettirilir. Hesaplanan farklar toplanır ve işlem yapılan piksel sayısına

bölünür. Çıkan sonuç en yakın üst tamsayıya yuvarlanır ve buna anahtar (key) adı verilir.

Kullanılan fonksiyon şu şekildedir:

$$Key = \left\lfloor \frac{1}{N'(M' - 1)} \sum_{x=1}^{N'} \sum_{y=1}^{M'-1} |P_{(x,y)}(Green) - P_{(x,y+1)}(Green)| \right\rfloor$$

M'= Resmin genişliğinden, genişliğin mod 6 çıkarılmış değeri

N'= Resmin yüksekliğinden, yüksekliğin mod 6 çıkarılmış değeri

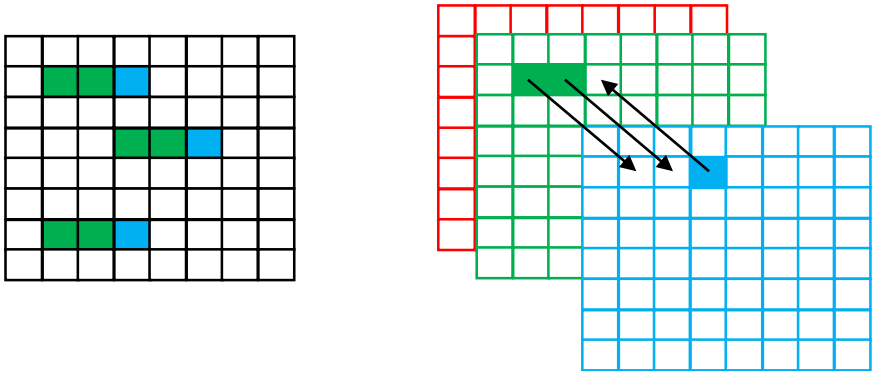
x= yatay değer

y= dikey değer

$P_{(x,y)=x,y}$  koordinatındaki piksel

$P_{(x,y)}(Green)= x,y$  koordinatındaki pikselin yeşil değeri

Anahtar belirlendikten sonra başlangıç noktasından (Örnek; (2,4)) itibaren tekrar komşu piksellerin fark işlemine başlanır. Eğer komşu piksellerin yeşil fark değeri anahtara eşitse sonraki komşu piksele gizleme işlemine başlanır. İlgili pikselin mavi değerinin 10'a göre modu alınır ve çıkarılır (birler basamağı sıfıra eşitlenir). Gizlenecek olan metinde bulunan sıradaki karakterin ASCII karakter kümesinin sayısal karşılığının bir basamağı ilgili pikselin mavi değeri ile toplanır. Her basamak anahtar değerine eşit ayrı bir komşuluğun sonraki pikselinin mavi değerine gizlenecektir. Bir düzen oluşturması açısından ASCII tablosundaki her karakterin sayısal karşılığı 3 basamak kabul edilmiştir. Doğal olarak gizlenecek metnin karakter sayısının 3 katı pikselin mavi değeri değiştirilecektir.



**Şekil6.** Örnek kontrol ve komşu piksellerin gösterimi

Örneğin; resim içerisinde 'i' harfi gizlenecek olsun. 'i' karakterinin ASCII tablosundaki sayısal karşılığı 105' tir. '105' değerinin her basamağı parçalara ayrılır. 105' in ilk basamağı (1'i) gizleyecek komşu pikselin RGB değeri P(36,195)(53,167,84) olsun. Mavi değerinin 84 olduğu görülmektedir. Bu değer son basamağı sıfıra eşitlenir, değeri 80 olur. Mavi değeri, 105' in ilk basamağı olan 1 ile toplanır. Pikselin yeni değeri P(36,195)(53,167,81) olur. Her basamak, anahtar değerine eşit ayrı bir komşuluğun sonraki pikselinin mavi değerine sırası ile gizlenir.

Gizlenmiş olan bir verinin elde edilmesi için gizleme işleminin tersi uygulanır. Genişlik ve yükseklik değerlerinin 6' ya göre modu alınır. Başlangıç noktasından itibaren komşu piksellerin yeşil değer farkları hesaplanıp anahtar bulunur. Komşu piksellerin yeşil değer farkı anahtara eşit ise sonraki komşu pikselin mavi değerinin 10' a göre modu alınır. İşlem sonraki anahtara eşit komşuluklar için devam ettirilir ve bulunan değerler birleştirilir. Sonuç üçer üçer bölünür ve ASCII tablosundaki karakter karşılıkları ile değiştirilir. Başlangıçta gizlenen metin elde edilmiş olur.

### Geliştirilen DHY Programı

Bu bildiride png ve jpeg formatında 24-bit resimler üzerinde DHY yöntemi kullanarak veriyi gizleyen ve gizlenmiş veriyi çözen bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Hazırlanan program Visual Studio platformunda C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Program çalıştırıldığında uygulama yazılımı giriş ekranı Şekil 7'de görülmektedir.

#### STEGANOĞRAFİ UYGULAMASI



Şekil7. DHY programı giriş ekranı

Geliştirilen DHY uygulama yazılımı giriş ekranından, geliştirilen steganografi yöntemine ait işlemlerin yapılabildiği işlem ekranına geçiş yapılmaktadır. Kullanıcı, işlem ekranındaki Gizle butonunu kullanarak gizleme işlemi ekranına ve Çöz butonu ile gizlenmiş veriyi çözme ekranına geçiş yapabilmektedir.



**Şekil8.** DHY programı gizle ekranı

Kullanıcı Gizle butonunu bastığında, uygulama ekranının sol kısmında açılan yeni pencerede “Gizlenecek Resmi Seçmek için tıklayınız” paneli, metin editörü, gizle butonu görüntülenecektir (Şekil 8). Bu pencerede kullanıcıdan örtü verisi olarak kullanılacak bir resim seçmesi istenmektedir. Kullanıcı resmi seçtiğinde, seçilen resim, panel üzerinde görüntülenecektir. Resim, programa yüklendiği anda anahtar ve gizleme işlemi yapılabilecek karakter sayısı (karakter sınırı) hesaplanır. Metin editörüne girilebilecek karakter sayısı karakter sınırına eşitlenir. Böylece resme gizlenebilecek karakter sınırından daha fazla karakter girilmesi engellenir. Metin editörüne resim içerisine gizlenecek metnin girilmesi gerekmektedir. Gizlenecek metin girişi yapıldıktan sonra Gizle butonuna basılarak seçilen resim içerisine, kullanıcıdan alınan metin DHY yöntemi ile gizlenecektir. Gizleme işlemi tamamlandıktan sonra kullanıcı, içerisine metin gizlenmiş resim dosyasının saklanacağı dosya yolunu seçer ve dosya adını girerek kayıt işlemini tamamlar.

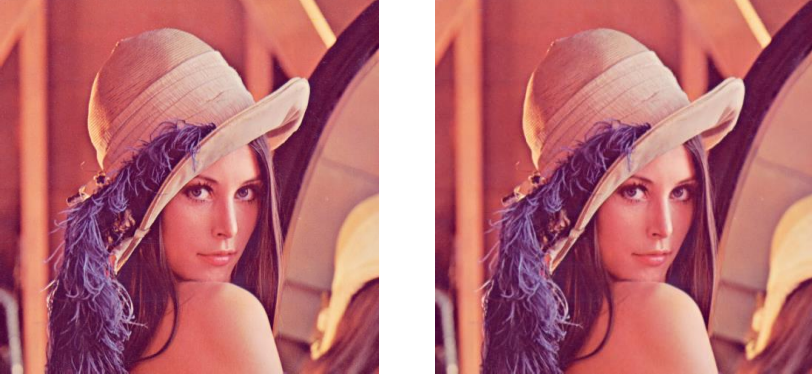


**Şekil9.** DHY programı çöz ekranı

Kullanıcı Çöz butonunu seçtiğinde açılan yeni bir pencerede “Çözülecek Resmi Seçmek için tıklayınız” paneli, metin editörü, çöz butonu görüntülenecektir (Şekil 9). Kullanıcı metin gizlenmiş resmi seçtikten sonra Çöz butonuna bastığında resim içerisine gizlenmiş metin DHY yöntemi kullanılarak çözülecek ve metin editöründe görüntülenecektir. Eğer resim içerisinde DHY yöntemi kullanılarak gizlenmiş bir metin yoksa



“Seçilen Resimde Gizlenmiş metin bulunmamaktadır” mesajı ile kullanıcıya bilgi verilecektir.



**Şekil10.** Orijinal resim, gizli veri içeren resim

### **Sonuçlar**

Bilgi güvenliği ve korunması günümüzde sadece şifreleme işlemleri değil aynı zamanda Steganografi yöntemleri de yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada veri gizleme işlemi için yeni bir yöntem olarak DHY veri gizleme tekniği önerilmiş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu teknikte metin verisi gizleme işlemi, resmin komşu piksellerinin yeşil renk fark değerlerine göre yapıldığı için, konvansiyonel tekniklerden farklı olarak, gizleme işleminde kullanılan pikseller sıralı ve/veya düzenli bir yapı oluşturmaz. Bu yaklaşım ile gizleme işlemindeki piksel konumlarının tahmini zorlaşmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen DHY steganografi uygulaması aracılığıyla png ve jpeg formatlı resim dosyalarında metin gizleme işlemi için denemeler yapılmış ve uygulama yazılımı tanıtılmıştır. Ön bulgular metin gizleme işleminin öncesi ve sonrasında resimler üzerinde fark edilebilecek düzeyde bir değişim olmadığını göstermektedir. İleriye dönük çalışmalarda şifreleme ve veri gizleme işlemi birlikte kullanılarak önerilen yöntemin daha güvenli hale getirilebilecektir.

### **Teşekkür**

Uygulamanın geliştirilmesindeki katkıları için Deniz KAVAK, Hasan TEMİZBAŞ ve Yılmaz ALTAY' a teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Atıcı, M. A. (2007). Steganografik Yaklaşımların İncelenmesi, Tasarımı ve Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Canbek, G. & Sağıroğlu, Ş. (2006). Bilgi ve Bilgisayar Güvenliği: Casus Yazılımlar ve Korunma Yöntemleri. Grafiker Yayınları. Ankara, 01-50.
- Ching-Yu Y., (2007). Color Image Steganography Based On Module Substitutions. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Third International Conference, 118 – 121.
- Choudhury, B., Das, R. & Tuithung, T. (2015). A Novel Method for Distributed ImageSteganography. Department of Computer Science and Engineering and Information Technology, 42, 423-435.
- Goel, S., Rana, A. & Kaur, M. (2013). A Review of Comparison Techniques of Image Steganography. Double Blind Peer Reviewed International Research Journal.
- Hand, S. & Roscoe, T. (2002). Mnemosyne: Peer-to-Peer Steganographic Storage. In 1st Intl. Workshop on Peer-to-Peer Systems, 2429, 130-140.
- Kumar, P. & Kumar Sharma, V. (2014). Information Security Based on Steganography & Cryptography Techniques: A Review. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 4(10), 246-250.
- Özbilgin, F., Durmuş, F. & Karagöl, S. (2018). Yazılı Metni Şifreleyip LSB Yöntemi ile Gizleme. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 676-685.
- Pang, H., Tan, K.L. & Zhou, X. (2003). StegFS: A Steganographic File System. In 19th Intl. Conference on Data Engineering, 657-667.
- Petitcolas, F.A.P., Anderson, R.J. & Kuhn, M.G. (1999). Information Hiding–A Survey. Proceedings of the IEEE, Special Issue on Protection of Multimedia Content, 87(7), 1062-1078.
- Raphael, J. & Sundaram, V. (2011). Cryptography and Steganography – A Survey. International Journal, ISSN: 2229-6093, 2(3), 626- 630.

- Rodríguez-Colín, R., Claudia, F.U., & Trinidad-Bias, G.J. (2007). Data Hiding Scheme for Medical Images. In 17th IEEE Intl. Conference on Electronics, Communications and Computers, 33-38.
- Saleh, M. E., Abdelmgeid A. & Omara, F. (2016). Data Security Using Cryptography and Steganography Techniques. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 7(6), 390-397.
- Sellars D. (1999). An Introduction to Steganography, Student Papers. <http://www.cs.uct.ac.za/courses/CS400W/NIS04/papers99/dsellars/index.html>
- Sharp, T. (2001). An Implementation of Key-based Digital Signal Steganography. In 4th Intl Information Hiding Workshop.
- Şahin, A. (2007). Görüntü Steganografide Kullanılan Yeni Metodlar ve Bu Metodların Güvenilirlikleri. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Edirne.
- Wayner, P. (2002). Disappearing Cryptography (2nd Edition). Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, USA.
- Young, I.T., Gerbrands, J.J. & Van Vliet, L.J. (1995). Fundamentals of Image Processing. Delft University of Technology.

**BIOMEDICAL ENGINEERING / BİYOMEDİKAL  
MÜHENDİSLİĞİ**

# OPTIMIZATION OF ELECTROSPINNING PARAMETERS IN THE PRODUCTION OF PCL SCAFFOLD

Nilay KÜÇÜKDOĞAN\* & Savaş ÖZTÜRK\*\* & Melih SAVRAN\*  
Ozan AYAKDAŞ\*\*\* & Levent AYDIN\*\*\*\*

\**Izmir Katip Çelebi University, Department of Graduate School of Natural and Applied Sciences, [kucukdogan.nilay@gmail.com](mailto:kucukdogan.nilay@gmail.com)*

\*\**Manisa Celal Bayar University, Department of Metallurgical and Materials Science Engineering, [savas.ozturk@cbu.edu.tr](mailto:savas.ozturk@cbu.edu.tr)*

\*\*\**Izmir Institute of Technology, Department of Graduate School of Natural and Applied Sciences, [ozanayaksas@gmail.com](mailto:ozanayaksas@gmail.com)*

\*\*\*\**Izmir Katip Çelebi University, Department of Mechanical Engineering, [levent.aydin@ikc.edu.tr](mailto:levent.aydin@ikc.edu.tr)*

**Abstract :** Polycaprolactone (PCL) is an e biodegradable polymer used in artificial tissue production. Tissue scaffolds with PCL produced by different techniques essential are used in the treatment of bone tissue. Among the production techniques, electrospinning is of interest in the production of a mechanically robust porous tissue scaffold. To produce the desired properties, the electrospinning parameters such as polymer concentration, solution injection rate, collector-nozzle distance, and applied voltage must be selected correctly. In this study, the neuro-regression analysis was used to model the effect of production parameters on maximum tensile stress and suture retention values by taking data from another study produced by electrospinning method PCL-scaffold production and determining optimum production parameters by using DE, NM, RS, and SA algorithms. When the obtained results were compared with the reference study, tensile stress and suture retention values were increased by approximately 15% and 70%, respectively.

**Keywords:** stochastic optimization, friction deposition, stainless steel, tissue scaffold, neuro-regression analysis

## Introduction

Tissue engineering is a rapidly growing research field aimed at creating, restoring, and (/or) removing tissues and organs utilizing cell, biomaterial, and (/or) biologically active molecules combinations. For tissue engineering, the basic approach is to establish scaffolding in the field of damaged tissues. This scaffold's structure is built using several different materials (such as natural, synthetic, or composite materials) (Pallua & Suschek, 2010). Polycaprolactone (PCL) is a significant biodegradable polymer used in the production of artificial tissue (Labet & Thielemans,

2009). An optimal scaffold, however, should be identical to the natural organs matrix, biocompatible, and biodegradable (Asvar, Mirzaei, Azarpira, Geramizadeh, & Fadaie, 2017).

Scaffold manufacturing techniques vary from traditional techniques such as solvent casting and particulate leaching to computer-aided design (CAD) technologies consisting of techniques such as 3D printing and solid-freeform manufacturing. Particular methods include fabric techniques like electrospinning and weaving, as well as tissue decellularization. In tissue engineering, the technique of electrospinning production is often preferred. Electrospinning is a relatively common and relatively simple method thanks to the variety of electrospinnable polymers. Electrospun nanofibrous mats are suitable candidates for tissue engineering applications due to their structural similarity to native extracellular tissue matrix (Asvar et al., 2017; Pallua & Suschek, 2010).

In processing via electrospinning, nanofibers are produced in a nonwoven network structure, which in turn brings restricted mechanical properties. Thus, when designing scaffolds for tissue regeneration, the mechanical properties of electrospun scaffolds are critical. For example, while stiffness is affected the cell scaffold interaction, different elasticity modules with the same fiber diameter and microstructure are obtained from the scaffold. Besides, when implanted into the organism, the scaffold's mechanical properties, such as tensile strength and suture retention strength, play a critical role (Asvar et al., 2017; Hutmacher et al., 2001; Pallua & Suschek, 2010).

Hence, the interaction between the mechanical properties of the scaffold and the parameters of electrospinning has been examined in many studies. It is useful to use a technique for estimating and producing a model to determine the interactions and simultaneous effects of input parameters on output. Using a model to describe the effects of electrospinning parameters on output values allows us to represent the influencing parameter and systematically and to predict experimental results with different combinations of parameters, interplay and simultaneous effects (Hutmacher et al., 2001; Pallua & Suschek, 2010).

In multicomponent engineering applications, Response Surface Methodology, Artificial Neural Network, and Regression Analysis (RA) are used to express the relationship between process parameters and results mathematically. In recent years, Neuro-regression, which operates RA with an ANN system, has become popular. In this process, a particular part of the experimental sets are used as training data (80%), and the rest is used as testing data (approximately 20%). Nonlinear regression models created with training data are checked for accuracy with testing data. Statistical

proximity is also calculated between the results of the testing data and the estimates of the models (Ozturk, Aydin, Kucukdogan, & Celik, 2018).

In this study, polymer concentration, solution feed rate, applied voltage, nozzle to collector distance parameters were used as independent variables, tensile strength, and suture retention (dependent variables). 80% of the experimental sets data were randomly selected in the Wolfram Mathematica v.11 as training data to create regression models, and a second-order nonlinear polynomial model was formed by a fitting method using these data. The remaining 20% of the data were used to test this regression model. In the test stage, the relationship between the predictions of the model and the actual values were calculated statistically, and regression models with high accuracy estimation were used in the optimization study. In the optimization stage, the Differential Evolution algorithm was used to maximize tensile strength and suture retention values.

## **Material and Method**

### **Regression Analysis**

The response surface method includes empirical modeling techniques used to investigate the experimental space of process variables, to determine the relationship between the system's response and the independent variables acting on it. In regression analysis, the relationship between response and independent variables needs to be expressed in mathematical functions. At this stage, if the output parameters can be expressed as a linear function of the input parameters, the first-order linear equation can be used as a model. In some cases, first-order polynomial models fail to predict the relationship between input and output parameters. In these cases, higher-order polynomials, exponential, and trigonometric equations should be used as a model to define an event (Montgomery, Peck, & Vining, 2012). After estimating the mathematical model, it is necessary to examine that the obtained predictions using this model are how highly sensitive. At the end of this process, the model that best describes the event is selected to be used as the objective function in the optimization stage.

### **Optimization**

Optimization is defined as a process including maximization or minimization of objective function under specified constraints. Namely, the goal of optimization is to search for the best solution that provides all the constraints of the problem. The algorithm to be used in optimization should be selected according to the type of problem being addressed. While an algorithm gives good results for a problem, however, may not yield acceptable results for a different type of problem. In this regard,

optimization methods can be classified as deterministic and stochastic. Deterministic methods perform derivative calculations to achieve optima. These methods are used to solve problems involving differentiable mathematical functions. The disadvantages of such algorithms are that they require complex procedures and long solution times. However, stochastic search methods requiring no gradient information of the objective functions and the constraints. The algorithms have randomness and apply approximate procedures to find the global optimum. Although stochastic algorithms have capable of producing acceptable high-quality solutions in reasonable computational time, and they are also flexible enough to quickly meet changes in model, constraints, and objective functions, they do not always guarantee the optimum solution and can sometimes be attained to local solutions (Karaboğa, 2014). In this study, to eliminate this disadvantage of stochastic algorithms, differential evolution, simulated annealing, Nelder Mead, and Random Search stochastic algorithms, which include distinct operating procedures, have been used. Differential Evolution (DE) is one of the stochastic algorithms which is simple, powerful, and population-based that are similar to the genetic algorithm in terms of operation. Simulated Annealing (SA) is an algorithm developed by considering heating and cooling stages of the heat treatment process of metals. It is crucial parameters affecting optimization results that (i) determination of an appropriate initial value for the temperature parameter, (ii) cooling rate and temperature change rule, (iii) selection of the number of iterations to be performed at each temperature, (iv) the stopping criterion of the algorithm (Karaboğa, 2014). Nelder Mead and simulated annealing are random search methods that are less known than other stochastic algorithms. At first, these algorithms have been only used to solve unconstrained optimization problems; however, later, they have become increasingly preferred in challenging engineering problems involving constraints. The most crucial reason why Nelder Mead is preferred that it usually provides significant improvements in the first few iterations and yields entirely satisfactory results quickly without wasting time.

The present study has explored the influence of the independent process parameters such as polymer concentration (wt%), applied voltage (kV), nozzle-collector distance (mm) and polymer solution feed rate (ml/h) on tensile and suture retention strength of polycaprolactone (PCL) scaffolds utilizing regression analysis and stochastic optimization methods. The ranges of the processing parameters and experimental results corresponding to tensile and suture retention strength are taken from (Asvar et al., 2017) are given in Table 1.



## Results and Discussion

In this section, tensile strength and surface roughness regression models with high  $R^2$  values have been finalized and optimum values have been obtained depending on optimization algorithms (see Tables 2 and 3).

**Table 1.** Values for processing parameters and experimental results corresponding to tensile and suture retention strength

Sample No	Polymer concentration “c”	Solution feed rate “f”	Applied voltage “v”	Nozzle collector distance “d”	Tensile strength (MPa)	Suture retention (N/mm)
1	10	2	20	140	0.700	4.20
2	20	2	20	140	1.300	20.0
3	10	5	20	140	0.900	5.0
4	20	5	20	140	3.030	48.0
5	15	3.5	15	120	2.000	39.0
6	15	3.5	25	120	1.000	20.0
7	15	3.5	15	160	1.610	32.0
8	15	3.5	25	160	1.360	18.0
9	10	3.5	20	120	0.500	6.0
10	20	3.5	20	120	2.270	39.0
11	10	3.5	20	160	0.500	2.0
12	20	3.5	20	160	1.900	33.0
13	15	2	15	140	1.420	25.0
14	15	5	15	140	2.260	38.0
15	15	2	25	140	1.000	14.0
16	15	5	25	140	1.550	23.0
17	10	3.5	15	140	0.666	12.5
18	20	3.5	15	140	2.600	42.0
19	10	3.5	25	140	0.833	4.0
20	20	3.5	25	140	2.100	36.0
21	15	2	20	120	1.000	20.0
22	15	5	20	120	2.060	34.0
23	15	2	20	160	1.800	10.0
24	15	5	20	160	1.280	18.5
25	15	3.5	20	140	1.650	35.0
26	15	3.5	20	140	1.730	36.0
27	15	3.5	20	140	1.500	34.0

In the modeling phase, in order to test the accuracy of the predictions, a hybrid method is used, which combines the advantages of regression analysis and Artificial Neural Network (ANN). In this approach, all data is divided into two sets such that 80% and 20% of the given data and the first portion of the data is used for training; the second one is for testing. In the

training process, the aim is to minimize the error between the experimental and predicted values by adjusting the regression models and their coefficients. By using the prescribed process following tensile strength regression function is obtained with  $R_{training}^2 = 0.95$ ,

$$R_{testing}^2 = 0.83$$

### **Tensile strength**

$$\begin{aligned} TS = & -1.244 + 0.098 c - 0.006 c^2 + 0.014 d + 0.001 cd \\ & - 0.00017 d^2 + 0.783 f + 0.095 cf - 0.006 df \\ & - 0.0003 cdf - 0.022 f^2 - 0.235 v - 0.006 cv \\ & + 0.002 dv - 0.027 fv + 0.0003 cvf + 0.00009 dfv \\ & - 0.0007 v^2 \end{aligned}$$

In this formulation  $c$ ,  $d$ ,  $f$ , and  $v$  represent polymer concentration, nozzle collector distance, solution feed rate, and applied voltage, respectively. When Table 2 is examined, it is seen that the most suitable parameters to reach the maximum tensile strength were obtained as polymer concentration = 20, solution feed rate = 5, applied voltage = 15 and nozzle collector distance = 12. These results were obtained by all the methods.

**Table 2.** Optimization results for maximum tensile strength

	<b>Tensile strength</b>	Polymer concentration "c"	Solution feed rate "f"	Applied voltage "v"	Nozzle collector distance "d"
DE	3.85	20	5	15	12
NM	3.85	20	5	15	12
SA	3.85	20	5	15	12
RS	3.85	20	5	15	12

### **Suture retention**

$$\begin{aligned} SR = & -223.835 + 5.844 c - 0.372 c^2 + 3.317 d + 0.051 cd - 0.019 d^2 \\ & - 35.995 f + 3.118 cf + 0.427 df - 0.021 cdf - 2.986 f^2 \\ & - 4.554 v - 0.112 cv + 0.067 dv + 0.289 fv + 0.045 cvf \\ & - 0.007 dfv - 0.103 v^2 \end{aligned}$$

$$R_{training}^2 = 0.99, \quad R_{testing}^2 = 0.77$$

Similarly, when Table 3 is examined, it can be observed that the most suitable parameters to reach the maximum surface roughness suture retention strength value was obtained for polymer concentration = 20, solution feed rate = 5, applied voltage= 15 and nozzle collector distance=12.0663.

**Table 3.** Optimization results for maximum suture retention strength

	<b>Suture retention</b>	Polymer concentration "c"	Solution feed rate "f"	Applied voltage "v"	Nozzle collector distance "d"
DE	54.58	20	5	15	12.0663
NM	54.58	20	5	15	12.0663
SA	54.58	20	5	15	12.0662
RS	54.58	20	5	15	12.0662

## Conclusion

PCL is a biodegradable polymer used in the manufacture of artificial tissue. Tissue scaffolds with PCL developed via various vital techniques are used in bone tissue treatment. Electrospinning is of interest among production techniques in the manufacture of a mechanically robust porous tissue scaffold. The electrospinning parameters, including polymer concentration, solution injection frequency, collector-nozzle length, and applied voltage, have to be selected correctly to produce the desired properties. In this research, the neuro-regression analysis has been used to model the effect of output parameters on maximum tensile strength and suture retention values. Optimum production parameters are obtained by DE, NM, RS, and SA algorithms. If making comparisons obtained with the reference research, tensile strength and suture retention values were increased by about 15% and 70%, respectively.

## References

- Asvar, Z., Mirzaei, E., Azarpira, N., Geramizadeh, B., & Fadaie, M. (2017). Evaluation of electrospinning parameters on the tensile strength and suture retention strength of polycaprolactone nanofibrous scaffolds through surface response methodology. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 75, 369-378.
- Hutmacher, D. W., Schantz, T., Zein, I., Ng, K. W., Teoh, S. H., & Tan, K. C. (2001). Mechanical properties and cell cultural response of polycaprolactone scaffolds designed and fabricated via fused deposition modeling. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 55(2), 203-216.
- Karaboğa, D. (2014). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. *Nobel Akademik Yayıncılık*, 245.
- Labet, M., & Thielemans, W. (2009). Synthesis of polycaprolactone: a review. *Chemical Society Reviews*, 38(12), 3484-3504.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (Vol. 821): John Wiley & Sons.
- Ozturk, S., Aydin, L., Kucukdogan, N., & Celik, E. (2018). Optimization of lapping processes of silicon wafer for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 164, 1-11.
- Pallua, N., & Suschek, C. V. (2010). *Tissue engineering: from lab to clinic*: Springer Science & Business Media.

**ENGINEERING SCIENCES / MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ**

# BİTKİ HÜCRE, DOKU VE ORGAN KÜLTÜRLERİNDE BİYOREAKTÖRLERİN KULLANIM POTANSİYELİ

**Begüm GÜLER \* & Aynur GÜREL \*\***

\* *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, begumakyol.ege@gmail.com*

\*\* *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, aynurgurel@gmail.com*

**Özet:** Bitki hücre, doku ve organ kültürleri; laboratuvarlarda, steril koşullar altında yapay besin ortamlarında bitkilerin hücre, doku veya organları kullanılarak yeni hücre, doku, bitki veya bitkisel ürünlerin üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. Farklı tekniklerin ele alındığı bu kültürlerde amaca göre değişmekle birlikte, embriyo kurtarma, homozigot bitkilerin elde edilmesi, hastaliksız bitkilerin üretimi vb. çok çeşitli çalışma konuları mevcuttur. Gelişen dünya ile birlikte, kendisine daha geniş uygulama alanları bulmuş ve pratik uygulamaları bitki çoğaltım endüstrisinde tercih edilir hale gelmiştir. Biyokütlenin, yarı-katı kültürlerin yerine sıvı kültürlerde daha yüksek verimlilikle üretildiklerinin belirlenmesi ile kullanılan türe ve istenen nihai ürüne özgü yeni biyoreaktör sistemleri de geliştirilmeye ve tasarlanmaya başlanmıştır. Hücrelerin, somatik embriyoların ve sürgün yığınlarının ya da soğan gibi çeşitli bitkisel materyallerin üretimleri için biyoreaktörler; giderek umut vaat eden sistemler olmuşlardır. Biyoreaktörler özellikle mikroçoğaltımda, sekonder metabolitlerin elde edilmesi ve somatik embriyoların kitlesel üretimlerinde tercih edilen sistemlerdir. Günümüzde satın alınabilen ya da basit şekilde tasarlanabilen çok sayıda farklı biyoreaktörler tipleri mevcuttur. Klasik bitki doku kültürü çalışmaları ile kıyaslandığında biyoreaktör sistemleri; ölçek büyütme kolaylığı, havalandırma ile yeterli oksijeni sağlayan havanın yenilenmesi, sıvı ortam kullanımına bağlı olarak besin maddelerine erişimin kolay olması, ortam pH'sı ve sıcaklığı gibi bitki büyümesi üzere etkili olan fiziksel parametrelerin kolayca kontrol edilebilmesi, zamandan tasarruf sağlanması ve işçilik maliyetlerini düşürmesi gibi çok sayıda avantaja sahiptir. Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde kullanılacak bir biyoreaktör tasarlanırken, tek üretimde çok sayıda biyokütle eldesi, ölçeklenebilme, az sayıda kültür kabı kullanımı, basit inokulasyon ve hasat prosesi, bitkisel materyallerin besin maddeleri alımını kolaylaştırmak adına besin ortamı ile kültür arasında yeterli temasın sağlanması, büyüme hızı ve son biyokütleyi arttırmak için yeterli oksijeni sağlayan havalandırma kapasitesi vb. gibi parametreler incelenmelidir. Biyoreaktörler, ürün kalitesini artırma ve mikroçoğaltım maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptirler.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoreaktör, mikroçoğaltım, sekonder metabolit, Bitki doku kültürü

## Giriş

Haberlandt'ın (1902) 100 yıldan uzun zaman önce bitki doku kültürü ile ilgili yaptığı ilk çalışmalardan sonra, küçük bitki kısımlarından tam bitkilerin üretilmesine yönelik araştırmalar laboratuvarlarda

gerçekleştirilmeye başlatılmıştır (Akin-Idowu, Ibitoye ve Adenoyegun 2009; Espinosa-Leal, Puente-Garza ve Garcia-Lara, 2018). 1980'lere gelindiğinde ise bitki hücre, doku ve organ kültürlerine yönelik çalışmalar dünyanın dört bir yanında, laboratuvarlardan ticari firmaların üretim proseslerine aktarılmışlardır (Akin-Idowu ve diğerleri, 2009). Günümüzde ise, *in vitro* bitki hücre, doku ve organ kültürü teknikleri; hastalısız bitki üretimi, nadir bitki genotiplerinin hızlı çoğaltımı, bitkilerde genom transformasyonu ve önemli sekonder metabolitlerin üretimi için vazgeçilmez teknikler haline gelmiştir (Espinosa-Leal ve diğerleri, 2018).

Bitkilerin yarı-katı kültürler yerine, sıvı kültürlerde daha yüksek verimlilikle üretilmelerinin belirlenmesinden sonra ise “biyoreaktör” sistemleri devreye girmiştir. Biyoreaktörlerin, bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde kullanımının başlanması, 1974 yılında Murashige tarafından temel mikroçoğaltım planının belirlenmesinden sonra bitki endüstrisinde gerçekleşen en büyük gelişme olarak adlandırılmaktadır (Akin-Idowu ve diğerleri, 2009). Biyoreaktörler ilk olarak karıştırmalı tank biyoreaktörler olarak mikrobiyal üretimler için tasarlanmış olmakla birlikte, bitkilerde hücre kültürlerine uygulanmıştır. Daha sonra gerçekleşen çalışmalarla birlikte biyokütle üretiminin yanı sıra, somatik embriyogenez ve organogenez mekanizmaları da mikroçoğaltım araştırmalarında kullanılmaya başlanmıştır (Topçu ve Çölgeçen, 2015).

Ticari olarak gerçekleştirilen doku kültürü çalışmalarında; genellikle yarı-katı besin ortamları kullanılmakta, bu üretimlerde de çok sayıda küçük kültür kabı ihtiyacı, işçilik ve kurulu bir laboratuvar düzeninin oluşturulması vb. çok çeşitli nedenlerle çoğaltım etkinliği kısıtlanmakta ve maliyet artmaktadır. Bu sorunların aşılması için, daha az ekipman ve daha düşük maliyetle büyük ölçek üretim tekniklerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiklerinde biyoreaktörler; işçiliği ve üretim maliyetlerini azaltması nedeniyle bitkilerin *in vitro* kitlesel üretimlerinin ticarileştirilmesinde pratik sistemler sunmaktadır (Takayama ve Akita, 2006).

“Biyoreaktör” terimi; genellikle biyolojik bir reaksiyonun gerçekleştiği tepkime kabı (kap/torba ya da aparat) olarak tanımlanmakla birlikte, aerobik hücrelerin ya da immobilize hücre/enzimlerin dolgu yataklarda kültürünün sağlandığı kapalı sistemler olarak da tanımlanmaktadır (Takayama ve Akita, 2006; Valdiani, Hansen, Nielsen, Johannsen, Shariat, Georgiev, Omidvar, Ebrahimi, Dinanai ve Abiri, 2019; Su, Sujarani, Shalini ve Prabhu, 2019). Biyoreaktör sistemleri, genel olarak bakteriyal üretimler için geliştirildiklerinden dolayı bitkisel üretimler açısından çok uygun değildir (Berthouly ve Etienne, 2005). Biyoreaktörler; mikrobiyal, hayvansal ve bitkisel metabolitlerin endüstriyel ölçekte üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır (Takayama ve Akita, 2006). 1981

yılında Begonya bitkisinde kabarcık kolon biyoreaktör sistemi kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışma, biyoreaktörler aracılığıyla gerçekleştirilen ilk araştırma olarak kabul edilmiştir. Ardından çilek, patates, stevia vb. birçok bitkiye ait çeşitli bitki kısımlarının büyük ölçek üretimleri biyoreaktörler ile gerçekleştirilmiştir (Takayama ve Akita, 2006). Stabil oluşu, uygulama kolaylığı, artan besin maddesi alım kapasitesi, zaman ve maliyetten tasarruf sağlaması ve yüksek oranda biyokütlenin üretimi gibi özellikler nedeniyle biyoreaktör üretimleri; klasik bitki hücre, doku ve organ kültürü tekniklerine karşı iyi bir alternatif üretim tekniğidirler. Biyoreaktörler giderek artan sayıda çeşitli bitkilerde kullanılmaya başlanmış ve bu teknolojilerin yardımı ile bitki hücre, doku ve organ kültürü tekniklerinde fark edilir bir gelişme sağlanmıştır (Valdiani ve diğerleri, 2019).

Paek, Chakrabart ve Hahn (2005), biyoreaktörlerin kullanım amacını üç ana başlık altında toplamışlardır. Bunlardan birincisi hücre, embriyogenik kısım, sürgün, kök ya da nihai ürün gibi biyokütlenin üretimidir. İkincisi; sekonder metabolitler ya da enzimlerin üretilmesidir. En sonucusu ise; çoğunlukla metabolik yollarda prekürsör olarak görev alan metabolitlerin eklenmesi ile biyotransformasyonun sağlanmasıdır (İbrahim, 2017).

Biyoreaktörlerin kullanımı, otomasyon sistemlerini devreye sokarak üretim maliyetini mümkün olduğunca düşük tutmak amacıyla kimyasal ve fiziksel parametrelerin düzenlenmesi ile maksimum verim ve yüksek kalitede ürün üretilmesini sağlamaktadır (Vidal ve Sanchez, 2019). Özellikle hızlı karıştırmadan kaynaklanan kayma gerilimi ve kabarcık balonla sağlanan havalandırmalarda köpük oluşumu vb. nedenler üretim proseslerinde soruna yol açtıkları için biyoreaktör tasarımı gerçekleştirilirken etkili parametrelerin bütünüyle ele alınması gerekmektedir (Thakur, Sood ve Ahuja, 2018).

### **Biyoreaktör Kullanımının Avantajları**

Klasik bitki doku kültürü teknikleriyle karşılaştırıldığında biyoreaktör üretimleri çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilirler (Akin-Idowu ve diğerleri, 2009; Paek ve diğerleri, 2005; Sharma ve Shahzad, 2013; İbrahim, 2017);

- Üretim prosesi; hücre, organ ya da bitkicik gibi istenen form üzerine odaklanabilir ve ticari ölçekte otomasyona oturtulmuş bir sistem ile sağlanabilir.
- Sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen, karbon dioksit ile besin maddesi içerikleri vb. kültür koşulları kontrol edilebilmektedir.
- Biyoreaktörler, zaman ve işçilikten tasarruf edilmesini sağlarlar.
- Ölçek büyütmede besin alımı en önemli parametredir. Bu açıdan biyoreaktörlerde ölçek büyütme daha kolaydır.



- Gerçekleştirilecek uygun havalandırma ile büyüme ve çoğaltım katsayısında artışlar elde edilebilir.
- Çoğaltılması zor olan odunsu türler ve ağaçların da biyoreaktör aracılığı ile yüksek üretim miktarlarında çoğaltılması klasik yöntemlere göre daha kolaydır.
- Klasik mikroçoğaltım tekniklerine göre daha büyük hacimlerde üretim gerçekleştirilebilmektedir.
- Mekanik ve pnömatik karıştırma ile homojen kültür koşulları sağlanabilmektedir.

Bitki doku kültürlerinde yarı-katı besin ortamlarının kullanımı, besin maddelerinin bir süre sonra yetersiz kalması, besin ortamının kuruması ve toksik bileşiklerin artması vb. nedenleriyle sık sık altkültürleme ihtiyacı oluşturmakta ve bu işlemler sırasında kontaminasyon riski artmaktadır. Ayrıca bu durum maliyetin de artmasına neden olmaktadır. Sıvı besin ortamı kullanımı ile, bitki eksplantının tüm yüzeyi besin ortamıyla temas ettiği için bileşenler daha iyi absorbe edilmektedir. Bu nedenle, sıvı kültür ortamlarının biyoreaktörlerde kullanımları giderek artmakta ve ticari amaçlı üretimler için tercih edilen sistemler haline gelmektedir (Yenice, 2010). Yapılan bazı araştırmalar, biyoreaktörler veya mekanize sistemlerin bitkilerde sekonder metabolit üretimlerinde kullanımı ile maliyetin %50 oranında azaldığını da göstermiştir (Espinosa-Leal ve diğerleri, 2018).

Bitkisel üretimlerin gerçekleştirilmesinde sıvı kültürlerinin kullanımının sayılan avantajlarının yanı sıra, çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Bunlar; bazı endojen bileşiklerin besin ortamına salınması, yüksek miktarda inokulasyona ihtiyaç duyulması, hiperhidrisite, şekil bozukluğu, köpük oluşumu, kayma gerilimi ve oksidatif stres olarak sıralanabilmektedir. Biyoreaktörlerin tasarımları gerçekleştirilirken bütün bu dezavantajların minimize edilmesine çalışılmalıdır (Ziv, 2005).

### **Biyoreaktörlerin Kullanımında Etkili Parametreler**

Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde biyoreaktörlerin tasarımı, bitki üretim etkinliği (elde edilen bitkisel üretim açısından hedeflenen amaca ulaşılması) ve verimliliğini (kaynaklardan optimum çıktının sağlanması) arttırmaya yönelik yarı katı (agar içeren) ortamlardan sıvı besin ortamlarının kullanıldığı karıştırmalı kültürlerle geçiş temeline dayandırılır. Bu konsept dahilinde incelendiğinde, tek üretim prosesinde çok sayıda bitkicik üretiminin sağlanması, ölçek büyütmenin kolaylığı, az sayıda kültür kabına ihtiyaç duyulması, inokulasyonun ve hasatın kolay olması, havalandırma ile büyüme hızı ve son biyokütlenin artışı için gerekli oksijenin sağlanması vb. birçok parametre bu tip üretim sistemlerinin tasarlanmasında ele alınmalıdır (Valdiani ve diğerleri, 2019; Yükçü ve Atağan, 2009).

Bir biyoreaktör tasarımı gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken çeşitli parametreler mevcuttur. Bunlar genel olarak şu başlıklar altında toplanabilirler (Mamun, Egertsdotter ve Aidun, 2015):

- **Kayma gerilimi:** Kayma gerilimi, mekanik ya da pnömatik her karıştırma türünde gözlenen bir durumdur. Membran bütünlüğü, hücre büyümesi, mitokondriyal aktivite, morfoloji, çeşitli protein ve sekonder metabolitlerin ortama salınımı vb. birçok yaşamsal faktör üzerinde etkisi bulunmaktadır. Ortamda uygun düzeyde kayma gerilimi oluşması durumunda, besin ve gaz transferleri hücre agregatlarına istenen miktarlarda sağlanırken, hücre büyümesi ve primer metabolizma üzerinde de olumlu etkiler elde edilmektedir. Ancak genel olarak bitki hücreleri; büyük formlarda ve daha sert-kırılgan yapılarda olmaları sebebiyle kaymaya duyarlıdırlar. Türden türe değişen bir kayma gerilimi eşik değeri mevcuttur, bu eşik değerini aşılması durumunda hücre ölümleri ortaya çıkmaktadır.
- **Gaz değişimi:** Biyoreaktörlerde; gaz-sıvı ve sıvı (ortam)-katı (hücre) arasında gerçekleşen kütle transferi bitki hücrelerinde solunumun sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) ve asetaldehit (CH<sub>3</sub>CHO) kültürlerde solunum sonucunda oluşan ürünlerdir. Kültür kabında bu gazların birikimi sonucunda büyüme inhibisyonu gözlenir. Bu amaçla, biyoreaktörlerde steril koşullarda taze oksijen transferinin kolaylığı, oluşan gazların kültürden uzaklaştırılması ve biyoreaktör içerisinde istenen gaz kompozisyonunun devamlılığı sağlanmaya çalışılmalıdır.
- **Sterilite:** Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde, kullanılan besin ortamının en önemli komponentlerinden birinin sükröz olması nedeniyle, kontaminasyonlar çok kolay oluşabilmektedir. Özellikle sıvı kültürler yarı katı kültürlerle göre kontaminasyona daha açıktır. Kontaminasyon maliyet üzerinde etkili bir faktör olmakla birlikte, zaman ve işçilik kaybına da sebebiyet vermektedir. Bu amaçla sterilizasyonun devamlılığının sağlanması önemli bir parametredir.
- **Besin ortamı değişimi:** İyi tasarlanmış bir biyoreaktörde, besin ortamının tazelenmesi ve değişimi, besin ortamının sterilizasyonunun sağlanmasında önemli kriterlerden birisi olmaktadır. Bu sebeple, daha az adımla besin ortamı değişimine müsaade eden sistemler ile besin ortamının sterilizasyonu daha uzun süre devam ettirilebilmektedir.
- **Senkronizasyon:** Bu terim ile sıvı ya da yarı katı ortamlarda bitki hücrelerinin simultane (eş zamanlı), büyüme ve gelişimi ifade edilmektedir. Biyoreaktör üretimlerinde senkronizasyon sağlanarak daha yüksek verim sağlanabilmektedir.

Bu parametreler haricinde biyoreaktör tasarımlarında dikkat edilmesi gereken farklı fiziksel (sıcaklık, oksijen transferi, karıştırma) ve kimyasal (pH ve besin ortamı) parametreler de mevcuttur. Biyoreaktörlerde sıcaklık

kontrolü; sıcaklık sensörleri ya da reaktör etrafına sarılan su ceketleri ile sağlanmaktadır. Biyoreaktör sistemlerinde oksijen konsantrasyonu büyümeyi etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Besin ortamı içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu sağlamak adına saf oksijen, azot ya da hava ile karışımları da kullanılabilir. Azot beslemesinin yapılması ile çözünmüş oksijen konsantrasyonu değeri düşürülebilmektedir. Kültürde düşük oksijen konsantrasyonu veya hücre yoğunluğu gözlemlendiği zaman besin ortamında azot ile hava karışımı beslenmesi gerekmektedir. Araştırmalar oksijen konsantrasyonunu düşük tutmak için azot uygulamasının gerçekleştirilmektedir (Hvoslef-Eide, Olsen, Lyngved, Munster ve Heyerdahl, 2005). Kültürde diğer önemli parametre olan karıştırma ise, hücrelerin/dokuların ya da besin maddelerinin sıvı faz içerisinde homojen şekilde dağılmasında görev almaktadır. Karıştırma; genellikle mekanik karıştırıcılar, spargerlar (dağıtıcı) veya bu ikisinin beraber olduğu sistemler ile sağlanabilmektedir. Ancak karıştırma parametreleri belirlenirken hidrodinamik güçlerin etkisi ile hücrelere/dokulara zarar verilmeyecek ve büyümeyi teşvik edecek şekilde belirlenmelidir (Paek ve diğerleri, 2005).

Biyoreaktör tasarımlarında önemli olan kimyasal parametrelerden pH ise, kültürün durumu hakkında bilgi veren önemli indikatörlerdendir. Özellikle besin ortamında kontaminasyon gerçekleşmesi durumunda ilk gelişme anormal pH değerleri olmaktadır. pH'nın kontrolünde kullanılan asit (genellikle HCl) ve alkali (genellikle NaOH) çözeltileri, biyoreaktöre steril bir filtre aktarılırlar. Ancak pH değerini kontrol altında tutmak için besin ortamına aşırı asit/alkali ilavesi durumunda bitki büyümesi üzerinde negatif etkiler gösteren çeşitli tuzların oluşumu meydana gelmektedir. Bu sebeple mümkün olduğunca az müdahale ile üretimin devam etmesine çalışılmalıdır (Hvoslef-Eide ve diğerleri, 2005).

### **Bitki Doku Kültürlerinde Kullanılan Biyoreaktör Tipleri**

Bir biyoreaktör sisteminin, bitki hücrelerinin büyüme ve gelişimi açısından en optimal koşulları sağlaması hedeflenmelidir. Bu sebeple, gerekli besin maddesi ve havalandırma ihtiyacını, hücrelere zarar vermeyecek şekilde sağlayan ve fonksiyonel olarak etkin biyoreaktör tasarımları geliştirilmesine çalışılmaktadır (Mamun ve diğerleri, 2015). Biyoreaktörlerin tasarlanmasında oksijen transferinin gerçekleşme süresi (saniyeler) ve ikilenme süresi (saatler ya da günler) gibi farklı zaman süreleri biyoreaktörlerin tasarımında dikkate alınacak diğer parametrelerdir (Sajc, Grubisic ve Vunjak-Novakovic, 2000). Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde kullanılan çok sayıda çeşitli biyoreaktör tiplerine ait farklı sınıflandırmalar mevcuttur: (a) Operasyon moduna göre biyoreaktörler, (b) Klasik ve gelişmiş biyoreaktörler, (c) Daldırma tipine göre biyoreaktörler.

**Operasyon moduna göre biyoreaktörlerin** sınıflandırması üç ana grup içerisinde incelenir: (a) Kesikli (Seri-batch) biyoreaktörler-gerekli tüm içeriğin sistemin başlangıcında eklendiği, sistem çalışırken müdahale edilmediği ve proses bittiğinde ürünün alındığı biyoreaktörler, (b) Yarı kesikli (fed batch)-büyümeyi teşvik etmek için gerekli olan besin maddelerinin belirli aralıklarla veya sürekli olarak besin ortamına beslendiği biyoreaktörler, (c) Sürekli (Continuous)-büyüme ve gelişmeyi teşvik etmek amacıyla sürekli besleme sağlanırken, aynı zamanda üretim sonucunda oluşan ürünlerin de kültürden devamlı olarak uzaklaştırıldığı biyoreaktörler. Bu üç sistem haricinde sürekli operasyon modunun bir modifikasyonu olan ve ürünlerin/atıkların sistemden uzaklaştırılması anında hücrelerin hariç tutulduğu perfüzyon modu ile çalışan sistemlerden de bahsedilmektedir (Topçu ve Çölgeçen, 2015). Perfüzyon modu ile çalışan sistemlerde; besin ortamına sürekli taze besin ortamı ilave edilirken, hücre içermeyen kullanılmış besin ortamı sistemden uzaklaştırılır. Bunun sonucunda perfüzyon sistemler ile sürekli üretim moduna göre daha yüksek hücre yoğunluğu elde edilebilmektedir (Georgiev, Eibl ve Zhong, 2013).

Sharma ve Shahzad (2013) tarafından gerçekleştirilen başka bir sınıflandırma kapsamında ise, **klasik ve gelişmiş biyoreaktörler** olarak iki ana başlık altında toplanmışlardır. Klasik biyoreaktörler; sıvı fazlı (karıştırmalı tank, hava kaldırmalı, baloncuk kolon, balon tip baloncuk, ebb and flood (gel-git), taşımalı akış, türbin kanat ve döner tambur biyoreaktörler), gaz fazlı (nutrient mist-besin sislemeli biyoreaktör) ve hibrit biyoreaktörler (sıvı ve gaz faz sistemlerini beraber kullanan biyoreaktör-kabarcık kolon-sprey biyoreaktörler vb.) olarak sınıflandırılmaktadır. Gelişmiş biyoreaktörler ise; tek kullanımlık (dalga ile karıştırılan, karıştırmalı torba, hava ile karıştırılan torba, Box-in-Bag biyoreaktörlerdir (Sharma ve Shahzad, 2013).

Bu sınıflandırmalar haricinde en son yapılan ve en geniş kapsamlı sınıflandırma ise Vidal ve Sanches (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, **daldırma tipine göre biyoreaktörleri** sürekli daldırma sistemleri ve geçici daldırma sistemleri olarak iki ana başlık altında değerlendirmişlerdir. Sürekli daldırma sistemlerinde, eksplantın en az bir kısmı sürekli olarak sıvı besin ortamı ile temas halindedir. Eksplantın tamamen sıvı besin ortamı ile temasının, sıvı ortamdaki oksijen konsantrasyonunun solunum için yetersiz olması nedeniyle hiperhidrisite ve şekil bozukluklarına neden olduğu belirlenmiştir. Oksijen yetersizliği durumunun, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin üretimine ve doku hasarına yol açması nedeniyle, sistemlerde havalandırma ya da çalkalama yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Geçici daldırma sistemleri ise, bitki kısımlarının besin ortamı ile belirli periyotlarla ve belirli sürelerde temas ettiği sistemler olarak tanımlanmaktadır (Vidal ve Sanchez, 2019).

Biyoreaktörlerde inkübatör, karıştırma, kontrol birimi gibi periferal birimlerin haricinde kültür kabı da hücre büyümesi üzerinde etkili bir parametredir. Genellikle kullanılan cam ve paslanmaz çelik haricinde FDA onaylı biyoyumlu plastikler (polietilen, polistiren, polipropilen vb.) de kültür kabı materyali olarak kullanılmaktadır. Ticarileşme ve endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda disposable (tek kullanımlık) biyoreaktörler de dikkat çekmeye başlamışlardır. Tek kullanımlık olan bu reaktörlerin kullanımları ile hem uygulama, hem de zaman (kurulum için ve üretim periyotları gibi) açısından %30-40 oranında maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin steril oluşu nedeniyle kontaminasyon riski de azalmaktadır. CIRAD firmasına ait RITA veya Rootec firmasının, Düşük Maliyetli Mist Biyoreaktör gibi çoklu kullanım için tasarlanan plastik kültür kapları tek kullanımlık olarak tanımlanmamaktadır (Eible ve Eibl, 2009).

### **Sürekli Daldırmalı Sistemler**

Sürekli daldırmalı sistemlerde, üretim gerçekleştirilirken, eksplantların besin ortamı ile devamlı teması sağlanmaktadır (Mendoça, Stein, Carvalho, Santos, Beijo ve Paiva, 2016). Ancak bu sistemlerde görülen hiperhidrisite sorunu nedeniyle, farklı biyoreaktör tasarımlarına yönelik çalışmalar yoğun şekilde devam etmektedir (Preil, 2005). Bu reaktörler; karıştırmalı tank, hava kaldırmalı, kabarcık kolon tip biyoreaktörler, membran ve dolgu yatak vb. biyoreaktör tiplerini içermektedir (Şekil 1). Bu reaktörlerin dört temel uygulaması bulunmaktadır: (a) biyokütle üretimi, (b) sekonder metabolit üretimi, (c) enzim üretimi, (d) biyotransformasyon (Thakur ve diğerleri, 2018).

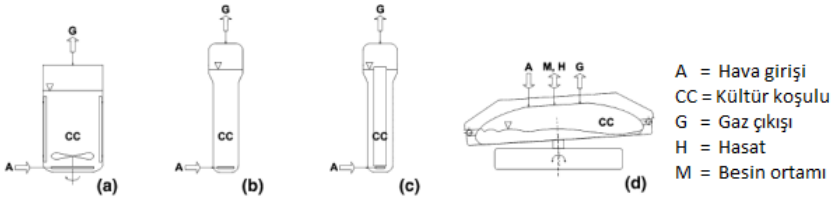
Karıştırmalı tank biyoreaktörler (Şekil 1a), kolay ölçek büyütme, iyi karıştırma verimi ve oksijen transfer yeteneği, karıştırıcı alternatifleri ve GMP (Good Manufacture Practices-İyi işletme uygulamaları)'ye kolay uygulanabilme gibi avantajları ile en sık kullanılan biyoreaktör tipidir (Georgiev ve diğerleri, 2013). Ancak bu reaktör tipinin yüksek enerji harcaması, yüksek kayma gerilimi ve kolon tipi uzun biyoreaktörlerde millerden sızdırmaların olması veya dayanıklılık gibi sorunlar nedeniyle çok çeşitli modifikasyonları bulunmaktadır (Sajc ve diğerleri, 2000).

Hava kaldırmalı (Şekil 1c) ya da kabarcık kolon (Şekil 1b) gibi pnömatik karıştırmalı biyoreaktörler, silindirik hacimli gaz-sıvı dağılım biyoreaktörleridir. Bu reaktörlerde mekanik kısımlar hareket ettirilmeden, reaktörün tabanında bulunan delik, üzerinde sıralı delikler açılmış olan plaka ya da halka sparger gibi aparatlar ile sıvı sirkülasyonu sağlanmakta ve karıştırma için de hava ya da gaz karışımı sisteme verilmektedir. Bu biyoreaktörler; karıştırmalı tank biyoreaktörlere göre, daha homojen enerji dağılımı, kurulumun kolay oluşu ve ölçek büyütmenin daha düşük maliyetli olması gibi çeşitli avantajlara sahiptir. Ancak viskoz kültürlerde

zayıf karıştırma performansı ve hızlı havalandırma koşullarında ciddi köpük oluşumu gibi sebeplerle alternatif tasarımların gerçekleştirilmesine gerek duyulmaktadır (Georgiev ve diğerleri, 2013).

Membran biyoreaktörler ile dolgulu yatak biyoreaktörler, birim hacim başına çok sayıda hücrenin immobilizasyonuna imkan vermesi nedeniyle avantajlı sistemler olmasının yanı sıra, immobilize hücrelerde kütle transferinin sınırlı şekilde gerçekleşmesi büyümenin kısıtlanmasına neden olmaktadır (Sajc ve diğerleri, 2000).

Diğer biyoreaktör tipleri ile karşılaştırıldığında, yatay olan hacimler ve döner tamburlu biyoreaktörler daha yüksek yüzey/hacim oranı sağlamaktadır. Bu nedenle, Danckwerts'in yüzey alanı yenileme teorisine göre, kütle transferi daha az enerji harcanarak gerçekleşmektedir. Yatay döner biyoreaktörler, ince tabaka tübüler reaktörler ve mekanik karıştırmalı tübüler biyoreaktörler daha etkili karıştırma ve mikroçevre koşullarının sağlanması amacıyla tasarlanan farklı biyoreaktör sistemleridir (Sajc ve diğerleri, 2000).



**Şekil 1.** Sürekli daldırma sistemine dayalı farklı biyoreaktörlere örnekler (Topçu ve Çölgeçen 2015): (a) Karıştırmalı Tank Biyoreaktör. (b) Kabarcık Kolon Biyoreaktör. (c) Hava Kaldırmalı Biyoreaktör. (d) Dalga ile karıştırılan (Wave-Mixed Bag) biyoreaktör.

## Geçici Daldırma Sistemleri

Yarı-katı kültürler yerine sıvı kültürlerin kullanımı; besin ortamı bileşenleri ile daha iyi temas, ölçeklenebilme ve otomasyona uygun olma gibi çeşitli avantajlar sunan etkili sistemlerdir. Ancak bitkisel materyalin doğrudan sıvı içerisine daldırıldığı sistemlerde büyüme ve gelişmeyi engelleyen hiperhidrisite gibi çeşitli sorunlar meydana gelmektedir (Sandal, Bhattacharya ve Ahuja, 2001; Businge, Trifonova, Schneider, Rödel ve Egertsdotter, 2017). Gözlenen bu sorunların aşılması için “Geçici Daldırma Sistemleri” geliştirilmiştir (Martinez-Estrada, Islas-Luna, Perez-Sato ve Bello-Bello, 2019). 1983 yılında, Harris ve Mason adlı iki araştırmacı havalandırma ve sıvı kültürü bir arada sağlayan bir cihaz tasarlamışlardır. Geçici daldırma sistemlerine dayalı biyoreaktörlerin ilki olan bu tasarımdan sonra, benzer prensiplerle bitkiler için pek çok biyoreaktör tasarımı gerçekleştirilmiştir (Berthouly ve Etienne, 2005). Geçici daldırma sistemlerinde kültürü gerçekleştirilen doku, embriyo ya da

organlar belirlenen uygun daldırma periyotları ve sürelerde sıvı besin ortamına daldırılırlar. Bu sistemler ile yarı-otomasyonu sağlanmış, maliyeti düşük ve çoğaltım katsayısı yüksek bir *in vitro* çoğaltım yapılabildiği ve aklimatizasyon başarısının da arttığı belirlenmiştir (Martinez-Estrada ve diğerleri, 2019). Bu sistemlerde sıvı besin ortamı püskürtme ile bitkisel materyal ile temas edebileceği gibi, geçişi olarak daldırılarak da temas sağlanabilmektedir. Tamamen daldırmanın gerçekleşmediği bu sistemler genel olarak mikroçoğaltım ya da saçaklı kök kültürleri için uygundur (Thakur ve diğerleri, 2018).

Geçici daldırma sistemlerinde, kültürdeki eksplantlar besin ortamına belirli aralıklarla ve belirli sürelerde daldırılmaktadır. Bu biyoreaktörlerin en basit tasarımında; birinde kültürü, diğerinde besin ortamını içeren iki farklı kültür kabı bulunmaktadır. Basit ve ucuz sistemler olmaları nedeniyle, birçok ticari firma büyük ölçekli üretimlerinde geçici daldırma sistemlerini tercih etmektedirler (İbrahim, 2017). Özellikle püskürtme ile besin ortamı uygulamasının gerçekleştiği biyoreaktör tipleri, bitkiciklerin üretiminde etkili sistemlerdir. Bunun nedeni ise kayma geriliminin en az oranda olması ve püskürtme sonucunda oluşan damlacıkların yüksek yüzey alanı nedeniyle yüksek gaz difüzyonu sağlamalarıdır. Bu sistemler, kültüre alınan dokularda besin maddesi ve gaz difüzyonunu arttırmaktadır (Thakur ve diğerleri, 2018). Ayrıca sistemde steril havanın kültür kabı içerisine periyodik akışı, eksplantların sıvı besin ortamı ile kısa süreli temasını sağlarken, kültür kabı içerisindeki havanın da yenilenmesine yardımcı olmaktadır (Nasri, Baklouti, Romdhane, Maalej, Schumacher, Drira ve Fki, 2019).

Geçici daldırma sistemlerinin avantajları genel olarak şu şekilde sıralanabilmektedir (İbrahim, 2017);

- Sıvı ortamla kısıtlı temas nedeniyle; hiperhidrisite ve düşük kaliteli *in vitro* sürgün üretiminde azalma gözlenmektedir.
- Köklenme için farklı bir ortama aktarmaya gerek duyulmamaktadır.
- Sürgün çoğaltım katsayısı, yarı-katı ortamlara göre yüksektir.
- İşçilik maliyeti klasik tekniklere göre daha düşüktür.

Geçici daldırma sistemlerinde gerçekleştirilen çalışmalarda kritik olan iki parametre mevcuttur. Bunlar; eksplantın hangi sıklıkla besin ortamı ile temas edeceğini belirten “daldırma periyodu” ve temas etme süresini bildiren “daldırma süresi” dir. Bu iki parametrenin optimizasyonu, çalışmada başarıyı etkileyen ve hiperhidrisite gibi sorunların önlenmesini sağlayan önemli bir basamağı oluşturmaktadır (İbrahim, 2017). Geçici daldırma sistemleri ile çalışan biyoreaktörlerde, besin ortamı ve bitkilerin bir arada, ancak bir filtre ile ayrı olduğu tek hacimli reaktör tasarımları olduğu gibi (RITA®), iki farklı hacme sahip kültür kaplarının olduğu

(SETIS™) tasarımlar da mevcuttur (Egersdotter, Ahmad ve Clampham, 2019).

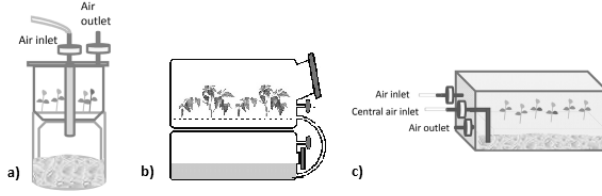
RITA® biyoreaktörlerde (Şekil 2a), 1 L'lik kültür kabı membranlı bir destek yüzeyi ile iki kısma ayrılmıştır. Üstte bulunan kısımda bitkisel materyal bulunurken, altta bulunan kısımda besin ortamı bulunmaktadır. Altta bulunan bu kısma hava basıncının uygulanması sonucunda besin ortamı üst kısma çıkmakta ve bu kısımda bulunan bitki eksplantları besin ortamı ile temas etmektedir. Basınç uygulamasının ortadan kalkmasının ardından besin ortamı tekrar alt kısma inmekte ve daldırma işlemi sona ermektedir. Bu sistemler somatik embriyoların elde edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Berthouly ve Etienne, 2005; Georgiev, Schumann, Pavlov ve Bley, 2014). RITA sistemleri, somatik embriyoların kitlesel üretimleri amacıyla üretilmiştir. Organogenezin gerçekleştirilmesi için daha büyük ve daha ucuz kültür kaplarına gerek duyulmuştur. Bu amaçla iki cam ya da plastik kültür kabının (250 mL ile 10 L hacim aralığında) birbirine bağlandığı çift flasklı sistemler tasarlanmıştır (Etienne ve Berthouly, 2002).

SETIS™ biyoreaktörlerde (Şekil 2b) de üretim benzer şekilde gerçekleştirilir, ancak besin ortamı farklı bir kültür kabında bulunur. Ayrıca RITA® biyoreaktörlere göre daha fazla yüzey alanına sahiptir. Bu biyoreaktörlerde de sistem RITA'dakine benzer şekilde gerçekleşmektedir (Robert, Herrera-Herrera, Herrera-Herrera, Herrera-Alamillo ve Fuentes-Carrillo, 2006; Georgiev ve diğerleri, 2014). SETIS biyoreaktör, bitkisel dokuların gelişimi için iki farklı kültür kabının kullanıldığı yeni dönem biyoreaktör sistemlerindedir. Birçok geçici daldırma sistemine dayalı biyoreaktörde gözlenen kısıtlar ve problemler SETIS biyoreaktörler ile çözümlenmiştir. Basit ve güvenilir olan bu sistemde kültür ve sıvı besin ortamını içeren iki farklı kültür kabı bulunmaktadır. RITA biyoreaktörlerde ise iki kompartıman bir destek yüzeyi ile ayrılmıştır. Aynı kültür kabının içerisinde üst kısımda bitki eksplantları bulunurken, alt kısımda besin ortamı bulunmaktadır. Bu basit tasarım ile RITA biyoreaktörler daha kompakt bir yapı gösterirken, SETIS biyoreaktörlerden farklı olarak bitkisel dokular için gerekli olan nemi de sağlamaktadır. Ancak besin ortamının değiştirilmesinin zor oluşu ve hiperhidrisite gibi çeşitli problemler; bu reaktör tipinin en önemli dezavantajları olmakla birlikte, son derece iyi sonuçların alındığı çalışmalar da mevcuttur (Kaya, Galatalı, Güldağ, Öztürk, Ceylan, Çelik ve Aktay, 2018).

Plantform™ biyoreaktör sistemi (Şekil 2c), kullanım kolaylığı, şeffaf oluşu, otoklavlanabilir olması ve hava değişiminin sağlanabilmesi ile en yeni ve sıklıkla tercih edilen geçici daldırma sistemli biyoreaktörlerden birisidir. Bu sistemlerde hava değişiminin düzenli olarak



sağlanabilmesinin yanı sıra, daha büyük kültür kabı kullanılabilmesi nedeniyle altkültür süresinin de uzamasını sağlamaktadır (Cengiz ve Kaçar, 2019). Bu biyoreaktör sistemlerinde, tek kültür kabı kullanılmakta, hava sirkülasyonu ise üst kısımda bulunan üç filtre ile sağlanmaktadır. Kültür kabı içerisinde alt kısımda besin ortamı ile bir destek yüzeyi bulunmaktadır. Hava ile bu kısmın yukarı kalkmasını önlemek için üzerinde bir sepet mevcuttur. Bitkisel materyal bu sepet içerisinde yer almaktadır (Walender, Persson, Asp ve Zhu, 2014; Walender, Sayegh, Hagwall, Kuznetsova ve Holfors, 2017).



**Şekil 2.** Geçici daldırma sistemine dayalı farklı biyoreaktörlere örnekler (Georgiev ve diğerleri, 2013): a) RITA® biyoreaktörler. b) SETIS™ biyoreaktörler. c) Plantform™ biyoreaktörler

## Sonuç

Geçen son otuz yılda biyoreaktörler tasarımları ile ilgili gerçekleşen yoğun araştırmalarla birlikte, amaca yönelik çok sayıda biyoreaktör tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu biyoreaktörler bitki hücre, doku ve organ kültürleri ile üretim yapan ticari firmaların üretim proseslerine dahil edilmeye başlanmıştır. Özellikle mikroçoğaltımda biyoreaktörlerin devreye sokulması ile bazı tür ve genotiplerin köklenme, bitkiye dönüşüm, çoğaltım ve aklimatizasyon gibi aşamalarında görülen rekalsitransi sorunu aşılmıştır. Ancak hala görülen hiperhidrisite gibi çeşitli sorunların aşılması için çalışmaların devam etmesine ve yeni biyoreaktör tasarımlarının gerçekleştirilmesine gerek duyulmaktadır.

## Kaynaklar

Akin-Idowu, P.E., Ibitoye, D.O. ve Ademoyegun, O.T. (2009). Tissue culture as a plant production technique for horticultural crops. African Journal of Biotechnology Vol. 8 (16).

Berthouly, M. ve Etienne, H. (2005). "Temporary immersion system: a new concept for use liquid medium in mass propagation". Liquid Culture Systems For In Vitro Plant Propagation. (Ed. Anne Kathrine Hvoslef-Eide and Walter Preil).

- Businge, E., Trifonova, A., Schneider, C., Rödel, P. ve Egertsdotter, U. (2017). "Evaluation of a New Temporary Immersion Bioreactor System for Micropropagation of Cultivars of Eucalyptus, Birch and Fir". *Forests* 8(6):196.
- Cengiz, M. ve Aka Kaçar, Y. (2019). Micropropagation of Some Citrus Rootstocks with Classical and New Generation Tissue Culture Techniques. *Turkish J.of Agri.-Food Sci. and Tech.*, 7(9): 1469-1478.
- Egertsdotter, U., Ahmad, I. ve Clapham, D. (2019). Automation and Scale Up of Somatic Embryogenesis for Commercial Plant Production, with Emphasis on Conifers. *Front. Plant Sci.* 10:109: 1-13.
- Eibl, R. ve Eibl, D. (2008). Design of bioreactors suitable for plant cell and tissue cultures. *Phytochem Rev.* 7:593–598.
- Espinosa-Leal, C.A., Puente-Garza, C.A. ve Garcia-Lara, S. (2018). In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta.* 248:1–18.
- Georgiev, M.I., Eibl, R. ve Zhong, J.J. (2013). Hosting the plant cells in vitro: Recent trends in bioreactors. *Appl Micro. Biotech.* 97:3787–3800
- Georgiev, V., Schumann, A., Pavlov, A., ve Bley, T. (2014). "Temporary immersion systems in plant biotechnology". *Engineering in Life Sciences* (14): 607:621.
- Hvoslef-Eide, A.K., Olsen, O.A.S., Lyngved, R., Munster, C. ve Heyerdahl, P.H. (2005). Bioreactor design for propagation of somatic embryos. Ed. Hvoslef-Eide, A.K. ve Preil, W. *Liquid Culture Systems For In Vitro Plant Propagation.*
- İbrahim, R. (2015). The potential of bioreactor technology for large-scale plant .micropropagation. *Acta Hort.* 1155, 573-584.
- Kaya, E., Galatalı, S., Güldağ, S., Öztürk, B., Ceylan, M., Çelik ve O., Aktay, İ. (2018). Mass Production of Medicinal Plants for Obtaining Secondary Metabolite Using Liquid Mediums Via Bioreactor Systems: SETIS™ and RITA®. *Türk Bil.Derl.Der.*2146-0132, 11 (2): 05-10.
- Mamun, N.H.A., Egertsdotter, U. ve Aidun, C.H. (2015). Bioreactor technology for clonal propagation of plants and metabolite production. *Front. Biol.*, 10(2): 177–193.
- Martinez-Estrada, E., Islas-Luna, B., Perez-Sato, J.A. ve Bello-Bello, J.J. (2019). "Temporary immersion improves in vitro multiplication and

acclimatization of *Anthurium andreaeanum* Lind.” *Scientia Horticulturae* (249): 185-191.

Mendoça, E.G., Stein, V.C., Carvalho, H.H., Santos, B.R., Beijo, L.A. ve Paiva, L.V. (2016). The Use of Continuous, Temporary Immersion Bioreactor System and Semisolid Culture Medium for The Production of *Eucalyptus camaldulensis* Clones. *Ciênc. Florest.* vol.26 no.4

Nasri, A., Baklouti, E., Romdhane, A.B., Maalej, M., Schumacher, H.M., Drira, N. ve Fki, L. (2019). “ Large sclae propagation of *Myrobolan* (*Prunus cerasifera*) in RITA<sup>®</sup> bioreactors and ISSR-based assessment of genetic conformity”. *Scientia Hort.*, 245: 144-153.

Paek, K.Y., Chakrabarty, D. ve Hahn, E.J. (2005). Application of bioreactor systems for large scale production of horticultural and medicinal plants. Ed. Hvoslef-Eide, A.K. ve Preil, W. *Liquid Culture Systems For In Vitro Plant Propagation.*

Preil, W. (1991). Application of bioreactors in plant propagation. P.C. Debergh ve R.H. Zimmerman (eds.), *Micropropagation*, 425-445.

Robert, M.L., Herrera-Herrera, J.L., Herrera-Herrera, G., Herrera-Alamillo, M. ve Fuentes-Carillo-P. (2006). A New Temporary Immersion Bioreactor System for Micropropagation. *Plant Cell Culture Protocols* (Edt:Loyola-Vargas, V.M.; Vazquez-Flota, F.).

Sajc, L., Grubisic, D. ve Vunjak-Novakovic, G. (2000). Bioreactors for plant engineering: an outlook for further research. *Bio. Eng. J.*-4.89-99

Sandal, I., Bhattacharya, A. ve Ahuja, P.S. (2001). An efficient liquid culture system for tea shoot proliferation. *PCTOC* (65): 75-80.

Sharma, S. ve Shahzad, A. (2013). Bioreactors: A Rapid Approach for Secondary Metabolite Production. Shahid M., Shahzad A., Malik A., Sahai A. (eds) *Recent Trends in Biotechnology and Therapeutic Applications of Medicinal Plants.* 25-49.

Su, R., Sujarani, M., Shalini, P. ve Prabhu, N. (2019). A Review on Bioreactor Technology Assisted Plant Suspension Culture. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology* 5(3): 1-13.

Takayama, S. ve Akita, M. (2008). Bioengineering aspects of bioreactor application in plant propagation. In *Plan Tissue Culture Engineering* (Ed. Gupta, S.D., Ibariki, Y.). pp. 83-100.

- Thakur, R., Sood, A. ve Ahuja, P.S. (2018). Bioreactor Vessel For Large Scale Growing of Plants Under Aseptic Condition. Patent No: US 9,872,448 B2. Council of Scientific & Industrial Research, US Patent.
- Topçu, S. ve Çölgeçen, H. (2015). Bitki Sekonder Metabolitlerinin Biyoreaktörlerde Üretilmesi. Türk Bil. Derlemeler Dergisi 8 (2): 09-29.
- Valdiani, A., Hansen, O.K., Nielsen, U.B., Johannsen, V.K., Shariat, M., Georgiev, M.I., Omidvar, V., Ebrahimi, M., Dinanai, E.T. ve Abiri, R. (2019). Bioreactor-based advances in plant tissue and cell culture: challenges and prospects, Critical Rev. in Biotech., 39:1, 20-34.
- Vidal N. ve Sanchez, C. (2019). Use of bioreactor systems in the propagation of forest trees. Engineering in Life Sciences. 1-20.
- Welandar, M., Persson, J., Asp, H. ve Zhu, L.H. (2014). Evaluation of a new vessel system based on temporary immersion system for micropropagation. Scientia Horticulturae 179:227–232
- Welandar, M., Sayegh, A., Hagwall, F., Kuznetsova, T. ve Holfors, A. (2017). Technical improvement of a new bioreactor for large scale micropropagation of several *Vaccinium* cultivars. Acta Hort. 1180.
- Yenice, Z. (2010). Geçici Daldırma Sistem Biyoreaktörlerle Su mercimeği (*Lemna minör* L.) Bitkisinin *İn Vitro* Çoğaltımı. A.Ü. Biyoteknoloji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Danışman:Prof. Dr. H.Hüseyin ATAR).
- Yükçü, S. ve Atağan, G. (2009). Etkinlik, Etkililik Ve Verimlilik Kavramlarının Yarattığı Karışıklık. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 4
- Ziv, M. (2005). Simple bioreactors for mass propagation of plants. Liquid Culture Systems For In Vitro Plant Propagation. (Ed. Anne Kathrine Hvoslef-Eide ve Walter Preil).

# BITKİ HÜCRE, DOKU VE ORGAN KÜLTÜRÜ TEKNİKLERİNİN BİYOTEKNOLOJİDE UYGULAMA ALANLARI

Halide Hande GÜNGÖR\* & Aynur GÜREL\*\*

\*Ege Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, handegungr@gmail.com

\*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, aynurgurel@gmail.com

**Özet:** Bitki hücre, doku ve organ kültürleri; yapay besin ortamında, aseptik koşullar altında ve kontrollü çevresel koşullarda bitkinin herhangi bir kısmının (hücre, doku veya organlar) kültürünü ifade eden geniş bir terimdir. Bitkinin kültüre alınan kısmına bağlı olarak; hücre kültürü (gametik hücreler, hücre süspansiyonu ve protoplast kültürü), doku kültürü (kallus ve farklılaşmış dokular) veya organ kültürü (zigotik embriyo, kök, sürgün ve anter vb. organlar) şeklinde adlandırılabilmektedir. Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin; ticari bitki mikroçoğaltımı, bitki gelişim süreçlerinin araştırılması, enfekte olmuş materyallerden virüs eliminasyonu ile sağlıklı bitkilerin elde edilmesi, germplazmanın korunması, nesli tükenme tehlikesi altındaki türlerin kurtarılması, biyoreaktörlerde kitlesel üretimin optimizasyonu, sekonder metabolitlerin üretimi, endüstriyel ve agronomik açıdan istenilen özelliklere sahip transgenik bitkilerin eldesi, çeşit geliştirmeye yönelik homozigot bitkilerin üretimi, modern bitki ıslahı ile ürünün iyileştirilmesi, fitoremediasyon çalışmalarında model bitki sistemleri olarak kullanılması, protoplast füzyonu ile somatik hibritlerin eldesi ve *in vitro* seleksiyon gibi birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin temel prensipleri; sağlıklı ve genç bir bitkiden uygun eksplantın seçimi, eksplant yüzeyinden mikrobiyal kontaminasyonun elimine edilmesi, uygun besin ortamında eksplantların kültüre alınması ve kontrollü çevresel koşulların sağlanmasıdır. *In vitro* koşullarda rejenera edilen bitkiler, *ex vitro* koşullara aktarılmadan önce serada bir adaptasyon işlemine (aklimatizasyon) tabi tutulurlar. Tüm bitki sistemlerine kıyasla bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin, deneysel kolaylık, süre ve hız açısından önemli avantajları bulunmaktadır. Ayrıca bu tekniklerin uygulanması ile tüm bitki sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen tarla denemelerinden kaynaklı maliyet önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Sekonder metabolitlerin doğrudan üretimleri, bu teknikler kullanılarak kontrollü koşullar altında gerçekleştirildiği için istenmeyen yan ürünlerin üretimi de engellenmektedir.

Anahtar kelimeler: Bitki doku kültürü, mikroçoğaltım, *in vitro*

## Giriş

Bitki hücre, doku ve organ kültürü; aseptik koşullarda sıcaklık, nem, ışık yoğunluğu ve fotoperiyot gibi çevresel parametrelerin kontrol altında tutulduğu koşullarda yapay bir besin ortamında bitkinin herhangi bir küçük kısmının (eksplant) kültürünü ifade eden geniş bir terimdir (Loyal-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018). Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin temeli,

totipotensi kavramına dayanmaktadır. Totipotensi, bir bitki hücresinin tam bir bitkiye dönüşebilme yeteneğini ifade etmektedir (Nichodemus, 2017). Eksplant kaynağı olarak bitkinin hücre, doku ya da organ gibi çeşitli küçük kısımları kullanılabilir (Hussain, Qarshi, Nazir ve Ullah, 2012). Seçilen eksplantın genç ve fazla farklılaşmamış olması doku kültürüne daha iyi cevap vermesini sağlamaktadır (Jalan, 2017). Eksplantın alındığı kaynağa bağlı olarak; hücre kültürü (gametik hücreler, hücre süspansiyonu ve protoplast kültürü), doku kültürü (kallus ve farklılaşmış dokular) veya organ kültürü (zigotik embriyo, kök, sürgün ve anter vb. organlar) şeklinde adlandırılabilir (Loyala-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018; Bridgen, Houtven, ve Eeckhaut, 2018). Kontrollü koşullar, kültürlerle büyümeleri ve çoğalmaları için elverişli bir ortam sağlamaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012). Optimum sıcaklıklar kültür türüne göre değişiklik göstermektedir. Fotoperiyot ise genellikle 24 saatte 6-12-18 saat aydınlığa göre ayarlanır; ancak bazı kültür türleri için sürekli aydınlık veya sürekli karanlık gerekebilir (Gamborg ve Phillips, 1995). Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde, aseptik şartların sağlanamaması durumunda; kirletici mikroorganizmaların hızlı büyümesi nedeniyle, kültüre alınmış bitki materyalinin büyümesi engellenir ve sonuçların rasyonel bir değerlendirmesi imkansız hale gelir. Bitki materyalinin kaybı üretim verimliliğinde düşüşe, zamanın ve kaynakların boşa harcanmasına sebep olur. Bu nedenle, bir bitki hücre, doku ve organ kültürü laboratuvarı mutlaka tozu dışarda bırakmayı sağlayan kolayca ve etkili bir şekilde temizlenebilen bir tasarıma sahip olmalıdır (Neumann, Kumar ve Imani, 2009; Gamborg ve Phillips, 1995).

Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin ana prensipleri; sağlıklı ve genç bir bitkiden uygun eksplantın seçimi, eksplantın yüzeyinden mikrobiyal kontaminasyonun elimine edilmesi, uygun besin ortamında eksplantın kültüre alınması ve uygun kontrollü çevresel koşulların sağlanmasıdır. *In vitro* rejenere edilmiş bitkiler, *ex vitro* koşullara transfer edilmeden önce serada bir adaptasyon işlemine (aklimatizasyon) tabi tutulurlar (Loyala-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

Bitki hücre, doku ve organ kültürlerinde eksplantların konulduğu besin ortamları, bitkisel materyalin veya eksplantların büyümesi için gerekli tüm besin elementlerini, enerji kaynağını ve suyu içermektedir (Phillips ve Garda, 2019). Besin ortamının %90'ı sudan oluşmaktadır (Babaoğlu, Yorgancılar ve Akbudak, 2002). Besin ortamı, makrobesinleri (N, P, K, Ca, Mg ve S) ve mikrobesinleri (B, Mn, Zn, Mo, Cu, Co, Fe ve I) içermektedir. Bitkilerin ya da organların büyümesini düzenlemek ve yönlendirmek için oksin, sitokinin, giberellin, absisik asit ve bunların analogları ve inhibitörleri gibi bitki büyüme düzenleyicileri de besin ortamına eklenebilmektedir (Bridgen ve diğerleri, 2018; Loyala-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018). Şekerler, besin ortamının en önemli komponentleri

arasındadır. Kültüre alınan bitki hücre, doku ve organları yeterli miktarda fotosentez yapamadıkları için enerji kaynağı olarak çeşitli şekerler besin ortamına eklenmektedir (Babaoğlu ve diğerleri, 2002). Bazı durumlarda vitaminler ve aminoasitler gibi diğer organik bileşikler (tiamin, piridoksin, nikotinik asit ve myo-inositol) de bitki büyümesi için besin ortamına eklenmektedir (Bridgen ve diğerleri, 2018). Besin ortamları sıvı ya da yarı katı olabilir. Yarı katı besin ortamı sıvı besin ortamına jelleştirici ajan eklenmesi ile elde edilmektedir (Shohael, 2008; Nichodemus, 2017; Bridgen ve diğerleri, 2018; Phillips ve Garda, 2019).

Birçok farklı kompozisyonda besin ortamı mevcuttur. MS (Murashige ve Skoog, 1962), B5 (Gamborg, Miller ve Ojima, 1968), SH (Schenk ve Hildebrand, 1972), WPM (Lloyd ve McCown, 1980), DKW (Driver ve Kuniyuki, 1984), WH (White, 1963), N<sub>6</sub> (Chu ve diğerleri, 1975) ve NN (Nitsch ve Nitsch, 1969) en çok kullanılan besin ortamı kompozisyonlarıdır (Phillips ve Garda, 2019; Babaoğlu ve diğerleri, 2002). Her besin ortamı her bitki türü için uygun olmayabilir (Bridgen ve diğerleri, 2018).

Bitki hücre, doku ve organ kültürleri, hem temel ve uygulamalı çalışmalarda, hem de ticari uygulamalarda kullanılan çok önemli bir araçtır (Thorpe, 2007). Bu kültürlerin; ticari bitki mikroçoğaltımı, bitki gelişim süreçlerinin araştırılması, enfekte olmuş bitkisel materyalden virüs eliminasyonu ile sağlıklı bitki eldesi, germplazmın korunması, nesli tükenme tehlikesi altındaki türlerin kurtarılması, sentetik tohum üretimi, biyoreaktörlerde kitlesel üretimin optimizasyonu, sekonder metabolitlerin üretimi, endüstriyel ve agronomik açıdan istenilen özelliklere sahip transgenik bitki eldesi, çeşit geliştirmeye yönelik homozigot bitkilerin üretimi, modern bitki ıslahı ile ürünün iyileştirilmesi, fitoremediasyon çalışmalarında model bitki sistemleri olarak kullanılması, protoplast füzyonu ile somatik hibritlerin eldesi, *in vitro* seleksiyon, somaklonal ve gametoklonal varyantların üretilmesiyle mahsulün geliştirilmesi ve besinlerin veya bitki hormonlarının doku büyümesine bağlı gelişme ve metabolizma üzerindeki etkilerini belirlemek için model sistemler olarak kullanılması gibi birçok uygulama alanı bulunmaktadır (Loyal-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018; Doran, 2009; Karaboyacı ve Kılıç, 2018; Hussain ve diğerleri, 2012; Neumann ve diğerleri, 2009; Bridgen ve diğerleri, 2018).

### **Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürlerinin Tarihçesi**

Bitki hücre, doku ve organ kültürü köklerini, hücrenin keşfedilmesinden ve ardından hücre teorisinin ilerletilmesinden almaktadır. 1838'de Schleiden ve Schwann, hücrenin tüm canlı organizmaların temel yapısal birimi olduğunu öne sürmüşlerdir (Hussain ve diğerleri, 2012). Bitkilerin bu kültürler yoluyla rejenerasyonu, ilk olarak Gottlieb Haberlandt tarafından önerilen totipotensi kavramına dayanmaktadır (Kumar ve Loh,

2012). Bu kültürlerin teorik temeli Haberlandt tarafından 1902'de, tek hücrelerin kültürü ile ilgili deneyleri hakkında Alman Bilim Akademisi'nde yaptığı bir konuşmada atılmıştır (Thorpe, 2007). Alman fizyolog Haberlandt, yapraklardan izole edilmiş palizad hücrelerini Knop'un sükröz ile zenginleştirilmiş tuz solüsyonunda kültüre almıştır. Hücreler bir ay kadar canlı kalmış, büyüklükleri artmış, ancak bölünememiştir (Hussain ve diğerleri, 2012). Buna rağmen; Haberlandt yine de vejetatif hücrelerden embriyoların rejenere edilebileceğini ileri sürmüştür. Tüm bunlara dayanarak; Haberlandt önceleri bitki doku kültürü olarak bilinen, sonra da bitki hücre, doku ve organ kültürleri olarak adlandırılan bu tekniğin öncüsü olarak tanınmaktadır (Thorpe, 2007).

1940'lar, 1950'ler ve 1960'larda, yeni ve hali hazırda mevcut bulunan bitki doku kültürü teknikleri için çok önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Günümüzde kullanılan *in vitro* tekniklerin çoğu bu süre zarfında geliştirilmiştir (Thorpe, 2007). Bitki doku kültürü ile ilgili bazı önemli buluşlar arasında; 1941'de *Datura*' da hücre bölünmesi için ilk defa hindistancevizi sütü eklenmesi, 1946'da bakladan alınan sürgün ucunun kültüre alınması ile tam bitki eldesi, 1955'de kinetinin hücre bölünmesini düzenleyici bir bileşik olarak keşfedilmesi, 1959'da havuç bitkisinin kallus yığınlarından ve hücre süspansiyonundan embriyoların rejenerasyonu, 1960'da hücre duvarının enzimatik degradasyonu ile ilk protoplast izolasyonu, 1962'de Murashige ve Skoog'un yüksek tuz konsantrasyonuna sahip MS besin ortamını geliştirmesi, 1964'de *Datura*'nın polen tanelerinden (anter kültürü) ilk haploid bitki eldesi, 1970'de protoplast füzyonunun gerçekleştirilmesi, 1971'de protoplastlardan tam bitki eldesi, 1977'de *Agrobacterium tumefaciens* aracılığı ile bitkiye Ti plazmid DNA'sının aktarılması, 1978'de domates ve patatest somatik hibridizasyon ve 1984'de *Agrobacterium* aracılığı ile transformasyon sayesinde transgenik tütün bitkisi geliştirilmesi bulunmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012; Kumar ve Loh, 2012).

### **Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Tekniklerinin Avantajları ve Dezavantajları**

Bitki hücre, doku ve organ kültürü teknikleri; tohum, çelikleme, aşılama ve havai köklendirme gibi geleneksel çoğaltma yöntemlerine göre birçok avantaja sahiptir (Hussain ve diğerleri, 2012). Tohum ya da herhangi bir tozlayıcıya ihtiyaç duyulmaksızın çok sayıda bitki eldesi, kısa bir zaman ve alanda olgun bitki üretimi, tek bir eksplanttan kısa sürede çok sayıda bitki eldesinin sağlanması, az miktarda tohum veren ya da kolayca çimlenmeyen bitki türlerinin hızlı şekilde üretimi, virüsten ari bitki eldesi, steril koşulların sağlanması sayesinde bulaşıcı hastalık, böcek ya da patojenlerin bulaşma riskinin minimum seviyede olması, mevsim koşullarından bağımsız şekilde bitki üretimi, tarla denemelerinden



kaynaklı yüksek maliyetlerin azaltılması, nesli tükenme tehlikesi altındaki bitki türlerinin korunması, elde edilen bitkilerin genotipik homojenliği, bitki büyüme düzenleyicilerinin kombinasyonu ve farklı dozlarda kullanımı ile morfogenezin kontrol edilebilmesi, bitki veriminin ve kalitesinin artırılması gibi bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin birçok avantajı bulunmaktadır (Nichodemus, 2017; Doran, 2019; Shohael, 2008; Hussain ve diğerleri, 2012; Karaboyacı ve Kılıç, 2018; Loyala-Vargas ve Ochoa- Alejo, 2018; El-Sherif, 2017).

Tüm bu avantajlara rağmen, bu kültürlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bitki hücre, doku ve organ kültürleri laboratuvarındaki cihazlar ve kullanılan kimyasallar pahalıdır, azami seviyede dikkat ve bilgi gerektirir, üretilen bitkiler genetik olarak aynıdır, bu da genetik çeşitliliği en aza indirir, eğer stok bitki hastalığa meyilli ise elde edilen klon bitkiler de bu istenmeyen özelliği taşır, besin ortamında şeker bulunduğu için kontaminasyon riski yüksektir, stok materyallerin kontamine olması durumunda büyük bir maliyet artışı meydana gelir ve her bitki türü doku kültürüne uygun olmayabilir (Nichodemus, 2017; Neumann ve diğerleri, 2009).

### **En Yaygın Kullanılan Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Teknikleri**

**Tohum kültürü:** Tohum kültürü, *in vivo* olarak çimlenmesi zor olan tohumların çimlenme verimliliğinin artırılması, bitki büyüme düzenleyicilerinin uygulanması ile erken çimlenmenin sağlanması ve eksplant kaynağı olarak veya meristem kültürü için temiz ve uniform fide üretimi amacı ile kullanılmaktadır (Gürel, Hayta, Nartop, Bayraktar ve Fedakar, 2013; Pant, 2014). Orkide gibi tohum büyüklüklerinin küçük olduğu ve iyi çimlenmediği birkaç bitki türünün çoğaltımı için tohum kültürü yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Bhatia, 2015).

**Sürgün ucu ve nod kültürü:** Sürgün ucu ve nod kültürünün, çok sayıda bitki türünün mikroçoğaltımı için güvenilir bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Kane, 2011). Meristemleri de içeren 0.1-1mm uzunluğunda sürgün uçlarının kültürü sürgün ucu kültürü olarak adlandırılmaktadır. (Kumar, 2019). Sürgün uçlarından elde edilen *in vitro* bitkicikler, daha fazla çoğaltma için ikincil eksplant kaynağı olarak kullanılmak üzere sürgün uçlarına ve nod parçalarına bölünürler (Kane, 2011).

**Meristem ve meristem ucu kültürü:** Patojen eliminasyonu amacı ile terminal ya da lateral tomurcuklardan 0,1 mm'den küçük meristematik kubbenin alınması meristem kültürü olarak adlandırılmaktadır. Meristem kültürü nadiren kullanılır; çünkü birçok türün izole edilmiş apikal meristemleri hem düşük sağkalım oranına sahiptir, hem de kallus oluşumu ve dolaylı sürgün organogenezi sebebi ile istenmeyen genetik değişikliklerin meydana gelme olasılığı yüksektir (Kane, 2011; Kumar,

2019). Patojen eliminasyonu, genellikle kemoterapiye veya termoterapiye maruz kalan bitkilerden izole edilen nispeten daha büyük (0.2-0.5 mm uzunluğunda) meristem ucu eksplantlarının kültürü ile de gerçekleştirilebilmektedir. Meristem ucu, apikal meristemin yanı sıra bir veya iki yaprak primordiyasını da içerir. Bu nedenle bu teknik meristem ucu kültürü olarak adlandırılmaktadır (Kane, 2011).

Embriyo kültürü: Embriyo kültürü, olgunlaşmamış ya da olgunlaşmış embriyoların izole edilerek kültüre alınmasıdır (Bhatia, 2015; Bürün ve Gürel, 2002). Tohum dormansisinin kırılması amaçlandığında, tohum canlılığının test edilmesinde ve eşeyssel melezlerin elde edilmesini sınırlayan uyuşmazlık söz konusu olduğunda embriyo kültürü tekniği kullanılmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012; Bürün ve Gürel, 2002). Post-zigotik uyuşmazlık durumunda zigot meydana gelmekte, ancak endosperm tarafından kabul edilmemektedir. Böyle bir durumda, embriyo beslenememekte ve düşmektedir. Bu sorunun giderilmesine yönelik uygulanan embriyo kültürü tekniği embriyo kurtarma olarak adlandırılmaktadır (Bürün ve Gürel, 2002).

Anter ve mikrospor kültürü: Anter kültürü, içerisinde olgunlaşmamış polenleri (mikrosporları) uygun dönemde bulunduran anterlerin, tomurcuklardan ayrılarak *in vitro* koşullarda yapay besin ortamlarına yerleştirilmesi ve burada olgunlaşmamış polenlerden haploid embriyolar elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Ellioğlu, Sarı ve Abak, 2002). Mikrospor kültürü ise anterlerden izole edilen mikrosporların kültüre alınmasıdır (Hadziabdic, Wadl ve Reed, 2011). Çeşit geliştirme açısından büyük avantajlar sunan bu tekniklerin kullanımı ile önce haploid bitkilerin ve sonra da kromozom katlaması ile de homozigot dihaploid (doubled-haploid) bitkilerin kısa sürede elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Kallus kültürleri: Kallus kültürleri, mitotik yeteneklerini koruyan ana bitkiden kesilen organların veya doku parçalarının yaralanarak *in vitro* koşullarda kültüre alınmasıyla oluşturulan morfolojik düzensizliklere sahip organize olmamış hücre yığınları olarak tanımlanmaktadır (Karaboyacı ve Kılıç, 2018; Neumann ve diğerleri, 2009). Kallus; sap, yaprak, kök, çiçek, tohum gibi hemen hemen bitkinin her yerinden elde edilebilir (Bhatia, 2015). Uygun koşullar altında kallus kültürlerinden; adventif köklerin, sürgünlerin ve hatta embriyoların farklılaşması başlatılabilmektedir (Neumann ve diğerleri, 2009).

Hücre süspansiyon kültürleri: Hücre süspansiyon kültürü, bitki materyalinden mekanik ya da enzimatik yollarla izole edilen hücrelerin sıvı ortamda çalkalanarak kültürlenmesidir. Hücre kültürü, tıpkı kallus kültürü gibi bitkinin hemen hemen her yerinden başlatılabilir. Hali hazırda kültürde büyüyen kalluslardan hücre kültürlerinin başlatılması en yaygın kullanılan yoldur. Hücre süspansiyon kültürlerinde çalkalama 3 amaç için

oldukça önemlidir: hücre kümelerinin parçalanması, çeşitli boyut ve şekillerdeki hücrelerin düzgün dağılımının sağlanması ve hücrelerin sıvı ortamda hücre solunumunu sürdürmeleri için gaz değişiminin sağlanması (Bhatia, 2015). Hücre kültürleri, gerek biyokütlenin ve gerekse de sekonder metabolitlerin elde edilmesi açısından önemlidirler.

**Protoplast kültürü:** Tam bitki rejenerasyonlarının sağlanmasında ve füzyon çalışmalarında oldukça önemli olan protoplastlar, sitoplazma ve nükleusu çevreleyen dış hücre zarına zarar vermeden sert sellüloz hücre duvarının çıkarıldığı hücreler olarak tanımlanmaktadır (Grosser ve Omar, 2011). Protoplast izolasyonu için mekanik ya da enzimatik yöntemler kullanılmaktadır. Mekanik yöntemlerle izolasyon; zarar görmüş hücrelerden salınan bileşikler nedeni ile kültürde düşük verim, düşük kalite ve düşük performans ile sonuçlanır. Enzimatik yöntemlerle izolasyon, hücre duvarı parçalayıcı enzimlerle gerçekleştirilen güvenli bir tekniktir. Enzimatik parçalama için selüloz ve pektinaz enzimi kullanılmaktadır (Bhatia, 2015).

**Kök kültürü:** Farklı sekonder metabolitlerin kaynağı olarak bitki köklerinin kullanımı çok eskiden beri bilinmektedir. Yüksek bitkilerin kök sistemleri yavaş büyüme gösterirler ve hasat edilmeleri oldukça zordur. Bu sebeple kök kaynaklı sekonder bileşikler için kök kültürünün kullanımı iyi bir alternatiftir (Gürel ve diğerleri, 2013).

**Saçaklı kök kültürü:** Saçaklı kök aslında bir bitki hastalığıdır (Karaboyacı ve Kılıç, 2018). Saçaklı kök kültürü tekniğinde, bitkilerde saçaklı kök hastalığına yol açan bir bakteri olan *Agrobacterium rhizogenes*'in doğal vektör sistemi kullanılarak gerçekleştirilen transformasyon yoluyla saçaklı kök kültürleri oluşturulur. Saçaklı kök kültürleri ve normal kök kültürleri karşılaştırıldığında, saçaklı kök kültürlerinin daha yüksek büyüme oranlarına sahip oldukları ve daha yüksek verimlilikte sekonder metabolit ürettikleri belirlenmiştir (Gürel ve diğerleri, 2013).

## **Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürlerinin Uygulama Alanları**

**Mikroçoğaltım:** Mikroçoğaltım ya da *in vitro* çoğaltım, *in vitro* kültür teknikleri kullanılarak bitkilerin çok sayıda hızlı ve kısa sürede vejetatif çoğaltımı olarak tanımlanmaktadır (Kane, 2011). Klonal mikroçoğaltım ise genotipin korunarak istenen özelliklere sahip bitkilerin vejetatif mikroçoğaltımını ifade etmektedir. Mikroçoğaltım, bitki doku kültürünün en çok kullanılan ticari uygulamalarından biridir. Hemen hemen her bitki türünün ticari mikroçoğaltımı için doku kültürü uygulanabilse de, yalnızca ekonomik açıdan karlı olanlar için önerilmektedir. Şu anda ticari seviyede mikroçoğaltılmış bitki türleri arasında ilk sırada süs bitkileri yer almaktadır (Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018). Mikroçoğaltımın; bitkinin küçük bir dokusundan çok kısa bir zaman ve küçük bir alanda milyonlarca bitki

üretimini mümkün kılması, genetik olarak uniform ürün eldesi, istenilen özelliklere sahip bitkilerin kopyalarının üretimi, mevsimsel değişikliklere bağlı olmadan bitki üretimi, çimlenme problemi olan türlerin kolayca çoğaltılması ve germplazm korunması gibi çok çeşitli avantajları bulunmaktadır (Jalan, 2017; Bridgen ve diğerleri, 2018; Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

Hastaliksız bitki üretimi: Meristem kültürü tekniği kullanılarak virüs, bakteri ve fungusların bitkiden elimine edilmesi 1960'lerden beri uygulanmaktadır. Meristem kültürü, özellikle virüs bulaşmış materyal için gereklidir; çünkü bakteriyel ve fungusal ajanlar kullanılarak materyal bakteri ve funguslardan arındırılabilir. Hastaliksız bitki üretimi için meristem kültürü ile beraber termoterapi ve kemoterapi yöntemleri de kullanılmaktadır (Thorpe, 2007). Bir bitkinin hücrelerinde virüs konsantrasyonu hücreden hücreye farklılık gösterir ve özellikle apikal sürgün ve kök meristemi hücrelerinin virüs içermesi ihtimali çok düşüktür. Ayrıca, bitkide terminal bölgenin vasküler farklılaşma göstermeyen uç kısmı patojenik partikülleri içermemektedir. Bu sebeple, meristem kültürü hastaliksız bitki üretimi için kullanılmaktadır (Bürün, 2002).

Germplazm muhafazası (Genetik kaynakların korunması): Ormanların tahrip edilmesi, erozyon, şehirleşme, toprağın tuzlanması, kirlilik, doğal yaşam alanlarının yok edilmesi, iklim değişiklikleri ve aşırı otlama gibi birçok faktör biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına dolaylı olarak etki etmekte ve gelecekte gıda güvenliği için tehdit oluşturmaktadır. Bitki genetik kaynaklarının korunması, özellikle gıda güvenliği ve tarımsal biyoçeşitlilik açısından çok önemlidir (Gürel ve diğerleri, 2013). *In vitro* doku kültürü; nesli tükenmekte olan genotiplerin, tohum üretemeyen (kısır) bitkilerin ve rekalsitrant bitki türlerinin korunması için iyi bir fırsat sunmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012; Oseni, Pande ve Nailwal, 2018). *In vitro* organ kültürü, yavaş büyüme (kısa ve orta vadeli koruma) veya kriyoprezervasyon (dondurarak saklama) (uzun süreli koruma) yöntemleri kullanılarak germplazm muhafazası için alternatif bir kaynak sunmaktadır. Kültür sıcaklığının düşürülmesi, ozmotik ajanlar ve büyüme inhibitörleri ile besin ortamının modifiye edilmesi veya bitkinin hücre metabolizmasını azaltmak üzere amino asit gibi bazı büyüme destekleyicilerinin çıkarılması ile bitkinin yavaş büyümesi sağlanmaktadır. Sükroz ve mannitol gibi ozmotik düzenleyiciler, yüksek dozlarda bitkide ozmotik strese yol açarak büyüme geciktirici görevi görebilirler. Sıcaklık ve ozmotik düzenleyicilerin yanı sıra, büyüme düzenleyicileri de *in vitro* germplazm korunmasında rutin olarak kullanılmaktadır (Oseni ve diğerleri, 2018). Kriyoprezervasyon, temel biyolojik materyal ve genetik kaynakların ultra düşük sıcaklıkta (-196 °C) sıvı azot içerisinde uzun süre korunması tekniğidir (Hussain ve diğerleri, 2012; Oseni ve diğerleri, 2018). 1970'lerden bu yana farklı bitki organları, dokuları ve hücreleri

kullanılarak kriyoprezervasyon teknikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, yavaş ön donma yöntemi, vitrifikasyon yöntemi, dehidrasyon yöntemi gibi farklı kriyoprezervasyon prosedürleri geliştirilmiştir (Oseni ve diğerleri, 2018).

Sentetik tohum üretimi: Somatik embriyoların agaroz veya kalsiyum aljinatla kaplanması ile sentetik tohumların üretimi, büyük ölçekli çoğaltım için yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Sentetik tohumların geliştirilmesindeki asıl amaç klonal bitkilerin üretimidir; bu nedenle somatik embriyolar bu amaç için en uygun materyaldir (Kumar ve Loh, 2012). Somatik embriyolarda zigotik embriyolardaki genetik açılmalar olmamaktadır ve somatik embriyo kökenli sentetik tohumlardan çoğaltmalar klonal çoğaltım şeklinde gerçekleşmektedir (Özcan, Babaoğlu ve Sancak, 2002). Bapat ve ark. tarafından 1987 yılında sentetik tohumların üretilmesi için somatik embriyo dışındaki bitkinin üretimini sağlayan tohum, sürgün gibi kısımların kaplanmasıyla *in vitro* koşullarda türetilmiş sentetik tohum kavramı genişletilmiştir (Shazad ve diğerleri, 2017). Bu gelişme ile birlikte, sentetik tohum kavramı artık kültürlenmiş veya *in vitro* hazırlanmış materyallerin (protokorm benzeri yapılar, köklü sürgün tomurcukları) kapsüllenmesini içerecek şekilde daha da genişletilmiştir (Kumar ve Loh, 2012). Sentetik tohum teknolojisi; daha kolay kullanım, düşük üretim maliyeti, farklı ülkeler arasında kolay germplazm alışverişi, bitkilerin genetik uniformluğu, yaşam döngüsünü kısaltmak ve depolama alanını azaltmak gibi çeşitli potansiyel avantajlar sunmaktadır (Shazad ve diğerleri, 2017).

Sekonder metabolitlerin eldesi: Bitkiler karbonhidrat, protein, yağ, mineral ve vitamin açısından çok önemli besin kaynağını oluştururlar. Ayrıca bitkiler farmasötik, kimyasal, kozmetik ve tarım endüstrileri için son derece önemli kimyasallar içerir. Bu kimyasallar “ikincil metabolitler” olarak adlandırılır. Sekonder metabolitler bitki büyümesi için esasen gerekli olmadıklarından düşük miktarlarda üretilirler (Karaboyacı ve Kılıç, 2018). Bitki doku kültürleri yoluyla istenilen miktarlarda sekonder metabolit üretmek için 2 temel sistem vardır: farklılaşmış ve organize olmuş kültürlerde metabolit üretimi (kök kültürü, saçaklı kök kültürü ve sürgün kültürü) ve farklılaşmamış ve organize olmamış kültürlerle metabolit üretimi (kallus kültürü ve hücre süspansiyon kültürü). Bitki tarafından üretilen metabolitin sentez yerinin köklerde bulunduğu durumda sekonder metabolit üretimi için kök kültürü kullanılmaktadır. Sürgün kültürleri farklılaşmamış kültürlerle göre daha yüksek düzeyde sekonder metabolit üretmektedir. Kallus kültürünün başlatıldığı dokunun orijini, ikincil metabolitlerin üretilmesinde önemli rol oynamaktadır. Hücre süspansiyon kültürleri ile sekonder metabolit eldesi yönteminde,

metabolitin yüksek oranda bulunduğu uygun eksplant ile hücre süspansiyon kültürleri başlatılabilmektedir (Sökmen ve Gürel, 2002). Saçaklı kök kültürü tekniği, yüksek büyüme hızı göstermesi ve genetik stabilitenin sağlanabilmesi sebebi ile sekonder metabolit eldesi için yukarıda belirtilenlerin hepsinden daha avantajlı bir yöntemdir (Karaboyacı ve Kılıç, 2018).

Fitoremediasyon çalışmaları: Fitoremediasyon, çevredeki kirleticilerin alınmasında veya bu kirleticilerin etkisiz hale getirilmesinde hiperakümülatör bitkilerin kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Aybar, Bilgin ve Sağlam, 2015). Kallus, hücre süspansiyonu ve saçaklı kök kültürleri gibi bitki doku kültürü teknikleri fitoremediasyon çalışmaları için model bitki sistemleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır. *In vitro* kültürler, bitki hücrelerinin içsel metabolik özelliklerini ve toksisite toleransı kapasitelerini incelemeyi amaçlayan çalışmalarda çeşitli deneysel avantajlar sunar. Doku kültürlerinden elde edilen sonuçlar, bitkilerin çevresel kirletici maddelere verdikleri tepkileri tahmin etmek, tasarımı geliştirmek ve sonraki tüm bitki deneylerinin maliyetini düşürmek için kullanılabilir (Doran, 2009).

*In vitro* seleksiyon: *In vitro* koşullarda kültüre alınan hücreler, dirençli hücreleri belirleyebilmek için farklı tiplerde streslere maruz bırakılırlar. Direnç gösteren hücreler tekrar kültüre alınır ve bu hücrelerden rejenere edilen tüm bitkiler dirençlidir. Bu yöntemle; kuraklığa, tuzluluğa ve soğuğa dirençli veya ürün verimini etkileyen biyotik streslere dayanıklı bitkiler üretmek mümkündür (Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

Hastalık direncinin belirlenmesi açısından direnç mekanizmalarını karakterize etmenin en etkili yöntemlerinden biri, direncin tek hücre düzeyinde ifade edilip edilmediğinin saptanmasıdır (Grosser ve Omar, 2011).

Protoplast füzyonu ve somatik hibridizasyon: Somatik hibridizasyon uygulamaları, geleneksel metotlarla hibritleşmesi zor veya imkansız olan türlere gen transferini mümkün kılmaktadır. Somatik hibrit, iki farklı ebeveynden somatik hücre protoplastlarının füzyonundan elde edilen yeni hibritleri ifade etmek için kullanılan bir terimdir (Grosser ve Omar, 2011). Protoplast füzyonu ve somatik hibridizasyon; hastalık ve zararlılara dayanıklılık genlerinin füzyon yolu ile kültür bitkilerine aktarılması, çeşitli uyumsuzluklar gösteren cins ve türler arası melezleme, yeni çeşit ve hatta yeni türlerin geliştirilmesi amacı ile kullanılmaktadır (Babaoğlu ve Özcan, 2002; Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

Haploid ve homozigot dihaploid bitki üretimi: Haploid bitkiler, çoğunlukla erkek hücre kökenli olarak olgunlaşmamış mikrosporları içeren anterlerin ve izole mikrosporların kültüre alınması ile elde edilmektedir (Kumar ve

Loh, 2012). Ayrıca dişi hücre kökenli olarak da ovaryum, ovul ve ovum kültürleri kullanılarak da haploid bitkiler elde edilebilmekle birlikte, bunlar sayıca az olmaktadır. Bilindiği üzere, somatik hücrelerindeki kromozom sayısı, ait oldukları bitki türünün gamet hücrelerinde bulunan kromozom sayısı kadar olan bitkilere haploid bitkiler adı verilmektedir (Ellialtıoğlu ve diğerleri, 2002). Doubled-haploid ıslah yöntemleri, heterozigot ebeveynlerden elde edilen haploid dokuların veya bitkilerin (n) kromozomlarının katlanarak dihaploid bitkilerin (2n) elde edilmesini içermektedir. Doubled-haploid bitki ıslahı yöntemleri; stabil dirençli hatlar elde etmek için gereken süreyi geriye melezleme tekniğine göre büyük ölçüde azaltır ve geleneksel ıslah yöntemlerine göre daha kısa sürede homozigot hatlar elde edilmesine olanak sağlar. Bugün birçok ıslahçı, doubled-haploid tekniğini kısa sürede çeşit geliştirme amaçlı olarak tercih etmektedir. Sıklıkla bu hatlar, ayrıca F1 hibrit tohum üretimi için ebeveyn olarak da kullanılırlar (Hussain ve diğerleri, 2012; Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

Genetik transformasyon: Genetik transformasyon, istenen özellikteki genlerin konakçı bitkilere transferini ve transgenik bitkilerin elde edilmesini sağlayan bir araçtır. Genetik transformasyon teknikleri ile verimin ve kalitenin artırılması, zararlılara ve hastalıklara karşı direncin artırılması gibi agronomik açıdan önemli özelliklerin bitkilere entegre edilmesi mümkündür. Bitkilerde genetik transformasyon, dolaylı gen transferi (vektör aracılı) veya doğrudan gen transferi metodu ile sağlanmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012). Protoplastlar; dolaylı ya da doğrudan gen aktarım yöntemleri (polietilen glikol muamelesi, elektroporasyon veya lipozomların kullanımı vb.) ile gen transferi için ideal hücrelerdir (Hadziabdic ve diğerleri, 2011). Vektör aracılı gen aktarma yöntemleri arasında, *Agrobacterium* aracılı genetik transformasyon yöntemi bitki hücrelerine yabancı genlerin aktarımı için yaygın şekilde kullanılmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2012). *Agrobacterium rhizogenes* aracılı transformasyon, sekonder metabolit üretimi için transgenik saçaklı kök kültürleri üretmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Pant, 2014; Loyola-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018). Modern transformasyon teknikleri, geleneksel hibridizasyon yaklaşımlarına kıyasla benzersiz avantajlar sunar. Eşeyssel olarak uyumsuz türler arasında gen transferinin yapılabilmesi ve istenilen özelliklere sahip bitkilerin elde edilebilmesi için gereken ıslah süresinin büyük ölçüde azaltılması bu avantajlara örnek olarak verilebilmektedir (Li, Dhekney ve Gray,2011).

Genom düzenleme: Son on yılda sekansa özgü nükleazların kullanımına dayanan farklı genom düzenleme teknikleri, istenilen spesifik

mutasyonların elde edilmesini sağlayan genomik sekansların manipüle edilmesine olanak sağlamıştır. Bitki doku kültürü ve genetik transformasyon teknikleri ile birleştirilen genom düzenleme teknolojisi, çeşitli mahsullerin ıslah ve iyileştirme programlarında devrim yaratmaya başlamıştır. Bu teknolojilerden biri, CRISPR/Cas9 genom düzenleme sistemini içermektedir. Genetik transformasyon ile karşılaştırıldığında genomik düzenleme teknolojileri, alıcı bitkide genetik bir değişiklik yapmak için yabancı DNA kullanımı anlamına gelmemektedir; genetik değişim bitki türlerinin kendi genomunda gerçekleştirilmektedir. Genom düzenleme sistemleri, fonksiyonel gen çalışmaları için de şu anda yüksek öneme sahiptir (Loyal-Vargas ve Ochoa-Alejo, 2018).

## **Sonuç**

Bitki hücre, doku ve organ kültürü teknikleri, bitki biyoteknolojisi alanında temel ve uygulamalı çalışmaların ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Günümüzde mikroçoğaltım, hastaliksız bitki üretimi, bitki ıslahı, sekonder metabolit üretimi, genetik transformasyon gibi pek çok alanda kullanılan bitki hücre, doku ve organ kültürlerinin gelecekte de kullanılmaya devam edileceği ortadadır. Gittikçe artan insan nüfusunun ihtiyacını karşılayabilmek için ürünün iyileştirilmesi ve verimin artırılması amacı ile bu teknolojilerin kullanılması gerekliliği yadsınmaz bir gerçektir. Ayrıca, genetik transformasyon ve genom düzenlemeleri aracılığı ile küresel ısınma başta olmak üzere çeşitli abiyotik faktörlere dirençli bitkilerin elde edilmesi konusunda stratejik bir araç olarak kullanılacaktır.

## **Kaynaklar**

- Aybar, M., Bilgin, A. ve Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1:59-65.
- Babaoğlu, M. ve Özcan, S. (2002). Protoplast Kültürü ve Somatik Melezleme. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları (s. 89-136). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Babaoğlu, M., Yorgancılar, M. ve Akbudak, M. A. (2002). Doku Kültürü: Temel Laboratuvar Teknikleri. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları (s. 1-35). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Bhatia, S. (2015). Plant Tissue Culture. Modern Applications of Plant Biotechnology in Pharmaceutical Sciences, 31-107.
- Bridgen, M. P., Houtven, W. V. ve Eeckhaunt, T. (2018). Plant Tissue Culture Techniques for Breeding. Van Huylenbroeck, J. (Ed). Ornamental Crops (s. 127-144). Springer International Publishing.



- Bürün B. ve Gürel, A. (2002). Embriyo Kültürü. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları (s. 324-344). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Bürün, B. (2002). Hastalısız Bitki Üretimi. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları (s. 190-210). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Chu, C.C., Wang, C.C., Sun, C.S., Msu, C., Yin, K.C., Chu, C.Y., Bi, C.Y. (1975). Establishment of an efficient medium for anther cultures of rice through comparative experiments on nitrogen sources. *Scientia Sinica*, 18, 659-668.
- Doran, P. M. (2009). Application of Plant Tissue Cultures in Phytoremediation Research: Incentives and Limitations. *Biotechnology and Bioengineering*, 103(1).
- Driver, J. ve Kuniyuki, A. (1984). In vitro propagation of Paradox walnut rootstock. *HortScience*, 19:507-509.
- Ellialtıoğlu, Ş., Sarı N. ve Abak, K. (2002). Haploid bitki üretimi. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları (s. 137-189). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- El-Sherif, N. A. (2017). Impact of Plant Tissue Culture on Agricultural Sustainability. Negm, A. M. ve Abuhashim, M. (ed). *Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part II: Soil-Water-Plant Nexus* (s. 93-107). Springer Nature Switzerland.
- Gamborg, O. L. ve Phillips G. C. (1995). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (s. 3-19). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gamborg, O.L., Miller, R. A. ve Ojima, K. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental Cell Research*, 50, 151-158.
- Grosser, J. W. and Omar, A. A. (2011). Protoplasts—An Increasingly Valuable Tool in Plant Research. Trigiano, R. N. and Gray, D. J. (Ed.). *Plant Tissue Culture, Development and Biotechnology* (s. 349-365). New York: CRC Press.
- Gürel, A., Hayta, Ş., Nartop, P., Bayraktar, M. ve Fedakar, S. O. (2013). Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Uygulamaları, Ege Üniversitesi Yayınları Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Hadziabdic, D., Wadl, P. A. and Reed, S. A. (2011). Haploid Cultures. Trigiano, R. N. and Gray, D. J. (Ed.). *Plant Tissue Culture, Development and Biotechnology* (s. 385-397). New York: CRC Press.
- Hussain, A., Qarshi, I. A., Nazir, H. Ve Ulla, I. (2012). Plant Tissue Culture: Current Status and Opportunities. *Recent Advances in Plant in vitro Culture*, 1-28.

- Jalan, K. (2017). Plant tissue culture, its methods, advantages, disadvantages and applications. Erişim adresi: <https://www.slideshare.net/KomalJalan/plant-tissue-cultureits-methods-advantagesdisadvantages-and-applications-73286256>
- Kane, M. (2011). Propagation by Shoot Culture. Trigiano, R. N. and Gray, D. J. (Ed.). *Plant Tissue Culture, Development and Biotechnology* (s. 181-193). New York: CRC Press.
- Karaboyacı, Ö. ve Kılıç S. (2018). Bioengineering Methods in the Production, Development and Metabolism of Essential Oil in Plants. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2. 1-9.
- Kumar, P. P. ve Loh, C.S. (2012). Plant tissue culture for biotechnology. *Plant Biotechnology and Agriculture*, 131-138.
- Kumar, S. (2019). Shoot Tip Culture: Meaning, Principle, Protocol and Importance | Plant Tissue Culture. *Biology Discussion* Erişim adresi: <http://www.biologydiscussion.com/organ-culture/shoot-tip-culture/shoot-tip-culture-meaning-principle-protocol-and-importance-plant-tissue-culture/14583>
- Li, Z. T. Dhekney, S. A. and Gray, D. J. (2011). Genetic Engineering Technologies. Trigiano, R. N. and Gray, D. J. (Ed.). *Plant Tissue Culture, Development and Biotechnology* (s. 423-435). New York: CRC Press.
- Lloyd, G. ve McCown, B. H. (1980). Commercially feasible micropropagation of mountain laurel, (*Kalmia latifolia*) by use of shoot tip culture. *Combined Proceedings of International Plant Propagators' Society*, 30, 421-427.
- Loyala- Vargas, V. M. ve Ochoa-Alejo, N. (2018). An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives. *Methods in Molecular Biology*, 1815, 3-13.
- Murashige, T. ve Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Neumann, K. H., Kumar, A. ve Imani, J. (2009). *Plant Cell and Tissue Culture - A Tool in Biotechnology* (s. 1-6). Springer Berlin Heidelberg.
- Nichodemus, C. O. (2017). Plant tissue culture: Techniques, Applications, Advantages and Disadvantages. *Biotech Articles*. Erişim adresi: <https://www.biotecharticles.com/Applications-Article/Plant-Tissue-Culture-Techniques-Applications-Advantages-and-Disadvantages-3805.html>
- Nitsch, J.P. ve Nitsch, C. (1969). Haploid plants from pollen grains. *Science*, 163, 85-87.
- Oseni, O. M., Pande, V. ve Nailwal, T. K. (2018). A Review on Plant Tissue Culture, A Technique for Propagation and Conservation of

- Endangered Plant Species. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), 3778-3786.
- Özcan, S., Babaoğlu M. ve Sancak, C. (2002). Somatik Embriyogenesis. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). *Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları* (s. 71-88). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Pant, B. (2014). Application of Plant Cell and Tissue Culture for the Production of Phytochemicals in Medicinal Plant. Adhikari, R. ve Thapa, S. *Infectious Diseases and Nanomedicine II* (s. 25-41). New York: Springer New Delhi Heidelberg.
- Phillips, G. C. ve Garda M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. doi: 10.1007/s11627-019-09983-5
- Schenk, R. U. Ve Hildebrandt, A. C. (1972). Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Canadian Journal of Botany*, 50.
- Shahzad, A., Parveen, S., Sharma, S., Shaheen, A., Saeed, T., Yadav, V., Akhtar, R., Ahmad, Z., ve Upadhyay, A. (2017). *Plant Tissue Culture: Applications in Plant Improvement and Conservation*. Abdin M. Z., Kiran, U., Kamaluddin, Ali, A. (Ed). *Plant Biotechnology: Principles and Applications* (s. 37-72). Singapore: Springer.
- Shohael, A. M. (2008). Advantages of Plant Tissue Culture. JSPS Fellow at Gene Research Center, Tsukuba University, Japan. Erişim adresi: file:///C:/Users/CASPER/Desktop/kongre%20için%20kaynaklar/Shohael,%202008.pdf
- Sökmen, A. ve Gürel, E. (2002). Sekonder Metabolit Üretimi. Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. (Yay. Haz.). *Bitki Biyoteknolojisi: Doku kültürü ve Uygulamaları* (s. 211-261). Konya: Selçuk Üniversitesi Vakıf Yayınları.
- Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology*, 37, 169-180.
- White P. R. (1963). *The cultivation of animal and plant cells* (s:228). New York: Ronald Press Co.

# FİTOPATOJEN FUNGUSLARA KARŞI ANTİFUNGAL AKTİVİTEYE SAHİP YEREL *BACILLUS* İZOLATLARININ *IN* *VITRO* KOŞULLARDA SEÇİLMESİ

Derya MARAL GÜL\* & Kardelen ÇAĞLAYAN\*\* & Mithat Can  
KUŞÇU\*\* & Cansu AZAK\*\* & Dilan YERLİ\*\*\* & Büşra BAYAR\*\*\*  
Rengin ELTEM\*\*\*

\*Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı,  
deryamaralgul@gmail.com

\*\*Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı,  
caglayan kardelen@gmail.com, mithatku@gmail.com, cansu.azak@hotmail.com

\*\*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü,  
dilanyerli45@gmail.com, busrabcd@gmail.com, rengin.eltem@ege.edu.tr

**Özet:** Son yıllarda dünya nüfusunun giderek artmasına bağlı olarak karşılanması gereken besin ihtiyacı da artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için tarımsal ürünlerin üretim hızı ve verimi arttırılmaya çalışılmaktadır. Tarımsal üretimlerdeki verimi önemli ölçüde düşüren etmenlerin başında bitki hastalıkları ve zararlıları gelmektedir. Üreticilerin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri olan fungus kökenli bitki hastalıkları ile mücadelede kimyasal fungusitler kullanılmaktadır. Bu ürünlerin fazla kullanılması sonucu insan ve çevre sağlığı olumsuz etkilenmekte ve bazı bitki hastalık etmenleri bu kimyasallara karşı direnç geliştirmektedir. Bu durumda bitki hastalıklarını önlemek için gerçekleştirilen aşırı kimyasal ürün kullanımı daha büyük sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların çözümünde biyolojik mücadele önem kazanmaktadır. Biyolojik mücadele, bitki hastalıklarına sebep olan patojenlere karşı spesifik mikroorganizmaların kullanıldığı, bitki korumada kullanılmakta olan kimyasal mücadele yöntemlerinden kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmaya yönelik çevre dostu bir yaklaşımdır. Özellikle *Bacillus* genusuna ait bakteriler biyolojik mücadelede önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada temel amaç; fitopatojen funguslara karşı antagonistik aktivite gösteren yerel ve özgün *Bacillus* izolatlarının *in vitro* koşullarda belirlenmesidir. Bu amaçla, çeşitli su, çamur ve toprak örneklerinden izole edilmiş olan 1519 adet *Bacillus* izolatı incelenmiştir. Bu izolatların tarımsal üretimde büyük kayıplara neden olan *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* adlı fitopatojen funguslara karşı antifungal etkisi modifiye "ikili kültür testi" yöntemi kullanılarak *in vitro* petri denemeleri ile belirlenmiştir.

Çalışmada antagonistik aktivitesi incelenen 1519 adet *Bacillus* izolatı arasından 394 tanesinin (%25,94) *B. cinerea*'ya, 201 tanesinin (%13,23) *F. solani*'ye ve 147 tanesinin (%9,68) *R. solani*'ye karşı inhibisyon zonu oluşturduğu saptanmıştır. 849 adet (%55,9) izolatın test edilen fitopatojen funguslara karşı herhangi bir etkisinin bulunmadığı buna karşılık 101 adet (%6,65) *Bacillus* izolatının her üç fitopatojene karşı da inhibisyon zonu oluşturarak yüksek antagonistik etki gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak çok sayıda izolatın

taranması sonucu *in vitro*'da antifungal etkisi saptanan 101 adet *Bacillus* izolatının, geliştirilmesi hedeflenen yerli tarımsal biyolojik mücadele preparatlarının üretimi için önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fitopatojen fungus, *Bacillus*, Antagonistik etki, Antifungal aktivite, Biyolojik mücadele

## Giriş

Günümüzde dünya nüfusunun hızla artmasıyla beraber karşılanması gereken besin ihtiyacı da artmaktadır. Bu sebeple tarımsal üretim binlerce yıldır insan hayatının vazgeçilmezi haline gelmiştir. Artan besin ihtiyacını karşılayabilmek için birim alandan daha fazla ürün alınması gerekmektedir (Aslan, 2011; Meena et al., 2017; Anderson and Kim, 2018). Tarımsal üretimdeki temel hedef, minimum girdi ile en yüksek verimin sağlanabilmesidir. Verimin sağlanabilmesi için ise toprağın gübre yardımıyla iyileştirilmesi ile bitkinin beslenmesi ve tarımsal ürün kaybına yol açacak her türlü hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadele önem arz etmektedir (Aslan, 2011; Baeshen, 2016). Bu mücadelenin gerçekleşmesinde temel olan tarımın her daim geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır. Organik, sürdürülebilir ve iyi tarım uygulamaları; çevrenin korunmasını, su ve toprak kaynaklarının, bitkisel kaynakların verimli tüketim ve kullanımını, gıda güvenliğini kapsamaktadır. Bunun sonucunda gelecek kuşaklara yaşanabilir bir doğa bırakılması hedefini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır (Baeshen, 2016; Meena et al., 2017; Sözer Bahadır vd., 2018).

Üreticilerin karşılaştığı en büyük sorunların başında ticari öneme sahip tarımsal ürünlerde *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* vb. fungusların meydana getirdiği kök çürüklüğü, kurşuni küf hastalığı, solgunluk vb. fungal bitki hastalıkları ile mücadele gelmektedir. Bununla birlikte, bazı bitki hastalıklarına karşı etkili kimyasal mücadele yöntemleri bulunmamaktadır. Bu hastalıkları önlemek için son yüzyılda tarımsal kimyasallar, yüksek etkinliğe sahip ve hızlı sonuç vermesinden dolayı yoğun şekilde kullanılmaktadır (Adıyaman Koltuksuz, 2007). Bu durum ekolojik dengenin bozulmasına ve bazı bitki hastalık etmenlerinin bu kimyasallara karşı direnç geliştirmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak insan ve çevre sağlığı olumsuz etkilenmektedir (Maurya, 2014; Meena et al., 2017; Anderson and Kim, 2018). Tarımsal üretimde karşılaşılan bu sorunlara çözüm olarak biyokontrol etkisi olan, ucuz ve çevre dostu, kullanılan kimyasal maddelerin zararlı etkilerini azaltacak yeni ve alternatif kaynak arayışı öncelik kazanmıştır (Aksoy, 2006; Cabrefiga et al., 2007; Baeshen, 2016; Sözer Bahadır vd. 2018). Bu arayışın sonucu olarak geliştirilen mikrobiyal kökenli biyopreparatların tarımsal üretimlerde kullanılmasıyla biyolojik mücadele kavramı ortaya çıkmıştır (Cabrefiga et al., 2007; Trivedi et al., 2008).

Biyolojik mücadele, bitkide hastalık yapıcı patojenlere karşı spesifik mikroorganizmaların kullanıldığı bitki korunmasında uygulanan kimyasal mücadele yöntemlerinden kaynaklı problemleri ortadan kaldırmaya yönelik çevre dostu bir yaklaşımdır. Bu mücadelede amaç, doğadaki yararlı mikroorganizmaların, bitki rizosferinde bulunan patojenlere karşı bir savunma hattı oluşturarak bitkinin hastalanmasını önlemeye çalışmaktır (Aksoy, 2006). Biyolojik mücadele, insan ve hedef olmayan diğer organizmalar için güvenli olması, gıdalardaki pestisit kalıntılarını azaltması, tekrarlı uygulama gerektirmemesi ile iş gücü ve zamandan tasarruf sağlaması ve dolayısıyla maliyetleri düşürmesi, hastalıkların entegre yönetiminde bir alternatif olarak yer alması gibi avantajlara sahiptir (Çınar, 2005; Cawoy et al., 2011).

Biyolojik mücadelede bakteri ve fungus gibi pek çok mikrobiyal kaynak kullanılmaktadır (Castillo et al., 2013; Sözer Bahadır vd., 2018). Bu kaynaklar biyolojik mücadelede doğal sistemlerinde var olan antagonistik etki mekanizmaları sayesinde bitkiye zararlı olan patojenleri baskılayarak neden oldukları hastalıkları azaltarak veya inhibe ederek görev alır (Jain and Pandey, 2016; Meena et al., 2017; Morrison et al., 2017; Kumar and Verma, 2018). Biyolojik mücadele etmenleri, her zaman hastalıkları tamamıyla ortadan kaldırmamaktadır fakat hastalık sonucu meydana gelebilecek semptomları ya da zararları kabul edilebilir seviyeye düşürmektedir (Chitarra et al., 2003). Biyolojik kontrol için kullanılması planlanan bakteri ve funguslarda bulunması istenilen pek çok özellik vardır. Bunlar; a) hedef patojene karşı güvenilir ve yüksek etkinliğe sahip bir performans, b) hedeflenen dışındaki hiçbir organizmaya karşı olumsuz bir etkiye sahip olmama, c) kolay üretim ve kullanım, d) kabul edilebilir güvenlik düzeyinde toksikoloji, d) 1-2 yıl gibi uzun bir raf ömrü, e) ortamdaki patojenlerle yüksek rekabet özelliği, f) ortamda kabul edilebilir bir süre yaşam sürmesi (Chitarra et al., 2003).

Biyolojik mücadelede kullanılan ilk bakteri *Actinomyces sp.* patates çürüklüğü hastalığına karşı 1927 tarihinde uygulanmıştır (Jung and Kim, 2005). Son yıllarda *Phytium*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia* ve *Fusarium spp.* vb. bitki patojenleri, fungal biyokontrol etmenler olan *Trichoderma harzianum* Rifai (Trichodex), *Gliocladium virens* (GlioGard) gibi ve bakteriyel biyokontrol etmenleri olan *Bacillus subtilis* (Kodiak), *Bacillus subtilis* (Quantum 400), *Streptomyces sp.* (Mycostop), *Pseudomonas fluorescens* (Dagger G) vb. pek çok ticarileştirilmiş biyopreparatlar ile kontrol edilebilmektedir (Bulla et al., 1981).

Biyolojik mücadele etmenleri arasında bitki hastalık etmenlerini baskılayan bakteriyel antagonistler, saldırgan kolonizasyon özelliklerinin olması, kullanım kolaylığı, ve hızlı gelişmeleri sayesinde ideal adaylar olarak kabul edilmektedir (Sözer Bahadır vd., 2018). Biyolojik mücadelede kullanılan bakteriyel etmenler *Bacillus*, *Pseudomonas*,

*Klebsiella*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Azomonas* ve benzeri genoslardır (Bilgin, 2008; Aslan, 2011; Suyal et al., 2018). Bu etmenlerden özellikle *Bacillus* genusu bakteriler biyolojik mücadelede önemli yer tutmaktadır (Castillo et al., 2013). Çünkü *Bacillus*'lardaki endospor oluşumu onların doğada üstünlük kurmasını sağlamakta ve bunun yanında uzun süreli depolanabilmeleri *Bacillus* içeren doğal ürünlerin kolayca ticaretinin yapılmasına imkan sağlamaktadır (Kamenek et al., 2012). Bitki patojenlerinin ve hasat sonrası çürüme, bozulma gibi verim düşürücü durumlara sebep olan fungusların biyokontrolünde önemi olduğu düşünülen antifungal antibiyotiklerin sentezlenmesi antagonist bakteriyel suşların en temel özelliğidir. *Bacillus* spp.'nin ürettiği antifungal lipopeptitler arasında *iturinler*, *mycosubtilinler*, *bacillomycinler*, *surfaktinler*, *fungistatinler* ve *subsporinler* bulunmaktadır. *Bacillus*'ların biyolojik mücadeledeki antifungal etki mekanizmaları litik enzim ve antibiyotik sentezleme, siderofor ve HCN (hidrojen siyanür) üretimi şeklinde gerçekleşir (Aydın, 2010; Castillo et al., 2013; Meena et al., 2017).

Bu çalışmada, daha önce yapılmış olan araştırmalarda izole edilmiş *Bacillus* izolatları kullanılmıştır. Çalışmamızda *Bacillus* izolatlarının, bitkiye hastalık yapıcı *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* ve *Botrytis cinerea* adlı üç fitopatojen fungusa karşı *in vitro* koşullarda antifungal etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **Yöntem**

### **Bakteri izolatları ve hazırlanması**

Bu çalışmada, daha önceki araştırmalarda İzmir ve civarındaki su birikintisi, çamur, bataklık, gölet, çiftliklerden çıkan hayvan yıkama suları, ağaçlık alanlar gibi habitatlardan gelen su, çamur ve toprak numunelerinden izole edilmiş 1519 adet *Bacillus* spp. izolatı kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılmadan önce *Bacillus* izolatlarının nutrient agarda (NA) çizgi ekim tekniği ile saflık kontrolleri yapılmıştır. Tek kolonilerden alınan bakteri örnekleri kapaklı yatık tüplerde hazırlanmış olan NA besiyerinde 1 gece 30°C'de inkübe edilip aktifleştirildikten sonra saklanmışlardır. Bir başka çalışma kapsamında izole edilmiş olan bu izolatların izole edildikleri numunelerin kaynakları Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan numunelerin kaynakları.

Tarih (Yıl)	Numune Şekli ve sayısı	Numunenin Alındığı Yer	İzolot Sayısı
2012	Su ve toprak (6)	Ödemiş/İzmir	496
2012	Su (3)	Çaybaşı Köyü/Torbalı/İzmir	127
2012	Su ve toprak (1)	Tire/İzmir	152
2012	Su ve çamur (11)	Kuş Cenneti/İzmir	637
2012	Toprak (6)	Bayındır/İzmir	98
2012	Su (1)	Gölcük/Ödemiş	8

### **Fitopatojen fungusların hazırlanması**

Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan üç farklı bitki patojeni fungus (*Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*) öncelikle patates dekstroz agar (PDA) besiyeri içeren petrilerde 5-6 gün boyunca 27-30°C'de aktifleştirilmişlerdir. Kültive edilen bu fitopatojen funguslardan içi boş steril bir cam çubuk yardımıyla 6 mm çapında agar diskleri alınıp antifungal etkinin belirlenmesi için kullanılmıştır (Al Banna et al., 2016).

### ***Bacillus* izolatlarının katı besiyerinde antagonistik etkilerinin taranması**

Kültive edilen fitopatojen funguslardan içi boş steril bir cam çubuk yardımıyla alınan agar diskleri PDA içeren petrilerin tam ortasına bırakılmıştır. Aynı petri dörde bölünerek her bir bölmeye farklı bir bakteri izolatu inoküle edilmiştir. *Fusarium solani* ve *Rhizoctonia solani* bulunan petriler 30°C'de, *Botrytis cinerea* bulunan petriler 27°C'de inkübe edilmiştir. Aralarındaki etkileşimler 7-10 gün boyunca takip edilip antifungal etki gösteren izolatlar belirlenerek *Bacillus* izolatlarının gösterdikleri etkiler "İnhibisyon zonu", "Çıkmaza girdi" ve "Üzerine büyüdü" olacak şekilde sınıflandırılmıştır (Gajbhiye et al., 2010). Her üç fitopatojen fungusa karşı da inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenen *Bacillus* izolatları seçilmiştir. Tarama her bir *Bacillus* izolatu için iki paralel olacak şekilde tekrarlanmıştır.

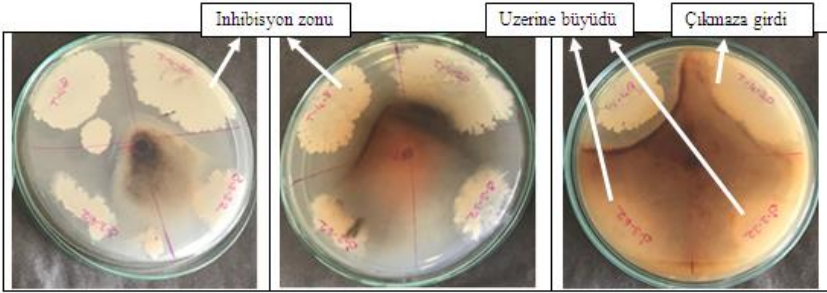


## Bulgular

### *Bacillus* izolatlarının katı besiyerinde antagonistik etkilerinin taranması

PDA besiyeri içeren petrilerde ikili kültür yönteminin modifiye edilmesiyle gerçekleştirilen dörtlü ekim yöntemi ile toplamda 1519 adet *Bacillus* izolatı incelenmiştir.

Bu izolatlar ile her bir fitopatojen fungus arasındaki etkileşimler incelendiğinde; iki türün birbirine değemediği aralarında boş bir alan oluşturdukları etkileşim şekli “**İnhibisyon zonu**”, iki türün birbirine değdiği fakat birbirleri üzerine büyüyemedikleri etkileşim şekli “**Çıkmaza girdi**” ve iki türden birinin diğerinin üzerine büyüyebildiği etkileşim şekli ise “**Üzerine büyüdü**” olarak sınıflandırılmıştır (Bkz. Şekil 1) (White and Boddy, 1992; Woods et al., 2005).



**Şekil 1.** Antifungal etkinin sınıflandırılmasında kullanılan iki mikroorganizma arasındaki etkileşim şekilleri.

## Sonuç ve Öneriler

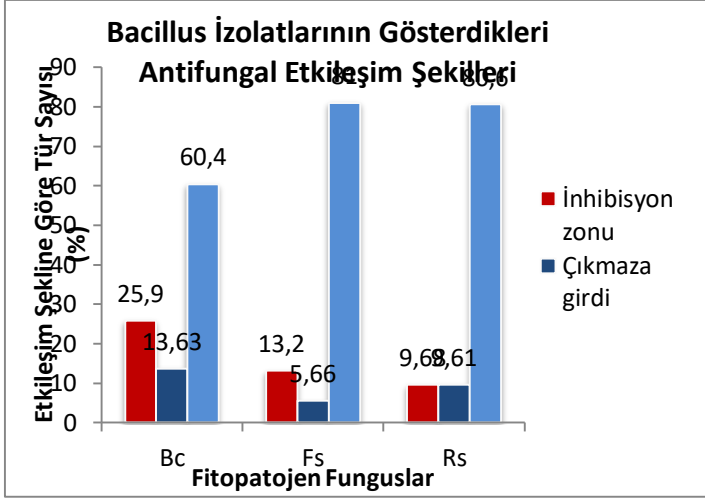
### Sonuç

Çalışmada antifungal etkileri incelenen 1519 adet *Bacillus* izolatı arasından 917 adet (%60,4) izolatın *Botrytis cinerea*'ya, 1231 adet (%81) izolatın *Fusarium solani*'ye ve 1225 adet (%80,6) izolatın *Rhizoctonia solani*'ye karşı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ek olarak, 849 adet (%55,9) izolatın incelenen üç fitopatojene karşı da herhangi bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir (Şekil 2). Bakteri izolatlarını içeren bu petrilerde, fitopatojen fungusların aynı kontrol petrilerinde olduğu gibi bakteri izolatlarının üzerine büyüyerek tüm petriyi kaplayacak şekilde gelişmelerine devam ettikleri gözlemlenmiştir.

İncelenen *Bacillus* izolatları arasından 207 adet (%13,63) izolatın *Botrytis cinerea*'ya, 86 adet (%5,66) izolatın *Fusarium solani*'ye ve 146 adet (%9,61) izolatın ise *Rhizoctonia solani*'ye karşı çıkmaza girdiği belirlenmiştir. Ayrıca, 12 adet (%0,7) izolatın her üç fitopatojene karşı çıkmaza girdiği belirlenmiştir (Şekil 2). Bir başka deyişle, bu petrilerdeki

fitopatogen funguslar bakteri izolatlarına değecek kadar büyüyebilmişler ancak herhangi bir tür diğerinin üzerine büyüyememiştir.

Antifungal etkileri bakımından incelenen 1519 adet *Bacillus* izolatu arasında 394 adet (%25,9) izolatu *Botrytis cinerea*'ya, 201 adet (%13,2) izolatu *Fusarium solani*'ye ve 147 adet (%9,68) izolatu ise *Rhizoctonia solani*'ye karşı inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak 101 adet (%6,65) *Bacillus* izolatu'nun her üç fitopatojene karşı da inhibisyon zonu oluşturduğu saptanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. *Bacillus* izolatlarının gösterdikleri etkileşim şekilleri.

(Bc: *Botrytis cinerea*, Fs: *Fusarium solani*, Rs: *Rhizoctonia solani*)

Çalışmanın temel amacının fitopatogen funguslara karşı antifungal aktivite gösteren özgün ve yerel *Bacillus* izolatlarının *in vitro* koşullarda belirlenmesi olduğu düşünöldüğünde, her üç fitopatojene karşı da inhibisyon zonu oluşturabilen izolatların belirlenmesi ileride gerçekleştirilecek çalışmalar bakımından oldukça önemlidir.

Sonuç olarak çok sayıda izolatu'nun taranması sonucu *in vitro*'da bitki patojeni funguslara karşı antifungal etkisi saptanan 101 adet *Bacillus* izolatu'nun, geliştirilmesi hedeflenen yerli tarımsal biyolojik mücadele preparatlarının üretimi için önemli bir kaynak oluşturacağı düşünölmektedir.

## Öneriler

Kimyasal pestisitlerin aşırı kullanımı; organizmalarda toksisite meydana getirmesi, uzun süre kalıntı bırakması gibi ciddi insan ve çevre güvenliği sorunlarını beraberinde getirmektedir. Gerek organik gerekse konvansiyonel tarımda biyolojik mücadele etmenlerinin üretimi ve kullanımının yakın gelecekte tüm dünyada daha da önem kazanması

beklenmektedir. Günümüzde pek çok ülkede konvansiyonel tarımdan organik tarıma geçilmeye başlanmıştır. Dünya ve ülkemiz tarımında kalıntısız üretim için biyolojik preparatların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Tarım ülkesi oluşu ve 2002-2010 yılları arasında organik tarımın %300'lük orandaki hızla gelişimi gibi nedenlerden dolayı ülkemiz, biyopreparatlar için iyi bir pazar oluşturmaktadır.

*Bacillus* genusu mikrobiyal ve endüstriyel biyoteknoloji alanlarında kullanılmakta ve bu nedenle uzun süredir çalışma konusu olarak güncelliğini korumaktadır. Fakat antifungal etkinin belirlenmesi ile ilgili literatürler incelendiğinde, bu çalışmadaki kadar yüksek sayıda izolat ve bu kadar sayıda fitopatogene ile gerçekleştirilen kapsamlı bir *in vitro* tarama çalışmasına rastlanamamıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** *Bacillus* spp.'nin *in vitro* da antifungal etkilerinin tarandığı çalışmalar.

Bacillus İzolatı Sayısı	Patojen Fungusunun Adı	Kaynak Adı
22	<i>Botrytis cinerea</i>	Senna &
	<i>Fusarium pallidoroseum</i>	Lathrop, 2017
	<i>Fusarium moniliforme</i>	
30	<i>Rhizoctonia solani</i>	Elkahoui et al., 2013
30	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Rajkumar et al., 2018
44	<i>Pythium ultimum</i>	
	<i>Botrytis cinerea</i>	
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Venant et al., 2013
	<i>Cladosporium cucumerinum</i> <i>Aspergillus niger</i>	
45	<i>Alternaria alternata</i>	Abdalla et al., 2014
130	<i>Rhizoctonia solani</i>	Kubheka, 2003
144	<i>Fusarium oxysporum f.sp. ciceris</i>	Abed et al., 2016
83	<i>F. roseum var. sambucinum</i>	Sadfi et al., 2001

Yapılan çalışma sonucunda seçilen antifungal etkiye sahip izolatlar daha sonraki çalışmalarda kullanılarak yerli ve özgün *Bacillus* biyopreparatlarının geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu sayede ülkemizde ve dünyada hızla gelişmekte olan tarımsal biyolojik preparat pazarına yönelik önemli bir kaynak sağlanması için önemli bir adım atıldığı düşünülmektedir. Organik, sürdürülebilir veya iyi tarım uygulamaları ile ekolojik dengenin korunmasının yanı sıra özellikle ihracat potansiyeline sahip kaliteli tarımsal ürünlerin ülke ekonomisine çok büyük katkıları olacağı öngörülmektedir. Bu sebeple ülkemizde biyopreparatların geliştirilmesine yönelik yapılan girişimlere destek verilmesi, yapılacak çalışmalar ve bu preparatların sayısının artırılması gerektiği düşünülmektedir.

## Teşekkürler

Bu çalışma TÜBİTAK "2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı" (Proje Numarası:1139B411701256) kapsamında ve "Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince" (Proje Numarası:FDK-2019-20159) desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Abdalla, S. A., Algam, S. A., Ibrahim, E. A., & Naim, A. M. (2014). In Vitro Screening of *Bacillus* Isolates for Biological Control of Early Blight Disease of Tomato in Shambat Soil. *World Journal of Agricultural Research*, 47.
- Abed, H., Rouag, N., Mouatassem, D., & Rouabhi, A. (2016). Screening for *Pseudomonas* and *Bacillus* antagonistic rhizobacteria strains for the biocontrol of *Fusarium* wilt of chickpea. *Eurasian Journal Soil Science*, 189.
- Adıyaman Koltuksuz, T. (2007). Tarımda Biyolojik Savaşta Kullanılabilecek Biyopreparat Formülasyonlarının Büyük Ölçekte Üretilmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.
- Aksoy, H. M. (2006). Toprak Kökenli Fungal Patojenlerin Fluoresan *Pseudomonas*larla Biyolojik Mücadelesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(3), 364-369.
- Al Banna, L., Khyami-Horani, H., & Sadder, M. (2016). Efficacy of some local *Bacillus thuringiensis* isolates against soil borne fungal pathogens. *African Journal of Agricultural Research*, 11(19), 1750-1754.
- Anderson, A. J. & Kim, Y. C. (2018). Biopesticides produced by plant-probiotic *Pseudomonas chlororaphis* isolates. *Crop Protection*, 105, 62-69.
- Aslan, E. (2011). Bitkigelişimini arttıran *Bacillus subtilis* str. 66/3 ve *Pseudomonas putida* str. 18/1K'nın biyogübre formülasyonlarının geliştirilmesi ve performansları üzerine araştırmalar. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.
- Baeshen, A. A. (2016). Use of *Pseudomonas aeruginosa* as Fertilizer in *Eruca sativa*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(10), 301-312.
- Bilgin, İ. (2008). Muğla İli ve Civarındaki Ektomikorizal *Tricholoma caligatum* Populasyonunun Toprak Mikroflorası İle Etkileşiminin

İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.

- Bulla, L. A., Bechtel, D. B., Kramer, K. J., Shethna, Y. I., Aronson, A. I. & Fitz-James, P. C. (1980). Ultrastructure, physiology, and biochemistry of *Bacillus thuringiensis*. *CRC Critical Reviews in Microbiology*, 8(2), 147-204.
- Cabrefiga, J., Bonaterra, A. & Montesinos, E. (2007). Mechanisms of antagonism of *Pseudomonas fluorescens* EPS62e against *Erwinia amylovora*, the causal agent of fire blight. *International Microbiology*, 10, 123-132.
- Castillo, H. F., Reyes, C. F., Morales, G. G., Herrera, R. R. & Aguilar, C. (2013). Biological Control of Root Pathogens by Plant-Growth Promoting *Bacillus* spp. In *Weed and Pest Control-Conventional and New Challenges*. InTech.
- Cawoy, H., Bettiol, W., Fickers, P. & Ongena, M. (2011). *Bacillus*-based biological control of plant diseases. In *Pesticides in the modern world-pesticides use and management*. InTech.
- Chitarra, G. S., Breeuwer, P., Nout, M. J. R., Aelst, A. C., van Rombouts, F. M. & Abee, T. (2003). An antifungal compound produced by *B. subtilis* YM 10-20 inhibits germination of *Penicillium roqueforti* conidiospores. *J. Appl. Microbiol.* 94, 159-166.
- Çınar, Ç. (2005). Isolation and characterization of *Bacillus thuringiensis* from olive tree-related habitats. The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, Department of Biotechnology, Master thesis, İzmir.
- Elkahoui, S., Djébalı, N., Tabbene, O., Hadjbrahim, A., Mnasri, B., Mhamdi, R., Limam, F. (2012). Evaluation of antifungal activity from *Bacillus* strains against *Rhizoctonia solani*. *African Journal of Biotechnology*, 4196.
- Gajbhiye, A., Rai, A. R., Meshram, S. U. & Dongre, A. B. (2010). Isolation, evaluation and characterization of *Bacillus subtilis* from cotton rhizospheric soil with biocontrol activity against *Fusarium oxysporum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(7), 1187-1194.
- Jain, R. & Pandey, A. (2016). A phenazine-1-carboxylic acid producing polyextremophilic *Pseudomonas chlororaphis* (MCC2693) strain, isolated from mountain ecosystem, possesses biocontrol and plant growth promotion abilities. *Microbiological Research*, 190, 63-71.
- Jung, H. K. & Kim, S. D. (2005). An antifungal antibiotic purified from *Bacillus megaterium* KL39, a biocontrol agent of red-pepper

- Phytophthora*-Blight Disease. *J. Microbiol. Biotechnol.*15(5), 1001-1010.
- Kamenek, L. K., Kamenek, D. V., Terpilowski, M. A. & Gouli, V. V. (2012). Antifungal action of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin against pathogenic fungi related to *Phytophthora* and *Fusarium*. *Int. J. Agricultural Technol*, 8(1), 191-203.
- Kubheka, B. P. (2003). *In vitro* and *in vivo* screening of *Bacillus* spp. for biological control of *Rhizoctonia solani*. School of Applied Environmental Sciences Faculty of Science and Agriculture, Discipline of Plant Pathology, University of Natal Pietermaritzburg, Master thesis, South Africa.
- Kumar, A. & Verma, J. P. (2018). Does plant—Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review?. *Mikrobial Research*, 207, 41-52.
- Maurya, M. K., Singh, R. & Tomer, A. (2014). In vitro evaluation of antagonistic activity of *Pseudomonas fluorescens* against fungal pathogen. *Journal of Biopesticides*, 7(1), 43-46.
- Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J. K., Pattanayak, A., Naveed, M. & Dotaniye, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8-32.
- Morrison, C. K., Arseneault, T., Novinscak, A. & Fillion, M. (2017). Phenazine-1-Carboxylic Acid Production by *Pseudomonas fluorescens* LBUM636 Alters *Phytophthora infestans* Growth and Late Blight Development. *Phytopathology*, 107, 273-279.
- Rajkumar, K., Naik, M., Amaresh, Y., & Chennappa, G. (2018). In vitro Screening of *Bacillus subtilis* Isolates against *Sclerotium rolfsii* Cause for Collar Rot of Chilli. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2687.
- Sadfi, N., Cherif, M., Fliss, I., Boudabbous, A. & Antoun, H. (2001). Evaluation of bacterial isolates from salty soils and *Bacillus thuringiensis* strains for the biocontrol of *Fusarium* dry rot of potato tubers. *Journal of Plant Pathology*, 101-117.
- Senna, A. d., & Lathrop, A. (2017). Antifungal Screening of Bioprotective Isolates against *Botrytis cinerea*, *Fusarium pallidoroseum* and *Fusarium moniliforme*. *Fermentation*, 1.

- Sözer Bahadır, P., Liaqat, F. & Eltem, R. (2018). Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 42, 183-196.
- Suyal, D. C.,Soni, R., Sai, S. & Goel, R. (2016). Microbial Inoculants as Biofertilizer. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*, 1(1), 311-318.
- Trivedi, P., Pandey, A. & Palni, Lok Man S. (2008). In Vitro Evaluation of Antagonistic Properties of *Pseudomonas corrugate*. *Microbiological Research*, 163, 329-336.
- Venant, N., Pascal, K., & Ernest, S. (2013). Isolation of *Bacillus* strains from the rhizosphere of Tomato and their in vitro antagonistic effects against phytopathogenic fungi. *Global Advanced Research Journal of Microbiology*, 65.

# TISSUE ENGINEERING APPROACHES FOR MODELING CEREBRAL CORTEX

**Begum GOKCE & Ozlem YESIL-CELIKTAS**

*Department of Bioengineering, Faculty of Engineering, Ege University, 35100  
Bornova, Izmir, Turkey*

## **Abstract**

The complexity of human brain has made it difficult to understand mechanisms of diseases in animal models and develop suitable approaches for clinical treatment. With traditional methods, responses at the cellular levels can not be obtained fully. To overcome these disadvantages, the use of three dimensional *in vitro* models has been suggested. Cerebral cortex, which is the largest neural integration region of the central nervous system, has an important role in brain-related studies. In order to mimic healthy cerebral tissue, the use of spheroids, tissue scaffolds, organoid based models and microfluidic platforms were recommended. Organoid models raise less ethical concerns and costs in comparison to animal models. Organoids, which developed and modeled from stem cells have more similarities with *in vivo* cultures compared to spheroids. On the other hand, it is controversial whether organoids fully reflect cell heterogeneity. Lack of vascularization ability of embryoid bodies limits the growth and maturation of organoid models. Existing cerebral organoid models have limitations in terms of reproducibility and similarity with each other. While mimicking disease models, high-throughput screening and drug testing will be difficult. Microfluidic chip technologies provide more precise control of the microenvironment. However, the standardization of these platforms and the fulfillment of the requirements also constitute limitations for the studies. Microfluidic technologies that blood flow-like physiological conditions are mimicked have attracted more attention as organoids lack gas and nutrient exchange and do not fully reflect neuronal activity. However, due to the difficulties of generating microfluidic platforms, organoid models have been more involved in mimicking of cerebral tissues in literature. More in-depth research is expected for mimicking healthy cerebral tissue subsequent to standardization and optimization of *in vitro* models developed through microfluidic platforms, which can be utilized for neurodegenerative disease models and drug screening studies.

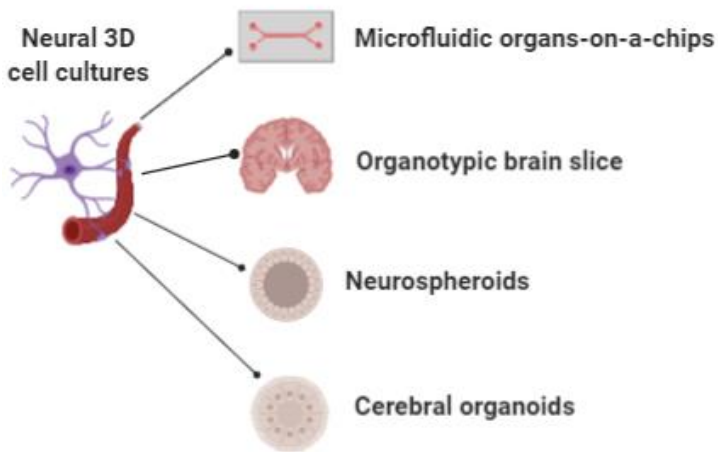
**Keywords:** cerebral tissue; spheroid; organoid; microfluidic

## **Introduction**

Cellular neuroscience studies generally include *in vivo* animal models (Marbacher et al., 2018), *ex vivo* brain slides (Brai, Cogoni, & Greenfield, 2018) and *in vitro* 2D culture (Poli, Wheeler, DeMarse, & Brewer, 2018). These models are not always close to clinical trials (Tsilidis et al., 2013). Cellular responses and drug responses are not fully demonstrated (Premack, 2007). These methods generally lack *in vivo* micro environment



architecture. To avoid these disadvantages, stem cell derived 3D cerebral models have been widely used nowadays (Poli, Magliaro, & Ahluwalia, 2019). Spheroids, tissue scaffolds, organoid based models and microfluidic platforms were used to mimicking healthy cerebral tissues in the literature studies (**Figure 1**) (Boutin et al., 2018; Chukwurah, Osmundsen, Davis, & Lizarraga, 2019).



**Figure 1.** Types of neural 3D cell culture ((Jorfi, D'Avanzo, Kim, & Irimia, 2018)

### Mimicking Cerebral Tissue

Human induced pluripotent stem cells (hiPSCs) are important source in order to form spheroids, organoid based models *in vitro* (Yan, Song, Madinya, Ma, & Li, 2018). 3D neural spheroid models have similar cell diversity *in vivo* conditions (Boutin et al., 2018). Neurospheroids which are widely used in cerebellar development studies may arise from single-cell suspensions of neural stem and progenitor cells derived from adult or fetal CNS, as well as from embryonic stem cells (ES) (Tropepe et al., 2001). Scaffold-based techniques and scaffold-free techniques are used in spheroid formation. Spheroids demonstrate some characteristics such as expression of tight junctions, adherent junctions and cell specific markers. Thus, they are used as a potential model in many applications (Nzou et al., 2018). Organoids which derived from human pluripotent stem cells are one of the methods used for mimicking of cerebral tissue (Luo et al., 2016). The process required to form an organoid consists of 5 basic steps. In first step, pluripotent stem cells were cultured. Then embryoid bodies were come into existence. They were induced neuroectoderm. Next, they were grown in gel formulation. After, cerebral organoids were spinned in

bioreactor. The last step was organoid development (Vogel, 2013). They serve as a bridge between human trials and animal models. The last decade, microfluidic-based platforms have been widely used because of mimicking *in vivo* microenvironment conditions in a small scale (Bhatia & Ingber, 2014). These microfluidic platforms provide versatile platforms for drug treatment, mimicking microenvironment conditions and neurological disease models (Jorfi et al., 2018).

### Limitations of These Models

Although these models are widely used, there are some challenges (Table 1). Spheroid models which are used mostly long term culture contain only one cell type.

**Table 1.** Limitations and opportunities of these *in vitro* models

Culture Types	Advantages	Disadvantages	References
Neurosphereoids	Simplicity Fast Easy to grow Cell-cell interaction	Cellular self-organization Waste removal Cytoarchitecture “Batch effects” Static conditions	(Pham et al., 2018) (Pamies et al., 2017) (Garcez et al., 2016)
Cerebral organoids	Complex architecture Cell-cell interaction Use of disease modelling Understanding human physiology	Heterogeneity Deprivation of some molecules Blood-brain barrier Vascularization	(Berger et al., 2018) (Poli et al., 2019) (Bergmann et al., 2018) (Pham et al., 2018) (Yu, Hunziker, & Choudhury, 2019)
Microfluidic devices	Real-time Control of microenvironment Flexibility Integrated systems Better mimicking	Standardization problems Non-standard protocols Flow condition Chip design parameters	(Sosa-Hernandez et al., 2018) (van der Helm, van der Meer, Eijkel, van den Berg, & Segerink, 2016)

Thus they can't represent cell-cell interaction in different cell types (Mehta, Hsiao, Ingram, Luker, & Takayama, 2012). Although in spheroid models cellular organization can not be achieved, in organoid models standard cell conditions can not be achieved. In organoid models depending on size, some difficulties such as providing oxygen and nutrients are observed (Sloan et al., 2017). Another problem is waste removal in these models. Also these systems are lack of vascularization

(Karzbrun & Reiner, 2019). Microfluidic platforms have difficulties in standardization and scale up process (Yu et al., 2019). There are some challenges in long-term culture process.

### **Opportunities in These Models**

2D cultures can not mimic complexity of human brain in full. Animal models provide this complexity. But they do not fully reflect pathophysiology of human brain (Lui, Hansen, & Kriegstein, 2011). With induced-pluripotent stem cells and 3D cell culture techniques, microenvironments that can best reflect human physiology have been tried to be mimicked (Grenier, Kao, & Diamandis, 2019). 3D brain cell culture models reflect 3D microenvironment of tissue culture thanks to cell-cell interaction and 3D construction. Microfluidic chip platforms optimize to control of microenvironment (Yu et al., 2019). Via these platforms, alternative methods have been established instead of animal experiments. Also they provide precision data for drug trials and disease modelling.

### **Conclusions**

When comparing techniques used to mimic cerebral tissue, microfluidic platforms have more advantages. Although organoid models are widespread in the literature studies, microfluidic platforms provide more precise control of the microenvironment. Thus, they are relatively useful to understand the physiology of human brain and mechanisms of neurodegenerative diseases. Microfluidic platforms combined with organoids will be effective models after specific design and optimization requirements are fulfilled. We envision a rapid growth in this field providing new opportunities for personalized medicine.

### **References**

- Berger, E., Magliaro, C., Paczia, N., Monzel, A. S., Antony, P., Linster, C. L., Schwamborn, J. C. (2018). Millifluidic culture improves human midbrain organoid vitality and differentiation. *Lab Chip*, 18(20), 3172-3183. doi: 10.1039/c8lc00206a
- Bergmann, S., Lawler, S. E., Qu, Y., Fadzen, C. M., Wolfe, J. M., Regan, M. S., Cho, C. F. (2018). Blood-brain-barrier organoids for investigating the permeability of CNS therapeutics. *Nat Protoc*, 13(12), 2827-2843. doi: 10.1038/s41596-018-0066-x
- Bhatia, S. N., & Ingber, D. E. (2014). Microfluidic organs-on-chips. *Nat Biotechnol*, 32(8), 760-772. doi: 10.1038/nbt.2989

- Boutin, M. E., Kramer, L. L., Livi, L. L., Brown, T., Moore, C., & Hoffman-Kim, D. (2018). A three-dimensional neural spheroid model for capillary-like network formation. *J Neurosci Methods*, 299, 55-63. doi: 10.1016/j.jneumeth.2017.01.014
- Brai, E., Cogoni, A., & Greenfield, S. A. (2018). An Alternative Approach to Study Primary Events in Neurodegeneration Using Ex Vivo Rat Brain Slices. *J Vis Exp*(134). doi: 10.3791/57507
- Chukwurah, E., Osmundsen, A., Davis, S. W., & Lizarraga, S. B. (2019). All Together Now: Modeling the Interaction of Neural With Non-neural Systems Using Organoid Models. *Front Neurosci*, 13, 582. doi: 10.3389/fnins.2019.00582
- Garcez, P. P., Loiola, E. C., Madeiro da Costa, R., Higa, L. M., Trindade, P., Delvecchio, R., Rehen, S. K. (2016). Zika virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids. *Science*, 352(6287), 816-818. doi: 10.1126/science.aaf6116
- Grenier, K., Kao, J., & Diamandis, P. (2019). Three-dimensional modeling of human neurodegeneration: brain organoids coming of age. *Mol Psychiatry*. doi: 10.1038/s41380-019-0500-7
- Jorfi, M., D'Avanzo, C., Kim, D. Y., & Irimia, D. (2018). Three-Dimensional Models of the Human Brain Development and Diseases. *Adv Healthc Mater*, 7(1). doi: 10.1002/adhm.201700723
- Karzbrun, E., & Reiner, O. (2019). Brain Organoids-A Bottom-Up Approach for Studying Human Neurodevelopment. *Bioengineering (Basel)*, 6(1). doi: 10.3390/bioengineering6010009
- Lui, J. H., Hansen, D. V., & Kriegstein, A. R. (2011). Development and evolution of the human neocortex. *Cell*, 146(1), 18-36. doi: 10.1016/j.cell.2011.06.030
- Luo, C., Lancaster, M. A., Castanon, R., Nery, J. R., Knoblich, J. A., & Ecker, J. R. (2016). Cerebral Organoids Recapitulate Epigenomic Signatures of the Human Fetal Brain. *Cell Rep*, 17(12), 3369-3384. doi: 10.1016/j.celrep.2016.12.001
- Marbacher, S., Gruter, B., Schopf, S., Croci, D., Nevzati, E., D'Alonzo, D., Fandino, J. (2018). Systematic Review of In Vivo Animal Models of Subarachnoid Hemorrhage: Species, Standard Parameters, and Outcomes. *Transl Stroke Res*. doi: 10.1007/s12975-018-0657-4
- Mehta, G., Hsiao, A. Y., Ingram, M., Luker, G. D., & Takayama, S. (2012). Opportunities and challenges for use of tumor spheroids as models to test drug delivery and efficacy. *J Control Release*, 164(2), 192-204. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.04.045
- Nzou, G., Wicks, R. T., Wicks, E. E., Seale, S. A., Sane, C. H., Chen, A., Atala, A. J. (2018). Human Cortex Spheroid with a Functional

- Blood Brain Barrier for High-Throughput Neurotoxicity Screening and Disease Modeling. *Sci Rep*, 8(1), 7413. doi: 10.1038/s41598-018-25603-5
- Pamies, D., Barreras, P., Block, K., Makri, G., Kumar, A., Wiersma, D., Hogberg, H. T. (2017). A human brain microphysiological system derived from induced pluripotent stem cells to study neurological diseases and toxicity. *ALTEX*, 34(3), 362-376. doi: 10.14573/altex.1609122
- Pham, M. T., Pollock, K. M., Rose, M. D., Cary, W. A., Stewart, H. R., Zhou, P., Waldau, B. (2018). Generation of human vascularized brain organoids. *Neuroreport*, 29(7), 588-593. doi: 10.1097/WNR.0000000000001014
- Poli, D., Magliaro, C., & Ahluwalia, A. (2019). Experimental and Computational Methods for the Study of Cerebral Organoids: A Review. *Front Neurosci*, 13, 162. doi: 10.3389/fnins.2019.00162
- Poli, D., Wheeler, B. C., DeMarse, T. B., & Brewer, G. J. (2018). Pattern separation and completion of distinct axonal inputs transmitted via micro-tunnels between co-cultured hippocampal dentate, CA3, CA1 and entorhinal cortex networks. *J Neural Eng*, 15(4), 046009. doi: 10.1088/1741-2552/aabc20
- Premack, D. (2007). Human and animal cognition: continuity and discontinuity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(35), 13861-13867. doi: 10.1073/pnas.0706147104
- Sloan, S. A., Darmanis, S., Huber, N., Khan, T. A., Birey, F., Caneda, C., Pasca, S. P. (2017). Human Astrocyte Maturation Captured in 3D Cerebral Cortical Spheroids Derived from Pluripotent Stem Cells. *Neuron*, 95(4), 779-790 e776. doi: 10.1016/j.neuron.2017.07.035
- Sosa-Hernandez, J. E., Villalba-Rodriguez, A. M., Romero-Castillo, K. D., Aguilar-Aguila-Isaias, M. A., Garcia-Reyes, I. E., Hernandez-Antonio, A., Iqbal, H. M. N. (2018). Organs-on-a-Chip Module: A Review from the Development and Applications Perspective. *Micromachines (Basel)*, 9(10). doi: 10.3390/mi9100536
- Tropepe, V., Hitoshi, S., Sirard, C., Mak, T. W., Rossant, J., & van der Kooy, D. (2001). Direct neural fate specification from embryonic stem cells: a primitive mammalian neural stem cell stage acquired through a default mechanism. *Neuron*, 30(1), 65-78. doi: 10.1016/s0896-6273(01)00263-x
- Tsilidis, K. K., Panagiotou, O. A., Sena, E. S., Aretouli, E., Evangelou, E., Howells, D. W., Ioannidis, J. P. (2013). Evaluation of excess significance bias in animal studies of neurological diseases. *PLoS Biol*, 11(7), e1001609. doi: 10.1371/journal.pbio.1001609
- van der Helm, M. W., van der Meer, A. D., Eijkel, J. C., van den Berg, A., & Segerink, L. I. (2016). Microfluidic organ-on-chip

- technology for blood-brain barrier research. *Tissue Barriers*, 4(1), e1142493. doi: 10.1080/21688370.2016.1142493
- Vogel, G. (2013). Neurodevelopment. Lab dishes up mini-brains. *Science*, 341(6149), 946-947. doi: 10.1126/science.341.6149.946
- Yan, Y., Song, L., Madinya, J., Ma, T., & Li, Y. (2018). Derivation of Cortical Spheroids from Human Induced Pluripotent Stem Cells in a Suspension Bioreactor. *Tissue Eng Part A*, 24(5-6), 418-431. doi: 10.1089/ten.TEA.2016.0400
- Yu, F., Hunziker, W., & Choudhury, D. (2019). Engineering Microfluidic Organoid-on-a-Chip Platforms. *Micromachines (Basel)*, 10(3). doi: 10.3390/mi10030165

# EVALUATION OF A NOVEL ANTIBACTERIAL WOUND DRESSING BASED ON BACTERIAL CELLULOSE CONTAINING $\gamma$ -PGA/CHITOSAN COMPLEX

Gizem ARGUNŞAH<sup>1</sup> & Aytül GÜL<sup>1</sup> & Elif Esin HAMEŞ-TUNA<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Bioengineering, Bornova/Izmir, Turkey

<sup>2</sup>Ege University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Bornova/Izmir, Turkey

[aytul.gul.89@gmail.com](mailto:aytul.gul.89@gmail.com); [\\*esin.hames@ege.edu.tr](mailto:*esin.hames@ege.edu.tr)

**Abstract:** External injury or different diseases such as peripheral vascular disease, obesity, hypertension, malignancies and diabetes can cause skin wounds. It is susceptible to external biological attack that promoting infection, so it is important to form a controlled environment using of suitable barrier such as wound dressings. The aim of the study is to develop an antibacterial wound dressing using bacterial cellulose (BC) membrane and  $\gamma$ -polyglutamic acid ( $\gamma$ -PGA)/chitosan polyelectrolyte complex.  $\gamma$ -PGA/chitosan complex were prepared according to the molar ratios of the  $\gamma$ -PGA carboxylic acid groups/chitosan amine groups (75/25, 50/50, 25/75). The produced  $\gamma$ -PGA/chitosan complex was placed in *Gluconacetobacter xylinus* NRRL-B759 production medium and embedded in the produced BC *in situ*. The physicochemical characterization of the obtain BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite was performed using spectroscopic and microscopic techniques. BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite exhibited a high degree of swelling and possessed powerful antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The cytotoxicity of BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite was evaluated on L929 mouse skin fibroblasts using the MTT method. BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan have satisfactory cell biocompatibility and can promotes wound healing. These results indicate that the BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite is a promising biocompatible and antibacterial wound dressings material.

**Keywords:**  $\gamma$ -Polyglutamic acid; Chitosan; Bacterial cellulose; Antibacterial wound dressing; Biocompatible

## 1. Introduction

The skin is an important barrier that protects internal organs from the external environment and prevents dehydration of the body by keeping body fluids, electrolytes and nutrient components at a certain level (Huang et al., 2013; Xu et al., 2015). If the skin loses its protective mechanism, microorganisms can easily invade the skin and form colonies that cause serious wound infections. This invasion that prevents the healing process,

can also cause life-threatening complications (Fan et al., 2016). Therefore, new wound dressing materials are being investigated to protect damaged skin from infections and dehydration. When the wounds are large and deep, the repair process is prolonged and the wound dressing plays an important role in accelerating wound healing in such cases (Xu et al., 2015).

An ideal wound dressing material should have following properties: *i.* non-toxic, *ii.* non-allergic, *iii.* providing high moisture content to the wound surface, *iv.* absorbing excess exudate, *v.* being removed without causing damage when the healing is completed, *vi.* protecting the wound from physical damages, *vii.* acting as a barrier for microorganisms, *viii.* providing gas exchange and *ix.* a long shelf life (Jones et al., 2006; Jayakumar et al., 2011; Tsao et al., 2011).

Bacterial cellulose (BC) is a natural polymer that has been frequently studied recently in wound dressing applications because of showing excellent biological properties (biocompatible and non-allergic) and unique structure properties (gas permeability and porosity), good physical/mechanical properties (high mechanical strength, elasticity, transparency, good water uptake capacity) (Lin et al., 2013; Volova et al., 2019). Nonetheless, the most important factor limiting the use of BC as a wound dressing material in infectious wounds care is the lack of antimicrobial activity. Therefore, BC can be combined with different materials having antimicrobial activity, such as alginate, chitosan and copper sulfate to develop a bioactive wound dressing (Wichai et al., 2019). Chitosan is a highly preferred natural polymer in wound dressing applications due to its antimicrobial activity and good hemostatic property, especially its ability to adhere to the cell, its stimulating effect on cells such as macrophages and neutrophils that have important roles in wound healing process (Ishihara et al., 2001). Nevertheless, the water absorption and permeability capacity of the chitosan needs to be improved. In many studies, gamma polyglutamic acid ( $\gamma$ -PGA)/chitosan complexes having both high water retention and antibacterial properties were formed by incorporating  $\gamma$ -PGA into chitosan (Wang et al., 2009; Tsao et al., 2011). The aim of the study was to develop an antibacterial and nontoxic wound dressing with high water uptake capacity using bacterial cellulose (BC) membrane and  $\gamma$ -polyglutamic acid ( $\gamma$ -PGA)/chitosan complex.

## **2. Experimental**

### **2.1. Materials**

*Bacillus licheniformis* (ATCC<sup>®</sup> 9945a), *Staphylococcus aureus* (ATCC<sup>®</sup> 6538), *Escherichia coli* (ATCC<sup>®</sup> 10538) and *Gluconacetobacter xylinus* NRRL-B759 (ATCC<sup>®</sup> 10245) are purchased from American Type Culture Collection (ATCC). L929 (mouse skin fibroblasts) were obtained from the Ege University Department of Bioengineering, Animal Cell Engineering



and Bioprocess Laboratory, İzmir, Turkey. Used materials included L-glutamic acid (Merck, 1002910250), citric acid (Merck, 1370031000), glycerol (Merck, 1040942500),  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Merck, 1011451000),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (Merck, 1051041000),  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Merck, 1058860500),  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Sigma Aldrich, 16211236),  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Sigma Aldrich, 24844),  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Merck, 1059990500),  $\text{NaOH}$  (Merck, 1064621000), methanol (Merck, 1133512500), chitosan (Sigma Aldrich, 448877), glucose (Merck, 1083421000), yeast extract (Merck, 1037530500), peptone (Lab M, MC024), disodium hydrogen phosphate (Merck, 1065851000), Eagle Minimum Essential Medium (MEM) (Sigma, M4655), fetal bovine serum (FBS) (Merck, S0115), L-glutamine (Biochrom, K0283), penicillin-streptomycin solution (Biosera, XC-A4122), MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-tetrazolium bromide, Sigma, M5655), dimethyl sulfoxide (DMSO) (Sigma, D2650).

## **2.2. Production of $\gamma$ -PGA, $\gamma$ -PGA/Chitosan complexes and BC/ $\gamma$ -PGA/Chitosan Composites**

$\gamma$ -PGA was produced from single colony of *Bacillus licheniformis* ATCC 9945a. A loopfull of highly mucoid colonies was taken and transferred to 50 ml flask containing 10 ml of Medium E (in  $\text{gl}^{-1}$ , 20 g of L-glutamic acid, 12 g of citric acid, 80 g of glycerol, 7 g of  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0.5 g of  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.5 g of  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0.15 g of  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.04 g of  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.01 g of  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) and incubated at  $37^\circ\text{C}$ , 150 rpm, for 24 hours. At the end of the incubation time, 500  $\mu\text{l}$  of the culture was inoculated into 50 ml Medium E in 250 ml flask and incubated at  $37^\circ\text{C}$ , 150 rpm for 96 hours (Birrer et al., 1994). Cell free fermentation medium was obtained after incubation by centrifugation at  $4^\circ\text{C}$ , 8000 rpm for 8 minutes and 4 times the volume of methanol was added to the supernatant and left overnight on the magnetic stirrer at low speed. Then the precipitate was collected by centrifugation at  $4^\circ\text{C}$ , 6000 rpm for 10 min. The pellet was dissolved in distilled water and the solution was dialyzed against distilled water at a volume of 11 times the final volume of the solution using a 6000-8000 MWCO membrane. Distilled water was changed every 12 hours and this process was repeated three times.

$\gamma$ -PGA/chitosan complexes were prepared according to the molar ratios of the  $\gamma$ -PGA carboxylic acid groups/chitosan amine groups (P75C25, P50C50 and P25C25) as described previously (Tsao et al., 2010). Briefly,  $\gamma$ -PGA was dissolved homogeneously in distilled water on a magnetic stirrer with continuous stirring and then chitosan was then added to the solution. After homogeneous distribution of chitosan in solution, 1% acetic acid solution was added to dissolve the chitosan. With the addition of acetic acid chitosan was dissolved suddenly and  $\gamma$ -PGA/chitosan complexes were formed. The complexes were filtered, immersed in 1 N  $\text{NaOH}$  solution for neutralize the pH, washed with distilled water and then lyophilized by

Christ 1.2 D Alpha Plus (EGE-MATAL Laboratories, Izmir, Turkey). The complexes were sterilized by autoclave at 15 min, 121°C.

$\gamma$ -PGA/chitosan complexes (0.2 g) were placed in BC production media Hestrin & Schramm (HS) medium containing, in  $\text{g l}^{-1}$ , 20 g of glucose, 5 g of yeast extract, 5 g of peptone, 2.7 g of sodium phosphate, and 1.15 g of citrate. The viscosity of the HS medium (50 ml) was increased by adding 0.2% agar to ensure homogenous distribution of the complexes. Under aseptic condition, 1 ml of 24 h activated culture of *Gluconacetobacter xylinus* NRRL-B759 was inoculated to 50 ml of HS medium. After incubation as static culture at 30°C for 48 hours, the 0.2 g complex was distributed homogeneously to the surface of the medium under aseptic conditions and it allowed to further incubate for 48 hours at 30°C. During the incubation period, the complex is embedded in the produced BC. BC-based composite materials containing  $\gamma$ -PGA/chitosan complexes, called BC/PGA/chitosan composites, were harvested and washed with distilled water followed by boiling in 0.1 M NaOH solution. In order to neutralize NaOH, the composites were immersed into 5% acetic acid solution for a few seconds before boiling in distilled water. The cellulose samples were boiled in distilled water until they became transparent. Then, samples were lyophilized by Christ 1.2 D Alpha Plus (EGE-MATAL Laboratories, Izmir, Turkey) and sterilized by autoclave at 15 min, 121°C.

### 2.3. Physicochemical characterization

Fourier transform infra-red (FTIR) analysis was performed using Perkin Elmer Spectrum Two (EGE-MATAL Laboratories, Izmir, Turkey) to examine chemical bond of the BC composite,  $\gamma$ -PGA/chitosan complex and BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite. To observe the micromorphology of the BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite, scanning electron microscopy (SEM) analysis was performed using Thermo Scientific Apreo S (EGE-MATAL Laboratories, Izmir, Turkey). Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analysis of samples was also performed using an SEM equipped with an EDS for elemental analysis. Prior to SEM observation, samples were coated with gold in an ion sputter.

### 2.4. *In vitro* swelling study

The dry weights ( $W_{\text{dry}}$ ) of the lyophilized BC and BC/P50C50 composites cut into 1  $\text{cm}^2$  were measured and then immersed in 0.05 M phosphate-buffered saline (pH 7.4), maintained 37°C until saturation. Excess water of saturated samples was impregnated into filter paper and weighed again to obtain the wet weight ( $W_{\text{wet}}$ ) (Wu et al., 2011; Lin et al., 2019). All measurements were performed repeated three times ( $n=3$ ) and mean values with standard deviation errors were reported. The swelling (%) values were calculated by the following formula (Lin et al., 2019):

$$\text{Swelling ratio (\%)} = [(W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}}) / W_{\text{dry}}] \times 100$$

## 2.5. Evaluation of antibacterial properties

The antimicrobial activity of BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite against *Escherichia coli* (ATCC 10538) and *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) was evaluated using the optical density method as described previously (Tsao et al., 2010). Briefly, *E. coli* and *S. aureus* cultured in Nutrient agar for 24 hours at 37°C and then were transferred to Nutrient Broth. Lyophilized 0.2 g of  $\gamma$ -PGA/chitosan complex were added to Nutrient Broth containing 10 ml of  $10^6$  CFU/ml microorganism. Test tubes were incubated at 37°C for 24 hours. After incubation, the absorbance of the culture broth was measured by spectrophotometer at 650 nm. The experiment was performed in triplicate and the standard deviations were calculated.

## 2.6. *In vitro* cytotoxicity

The cytotoxicity of P50C50 complex, BC and BC/P50C50 composites were determined using L929 cells by MTT methods. L929 cells were maintained in a growth medium (MEM with 10% FBS, 2 mM L-glutamine, and 0.1% penicillin-streptomycin) in an incubator at 37°C under 5% CO<sub>2</sub> and 99% relative humidity. For the cytotoxicity evaluation, L929 cells were seeded in 96-well tissue culture plates with an initial density of  $1 \times 10^4$  cells per well and incubated to reach 90% confluence of the well surface. The medium was replaced by extracted media. P50C50 complex, BC membrane and BC/P50C50 extracted media were prepared in accordance with ISO 10993-12: 2012. Briefly, P50C50 complex, BC and BC/P50C50 composites were extracted separately at 37°C for 72 h in growth medium without FBS at a 6 cm<sup>2</sup>/ml extraction ratio for BC and BC/P50C50 composites and a 20 mg/ml extraction ratio for P50C50 complex. DMSO was used as the positive control and the growth medium was used as the negative control. After 48 h, the extracted medium was replaced with assay medium (MEM with 0.5 mg/mL MTT reagent, 2 mM L-glutamine, and 0.1% penicillin-streptomycin) and plates were incubated at 37°C under 5% CO<sub>2</sub> and 99% relative humidity for 4 h in the dark. DMSO was added to each well for dissolving the formazan salts and the UV-vis absorbance of each well at 570 nm was analyzed using a spectrophotometric microplate reader (Versamax Tunable Microplate Reader, VWR, USA).

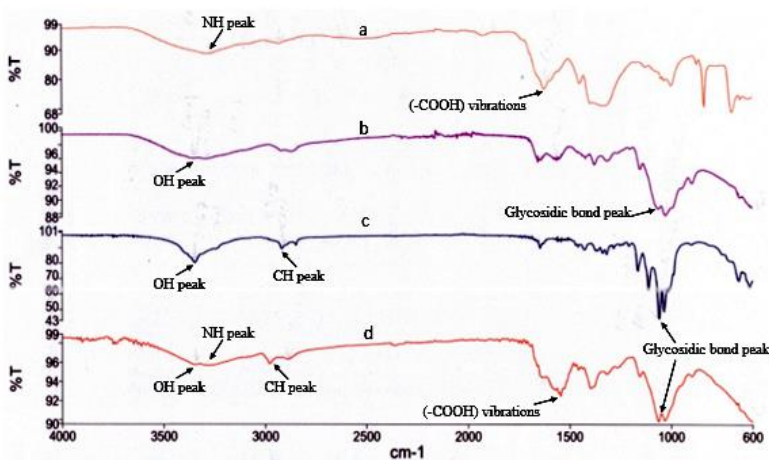
### 2.6.1. Statistical analysis

Three parallel samples to each parallel group were used in the cytotoxicity test and data are presented as mean  $\pm$  standard deviation. Statistical significance was determined by one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's test, through GraphPad Prism version 8.2.1 (GraphPad Software).  $P < 0.05$  was indicated statistically significant.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. FTIR analysis

The chemical composition of the BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite was revealed by the FTIR spectrum as shown in Fig. 1. In the spectrum range of 4000-600  $\text{cm}^{-1}$ , chitosan, BC and BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite, similar spectra with characteristic bond around 3347  $\text{cm}^{-1}$  and 1060  $\text{cm}^{-1}$ , that were attributed to OH peak and glycosidic bond peak, respectively. In the BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan and BC composite spectrum CH peak bond at 2890  $\text{cm}^{-1}$ . In addition, in BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite and  $\gamma$ -PGA show typical NH and carboxylic acid (-COOH) vibrations bands were observed at 3279  $\text{cm}^{-1}$  and 1543  $\text{cm}^{-1}$ , respectively. The results indicated that BC,  $\gamma$ -PGA and chitosan were presented in the BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite.



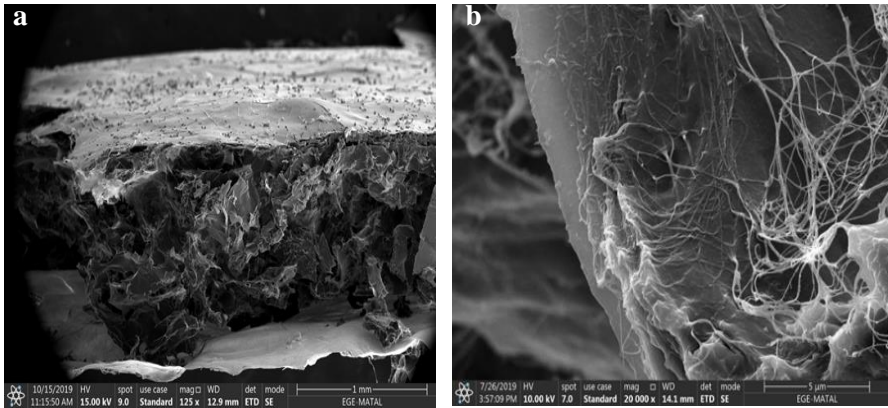
**Figure 1.** FT-IR spectra (a)  $\gamma$ -PGA, (b) chitosan, (c)  $\gamma$ -PGA/chitosan complex, and (d) BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite.

Similar band peaks for BC, chitosan and  $\gamma$ -PGA have been shown in previous studies (Brugnerotto et al., 2001; Lin et al., 2005; Lin et al., 2013).

#### 3.2. SEM-EDS analysis

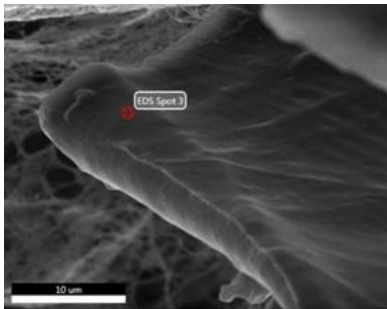
Micromorphological investigation of BC,  $\gamma$ -PGA and chitosan samples were observed by SEM. The BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite (P50C50) was positioned perpendicular to the surface and the image was taken. In Fig. 1a, it is observed at 125x magnification that the  $\gamma$ -PGA/chitosan (P50C50) complex is between two layers of BC. Fig. 2a shows that BC nanofibers are attached and spread to the surface of  $\gamma$ -PGA/chitosan complex at 20.000x magnification. Surrounding of  $\gamma$ -PGA/chitosan complex by BC

nanofibers indicates that the linkage between polymers has been established in the experiments.



**Figure 2.** The micromorphology of BC/P50C50 composite by SEM a) P50C50 complex is between two BC layers, b) BC nanofibers are seen surrounding the  $\gamma$ -PGA/chitosan complex.

EDS analysis was performed to identify BC and  $\gamma$ -PGA/chitosan (C50P50) complex. EDS spot and elemental analysis are given in Fig. 3.



Element	Weight %	Atomic %
C	47.24	54.66
N	17.79	17.65
O	29.03	25.22
Na	3.83	2.32
Au	2.11	0.15

**Figure 3.** EDS spot on BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite (C50P50) sample and its elemental analysis

According to the results, existence of nitrogen shows that the sample includes the poly amino acid  $\gamma$ -PGA and chitosan which has N-glucosamine and N-acetyl-glucosamine units (Hsieh et al., 2005). When EDS results are examined, it is seen that Na and Au elements are also present. This is thought to be due to the presence of NaOH in the washing process of BC and using of Au-Pd coating for the preparation of samples for SEM. In addition, Lopes et al. reported trace amounts presence of Na,

P, S and Cl in BC elemental analysis that probably resulting from the physiological media of BC (Lopes et al., 2011).

### 3.3. *In vitro* swelling results

The high degree of swelling ratio of wound dressings allows the exudate to be absorbed from the wound surface and it also provides a moist environment to the wound (Lu et al., 2016 and Li et al., 2019). The ability to hold adequate water uptake inside the composite structures is an important parameter to characterize the swelling properties of wound dressings (Jin et al., 2009). The swelling ratio (%) of BC and BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composites were  $290.66 \pm 17.61\%$  and  $168 \pm 5.66\%$ , respectively. According to the results, the pure BC had a higher water uptake value. The decrease in the ability of swelling degree may refer to the reduction of the amounts of BC pores due to the linkage with the  $\gamma$ -PGA/chitosan complexes. Similarly, the decrease in the swelling degree of BC/Ag/triethanolamine composite was reported as the reduced amount of BC pore due to silver nanoparticle and triethanolamine added to the structure (Barud et al., 2011).

### 3.4. Evaluation of antibacterial properties

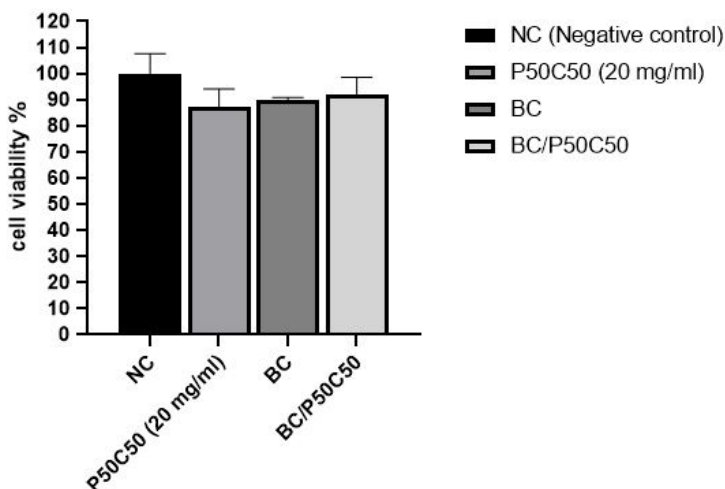
The antibacterial activities of BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composites were determined using *E. coli* and *S. aureus* because they are two pathogenic bacterial strains prevalent found in wounds (Lu et al., 2017). The BC/P50C50 composite showed similar antimicrobial activity with chitosan and has the highest antimicrobial activity among the BC/P75C25, BC/P50C50 and BC/P25C75 composites (Table 1).

**Table 1.** Antibacterial activity of BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composites against *E. coli* and *S. aureus*

Samples	O.D. value at 650 nm	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
Chitosan	$0.688 \pm 0.005$	$0.646 \pm 0.007$
BC/P25C75	$0.791 \pm 0.002$	$0.703 \pm 0.009$
BC/P50C50	$0.690 \pm 0.003$	$0.624 \pm 0.006$
BC/P75C25	$0.943 \pm 0.007$	$0.935 \pm 0.008$
Control	$1.132 \pm 0.008$	$1.122 \pm 0.004$

### 3.5. *In vitro* cytotoxicity results

The biocompatibility evaluation of wound dressings is an important and essential step for biomedical applications (Zhang et al., 2017). Although  $\gamma$ -PGA/chitosan complexes and BC are both biocompatible materials for various types of cells (Tsao et al., 2010; Keskin et al., 2017), BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite biocompatibility has not been previously reported. To assess the applicability of the P50C50 complex and BC, BC/P50C50 composite as a wound dressing material, their biocompatibility was tested by MTT using cultured L929 cells for 48 h. As shown in Fig. 4, the cell viability in the presence of BC/P50C50 was  $92\pm 6.33\%$  and no statistically significant difference was found between the BC/P50C50 composite and the materials used in its construction. These results indicate that the BC/P50C50 composite is non-cytotoxic and therefore suitable for use as a wound dressing.



**Figure 4.** L929 cell viability in the presence of P50C50 complex, BC and BC/P50C50 composite extracts for 48 h.

## 4. Conclusion

A novel antibacterial wound dressing based on bacterial cellulose containing  $\gamma$ -PGA/chitosan complex was successfully produced by *in situ* approach. The presence of BC,  $\gamma$ -PGA and chitosan in BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite was confirmed by FTIR spectroscopy and SEM-EDS analysis. BC/P50C50 with high swelling ratio helps absorbing exudate from wound. In addition, the BC/P50C50 composite exhibited satisfactory antibacterial

ability against and biocompatibility. As a result, BC/ $\gamma$ -PGA/chitosan composite is a promising wound dressing material in wound healing.

## 5. References

- Barud, H. S., Regiani, T., Marques, R. F. C., Lustri, W. R., Messaddeq, Y., & Ribeiro, S. J. L., 2011, Antimicrobial bacterial cellulose-silver nanoparticles composite membranes, *Journal of Nanomaterials*, 1–8 pp.
- Birrer, G. A., Cromwick, A.-M., & Gross, R. A., 1994,  $\gamma$ -Poly (glutamic acid) formation by *Bacillus licheniformis* 9945a: physiological and biochemical studies, *International Journal of Biological Macromolecules*, 16(5), 265–275 pp.
- Brugnerotto, J., Lizardi, J., Goycoolea, F. M., Arguelles-Monal, W., Desbrieres, J., & Rinaudo, M., 2001, An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization, *Polymer*, 42(8), 3569–3580 pp.
- Fan, L., Yang, H., Yang, J., Peng, M., & Hu, J., 2016, Preparation and characterization of chitosan/gelatin/PVA hydrogel for wound dressings, *Carbohydrate polymers*, 146, 427-434 pp.
- Hsieh, C. Y., Tsai, S. P., Wang, D. M., Chang, Y. N., & Hsieh, H. J., 2005, Preparation of  $\gamma$ -PGA/chitosan composite tissue engineering matrices, *Biomaterials*, 26(28), 5617-5623 pp.
- Huang, X., Zhang, Y., Zhang, X., Xu, L., Chen, X. and Wei, S., 2013, Influence of radiation crosslinked carboxymethyl-chitosan/gelatin hydrogel on cutaneous wound healing, *Materials Science and Engineering: C*, 33(8), 4816-4824 pp.
- Ishihara, M., Ono, K., Sato, M., Nakanishi, K., Saito, Y., Yura, H., ... & Kurita, A., 2001, Acceleration of wound contraction and healing with a photocrosslinkable chitosan hydrogel, *Wound repair and regeneration*, 9(6), 513-521 pp.
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Sudheesh Kumar, P.T., Nair, S.V., Tamura, H., 2011, Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications, *Biotechnology Advances* 29, 322–337 pp.
- Jin, R., Teixeira, L. M., Dijkstra, P. J., Karperien, M., Van Blitterswijk, C. A., Zhong, Z. Y., & Feijen, J., 2009, Injectable chitosan-based hydrogels for cartilage tissue engineering. *Biomaterials*, 30(13), 2544-2551 pp.



- Jones, V., Grey, J. E., & Harding, K. G., 2006, ABC of wound healing: wound dressings, *BMJ: British Medical Journal*, 332(7544), 777-780 pp.
- Keskin, Z., Urkmez, A. S., & Hames, E. E., 2017, Novel keratin modified bacterial cellulose nanocomposite production and characterization for skin tissue engineering, *Materials Science and Engineering: C*, 75, 1144-1153 pp.
- Lin, Y. H., Chung, C. K., Chen, C. T., Liang, H. F., Chen, S. C., & Sung, H. W., 2005, Preparation of nanoparticles composed of chitosan/poly-gamma-glutamic acid and evaluation of their permeability through Caco-2 cells, *Biomacromolecules*, 6(2), 1104–1112 pp.
- Lin, W. C., Lien, C. C., Yeh, H. J., Yu, C. M., & Hsu, S. H., 2013, Bacterial cellulose and bacterial cellulose–chitosan membranes for wound dressing applications. *Carbohydrate polymers*, 94(1), 603-611pp.
- Lin, Z., Wu, T., Wang, W., Li, B., Wang, M., Chen, L., ... & Zhang, T., 2019, Biofunctions of antimicrobial peptide-conjugated alginate/hyaluronic acid/collagen wound dressings promote wound healing of a mixed-bacteria-infected wound, *International journal of biological macromolecules*, 140, 330-342 pp.
- Lopes, J. L., Machado, J. M., Castanheira, L., Granja, P. L., Gama, F. M., Dourado, F., & Gomes, J. R., 2011, Friction and wear behaviour of bacterial cellulose against articular cartilage, *Wear*, 271(9-10), 2328–2333 pp.
- Lu, B., Wang, T., Li, Z., Dai, F., Lv, L., Tang, F., ... & Lan, G., 2016, Healing of skin wounds with a chitosan–gelatin sponge loaded with tannins and platelet-rich plasma, *International journal of biological macromolecules*, 82, 884-891 pp.
- Lu, B., Lu, F., Zou, Y., Liu, J., Rong, B., Li, Z., ... & Lan, G., 2017, In situ reduction of silver nanoparticles by chitosan-l-glutamic acid/hyaluronic acid: Enhancing antimicrobial and wound-healing activity. *Carbohydrate polymers*, 173, 556-565 pp.
- Tsao, C. T., Chang, C. H., Lin, Y. Y., Wu, M. F., Wang, J. L., Han, J. L., & Hsieh, K. H., 2010, Antibacterial activity and biocompatibility of a chitosan– $\gamma$ -poly (glutamic acid) polyelectrolyte complex hydrogel, *Carbohydrate research*, 345(12), 1774-1780 pp.
- Tsao, C.T., Chang, C.H., Lin, Y.Y., Wu, M.F., Wang, J.L., Young, T.H., Han, J.L., Hsieh, K.H., 2011, Evaluation of chitosan/ $\gamma$ -poly(glutamic acid) polyelectrolyte complex for wound dressing materials, *Carbohydrate Polymers*, 84, 812–819 pp.

- Volova, T. G., Shumilova, A. A., Nikolaeva, E. D., Kirichenko, A. K., & Shishatskaya, E. I., 2019, Biotechnological wound dressings based on bacterial cellulose and degradable copolymer P (3HB/4HB). *International journal of biological macromolecules*, 131, 230-240 pp.
- Wang, C.C., Su., C.H., Chen, J.P., Chen, C.C., 2009, An enhancement on healing effect of wound dressing: Acrylic acid grafted and gamma-polyglutamic acid/chitosan immobilized polypropylene non-woven, *Materials Science and Engineering C*, 29, 1715–1724 pp.
- Wichai, S., Chuysinuan, P., Chairwut, S., Ekabutr, P., & Supaphol, P., 2019, Development of bacterial cellulose/alginate/chitosan composites incorporating copper (II) sulfate as an antibacterial wound dressing. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 51, 662-671 pp.
- Wu, H. D., Yang, J. C., Tsai, T., Ji, D. Y., Chang, W. J., Chen, C. C., & Lee, S. Y., 2011. Development of a chitosan–polyglutamate based injectable polyelectrolyte complex scaffold, *Carbohydrate polymers*, 85(2), 318-324 pp.
- Xu, R., Luo, G., Xia, H., He, W., Zhao, J., Liu, B., ... & Yao, Z., 2015, Novel bilayer wound dressing composed of silicone rubber with particular micropores enhanced wound re-epithelialization and contraction, *Biomaterials*, 40, 1-11 pp.
- Zhang, W., Chen, L., Chen, J., Wang, L., Gui, X., Ran, J., ... & Qian, L., 2017, Silk fibroin biomaterial shows safe and effective wound healing in animal models and a randomized controlled clinical trial. *Advanced healthcare materials*, 6(10), 1700121.

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING / ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

# BURSA'DA İÇ VE DIŞ ORTAM HAVA ÖRNEKLERİNDE POLİAROMATİK HİDROKARBONLARIN (PAH'ların) BELİRLENMESİ

**Fatma ESEN\* & Mehmet Ferhat SARI\*\***

\* *Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, payan@uludag.edu.tr*

\*\* *Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
031250041@ogr.uludag.edu.tr*

**Özet:** Bu çalışmada, Bursa ilindeki beş farklı evin iç (oturma odası ve mutfak) ve dış ortam havasından alınan örneklerde polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH'ların) konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Örneklemeye kapı ve pencerelerin açık olduğu yaz dönemi ve havaların soğumaya başladığı sonbahar ve kış dönemini yansıtmaya bakımından 2014 yılı Temmuz ve 2015 yılı Ocak ayları arasında gerçekleştirilmiştir. PAH konsantrasyonları pasif hava örnekleme yöntemleri kullanılarak toplanmıştır. Yaz dönemi için ortalama PAH konsantrasyonu oturma odası ve mutfakta sırasıyla  $25\pm 21$  ve  $39\pm 46$  ng/m<sup>3</sup> olarak belirlenirken, sonbahar döneminde  $22\pm 19$  ng/m<sup>3</sup>,  $24\pm 6$  ng/m<sup>3</sup>, kış döneminde de  $27\pm 17$  ng/m<sup>3</sup>,  $32\pm 30$  ng/m<sup>3</sup> değerlerini almıştır. İç ortam hava örneklemesine göre dış ortam hava örneklemesinde havaların soğuması ile konsantrasyon değerlerinde bariz bir artış gözlemlenmiş olup yaz, sonbahar ve kış döneminde sırasıyla  $8\pm 3$  ng/m<sup>3</sup>,  $20\pm 11$  ng/m<sup>3</sup> ve  $228\pm 46$  ng/m<sup>3</sup> değerlerini almıştır. Tüm örnekleme noktalarında yaz ve sonbahar mevsimlerinde kirletici kaynak iç ortam olarak hesaplanırken; kış mevsiminde ise ısınma amaçlı yakmanın başlaması ile birlikte kirletici kaynak tüm PAH türleri için dış ortam olarak hesaplanmıştır. Moleküler tanı oranlarına göre PAH'ların asıl kaynaklarının kömür ile biyokütle yakılması olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İç ortam, dış ortam, PAH'lar, tanı oranları, Bursa

## Giriş

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) genellikle iki yada daha fazla benzen halkasından oluşan yüzlerce farklı birleşime verilen ortak bir addır. Bazı PAH bileşikler petrol ve kömür gibi fosil yakıtların eksik yanması, volkanik faaliyetler ve orman yangınlarının meydana gelmesi ile de atmosfere verilirler (Esen, Tasdemir, & Vardar, 2008). PAH'lar çevre için önemli kirletici gruplar arasında yer almaktadır. Ayrıca kararlı, hidrofobik ve çevrede kalıcı kimyasal olan PAH'ların kanserojen ve mutajenik olduğu da belirtilmiş olup bazı türlerinin karsinojenik ve mutajenik etkileri ispatlanmıştır. PAH'lar atmosferde uzun mesafelere taşınabildiği ve uzak bölgelerde biriktiği için çevrede yaygın olarak bulunurlar. Hayvan ve bitki dokularında, sedimentte, toprakta, havada, yüzey sularında, içme sularında, endüstriyel sularda ve yer altı sularında bulunan PAH'lar

çevreye geniş çapta yayılmıştır ve canlılar bu PAH'lara maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle, atmosferdeki PAH konsantrasyonlarını ve kaynaklarını anlamak, hava kalitesini arttırmak ve insanların bu zehirli kirleticilere maruz kalmasını azaltmak için kritik öneme sahiptir.

İç ve dış ortam hava kirliliği, dünya çapında özellikle gelişmekte olan ülkelerin karşılaştığı en büyük sağlık sorunlarının başında gelmektedir (Ielpo ve ark. 2019). Günümüzde, dünya nüfusunun yaklaşık %92'si Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen hava kirliliği sınır değerlerinin üstünde olduğu bölgelerde yaşamaktadır (Rai ve ark. 2017). Ayrıca yine DSÖ verilerine göre, iç ortam hava kirliliği her yıl 4,3 milyon kişinin (Mokalled ve ark. 2018), dış ortam hava kirliliğinin ise her yıl dünya çapında her sekiz kişiden birinin ölümüne neden olduğu belirtilmiştir (Andrade & Dominski, 2018). İnsanlar zamanlarının %90'undan fazlasını ev, okul, hastane ve işyeri gibi iç ortamlarda geçirmektedir (Amoatey, Omidvarborna, Baawain, & Al-Mamun, 2018; Mercier, Gilles, Saramito, Glorennec, & Le Bot, 2014). Ayrıca boyalar, halı ve tavan döşemeleri, çeşitli inşaat malzemeleri, solventler ve temizlik malzemeleri gibi temel tüketici ürünleri ile sigara, ulaşım ve yanma kaynaklı emisyonlar; iç ortam havasındaki yarı uçucu organik bileşiklerin (YUOB'lerin) başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır (Xu ve ark. 2016). Dış ortam hava kirliliği, sayısız doğal ve antropojenik kaynakların neden olduğu kirleticilerin karışımı olarak tanımlanmaktadır (Mattock ve ark. 2013). İç ortam hava kirliliği genellikle dış ortam havasından kaynaklanmakta ve dış ortamdaki hava kirliliğinin yüksek olduğu şehirlerde, iç ortam hava kirliliğinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir (Amoatey ve ark. 2018).

PAH kaynakların belirlenmesi; PAH'ların genel kirlenmeye katkısını anlamak kritik bir yaklaşım stratejisidir (Yadav, Soni, Soni, Singh, & Bamniya, 2019). PAH'ların kaynaklarını anlamak ve değerlendirmek, çevredeki PAH'ların atmosferik taşınımalarının belirlenmesinde önemli araçlardan biridir (Wu ve ark. 2019). Literatürde genel olarak PAH kaynaklarının tanımlanmasında nicel ve nitel yöntemler olmak üzere iki ana yaklaşım stratejisi kullanılmaktadır (Bixiong, Zhihuan, & Ting, 2006). Nitel yaklaşım stratejileri genellikle PAH'ların kimyasal özelliklerine, halka dağılımına ve/veya moleküler tanı oranlarına (MTO) dayanmaktadır. Nicel yaklaşım stratejileri ise matematiksel istatistik yöntemlerine dayanmaktadır (Bixiong ve ark. 2006). Bu çalışmanın amacı, pasif hava örnekleyici kullanarak Bursa'da 5 farklı evin iç ortamı ile dış ortamından alınan örnekler yardımıyla PAH konsantrasyonlarının dağılımları ile muhtemel kaynakların etkilerinin belirlenmesidir.

## Materyal ve metot

### Örnekleyiciler ve Örnekleme noktaları

Bursa ili sınırları içerisinde yer alan toplam 5 adet evin iç ve dış ortamlarından alınan hava örnekleriyle gerçekleştirilen bu çalışma, 2014 Temmuz - 2015 Ocak ayları arasında kapsamaktadır. İç ve dış ortam hava örnekleri örnekleme materyali olarak poli ürethan köpüğün (PÜK) kullanıldığı iç ortam ve dış ortam için olan pasif örnekleyiciler ile toplanmıştır (Şekil 1). Dış ortam ve iç ortamda kullanılan pasif hava örnekleyicilerin çalışma prensipleri genel olarak aynıdır. Ancak dış ortam hava örnekleyicileri dış etkenlerden korunmak amacıyla iç ortam örnekleyicilerinden farklı dizayn edilmiştir. Pasif hava örnekleyicileri, örneklenecek ortama belirli bir süre için yerleştirilir ve örnekleme ortamındaki kirleticiler ile pasif örnekleyicideki örnekleme materyalinin denge konumuna ulaşması için beklenilir. Çalışmada örnekleme periyodu olarak yaklaşık 45 gün seçilmiştir.



Şekil 1. Dış ve iç ortam pasif hava örnekleyicisi

Ayrıca örnekleme noktalarının, tüm ili temsil etmesi amacıyla farklı lokasyonlarda ve özelliklerde yer almasına dikkat edilmiştir. Evlerin seçilmesinde; anayola uzaklık ve yakınlık durumları, evde sigara kullanımı, ısınma türü, sanayi bölgelerine olan uzaklıklar ve trafik kaynakları gibi kriterler dikkate alınmıştır. Örnekleme noktalarının yerleri ve bazı özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Örnekleme noktalarına ait bilgiler

Örnekleme Türü	Örnekleme Noktası	Semt/Kat/Yerleşim Özelliği	Yola Uzaklık	Isınma-mutfak için kullanılan yakıt türü	Özel Durumlar
Oturma Odası, Mutfak ve Dış ortam	1	Mudanya/3/Şehir	Ana yol üzerinde	Doğal gaz-Doğal gaz	Salon ve mutfak bir arada
	2	Osmangazi/3/Şehir	Ana yol üzerinde	Doğal gaz-Doğal gaz	İç ortamda sigara kullanımı
	3	Altınşehir/1/Şehir	Arayol ve trafikten uzak	Doğal gaz-Doğal gaz	Mutfakta sigara kullanımı
	4	Karaman/4/Şehir	Ana yoldan 100 m uzaklıkta ve ara yol üzerinde	Doğal gaz-Doğal gaz	Mutfakta yemek pişirilmiyor
	5	Dereköy (Mudanya)	Anayol ve trafikten uzak	Soba	-

### Örneklerin hazırlanması ve analizi

Pasif hava örnekleyicisinde kullanılacak olan poliüretan köpük (PÜK) diskler, sırasıyla 1 gün saf su, 2 gün aseton ve ardından 1 gün aseton/hekzan (ACE/HEX) (1/1) karışımı ile soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile temizlenmiştir. Temizleme işlemini takiben, PÜK diskler vakumlu desikatöre yerleştirilerek tamamen kuruması sağlanmıştır. PÜK disk alüminyum folyolara sarılarak kilitli buzdolabı poşetlerine konulmuş, örnekleme noktalarına götürülene dek derin dondurucuda muhafaza edilmiştir. Örneklemeye gidilmeden önce PÜK diskler derin dondurucudan çıkarılıp örnekleme bölgesine götürülüp pasif hava örnekleyiciye yerleştirilmiştir. Örnekleme süresi sonunda PÜK diskler örneklemeye getirildiği şekilde analizleri için laboratuvar ortamına getirilmiştir.

Hava örneklerinin analitik verimlerini belirlemek amacıyla ekstraksiyondan önce 4000 ng/mL konsantrasyon değerinde verim standardı (naphthalene-d8, acenaphthened10, phenanthrene-d10, chrysene-d12 ve perylene-d12) eklenmiştir (Vardar, Tasdemir, Odabasi, & Noll, 2004). Örnekler yaklaşık 300 mL ACE/HEX (1/1) karışımı ile 24 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonunda her örneğin hacmi döner buharlaştırıcıda (Laborota 4001 Model, Heidolph, Almanya) 30 rpm ve 23-25 °C'de 5 mL'ye

indirilmiş ve üzerine 10 mL HEX ilave edilmiştir. Ardından örnek hacmi tekrar 2 mL'ye indirilmiştir. Örnekler silisik asit ve alümina içeren kolonlar ile fraksiyonlarına ayrılmıştır. Fraksiyonlarına ayrılan PAH örnekleri döner buharlaştırıcı yardımı ile hacimleri önce 5 mL'ye indirilip üzerine 15 mL HEX ilave edilmiş ve bu işlem 3 kez tekrar edildikten sonra örnek hacmi 1 mL'ye indirilip GC-MS'de kütle değerlerinin belirlenmesi amacıyla -20°C'de derin dondurucuda saklanmıştır.

### **Enstrümantal analiz**

PAH'ların analizi, Agilent 7890A model gaz kromatograf (GC) ve buna bağlı Agilent 5975C inert XL üç eksenli kütle detektörüne sahip kütle spektrofotometresi (MS) ile gerçekleştirilmiştir. GC-MS'de kapiler kolon (HP 5-MS, 30 m × 320 µm × 0,25 µm) kullanılmıştır. GC'de uygulanan PAH ayırma metodu sırayla şu şekildedir: Başlangıç sıcaklığı 50 °C (1 dk), 200 °C'ye 25 °C/dk olmak üzere yükseliş, 300 °C'ye 8 °C/dk olmak üzere yükseliş 5,5 dk bekleme, 310 °C'ye 5 °C/dk olmak üzere yükseliş 3 dk bekleme ve bitişir. Analizlerde hedeflenen PAH türleri 10 adet olup bunlar; Phenanthrene (PHE), Anthracene (ANT), Fluoranthene (FL), Pyrene (PY), benz(a)anthracene (BaA), Chrysene (CHR), Benzo(b)fluoranthene (BbF), Benzo(k)fluoranthene (BkF), Benzo(a)pyrene (BaP) ve Benzo(g,h,i)perylene (BghiP)'dir.

### **Kalite güvenilirliği/kalite kontrolü**

Tüm örneklerin analitik verimlerini belirlemek amacıyla verim (naphthalene-d8, acenaphthened10, phenanthrene-d10, chrysene-d12 ve perylene-d12) standardı ilave edilmiştir. Ayrıca GC-MS cihazını kalibre etmek için de altı seviyeli kalibrasyon standartları kullanılmıştır. Tüm seviyeler için  $r^2$  değeri >0,99 olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık olarak her yüz örnekte bir kalibrasyon tekrarlanmıştır. Geri kazanım verimleri %50 ila %120 arasında olan örnekler hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Ayrıca örneklerin taşınması, saklanması ve hazırlanması sırasında oluşabilecek olası kirlenmelerin belirlenmesi amacıyla örnek sayısının en az %10'u kadar şahit numuneler alınmıştır. Konsantrasyon değerlerinde olası kirlenmelerin oluşturacağı olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla örnek değerlerinden şahit ortalaması çıkartılarak şahit düzeltmesi uygulanmıştır. Şahit numuneler kullanılarak elde edilen limit of detection (LOD) değerleri hesaplamalara katılmıştır. Burada LOD, şahit örneklerin kütlelerinin ortalama değerlerine, standart sapmalarının 3 katının eklenmesi (ortalama+3.S.S) ile bulunmaktadır. LOD'den küçük olan değerler hesaplamaya dahil edilmemiştir (Esen & Kayıkçı, 2018). Dış ortam pasif örnekleyci ile toplanan numunelere ait konsantrasyon değerleri hesaplanırken hava hacmi günlük 3,5 m<sup>3</sup>, iç ortam pasif

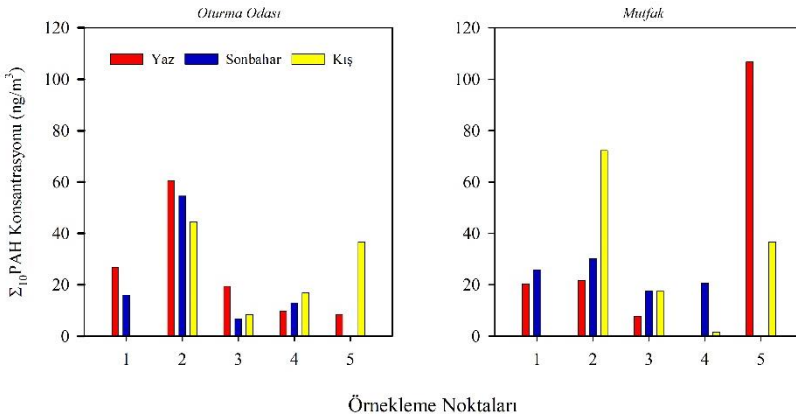


örnekleyicilerle örneklenen hava hacmi miktarı ise günlük 2,5 m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Esen & Kayıççı, 2018).

## Sonuçlar

### İç Ortam PAH Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

İç ortam PAH konsantrasyonları 5 farklı ev ortamında oturulan oda ve mutfakta ölçülmüştür. Sonuçlar  $\Sigma_{10}$ PAH konsantrasyonları olarak verilmiştir.  $\Sigma_{10}$ PAH konsantrasyonları ölçülen 10 PAH bileşiğinin toplamını ifade etmektedir. Evlerin iç ortamlarında ölçülen PAH konsantrasyonları evlerin konumları (ana yola ve tali yollara yakınlık) ve evlerin özelliklerine (sigara içilip içilmemesi, evin büyüklüğü, evde yaşayanların sayısı, yapının özelliği, mutfakta yapılan işlemler ve ocakta kullanılan yakıt türü vb.) bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca bazı örnekleme bölgelerinde ölçülen PAH'ların kütle değerleri LOD değerlerinden düşük olduğu için hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu sebepten dolayı bazı örnekleme bölgelerinde konsantrasyon değerleri hesaplanamamıştır. Oturma odalarında ortalama toplam PAH konsantrasyonları yaz mevsiminde 25±21 ng/m<sup>3</sup> (8-61 ng/m<sup>3</sup>), sonbahar mevsiminde 22±19 ng/m<sup>3</sup> (4-55 ng/m<sup>3</sup>), kış mevsiminde de 27±17 ng/m<sup>3</sup> (8-44 ng/m<sup>3</sup>) değerlerine ulaşmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Oturma odası ve mutfakta ölçülen PAH konsantrasyon değerleri

Tüm evler göz önüne alındığında üç mevsime ait ortalama konsantrasyon değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, evler tek başına incelendiğinde durumun böyle olmadığı görülmektedir (Şekil 2). Bazı evlerde yaz mevsiminden kış mevsimine doğru konsantrasyon değerleri artarken bazılarında tam tersi olmuştur. Yaz mevsiminden kış mevsimine doğru konsantrasyonların artması evlerin yaz mevsiminde tatil sebebi ile 3-30 gün arasında kapalı olması, sigara içilen evlerin havaların soğuması ile

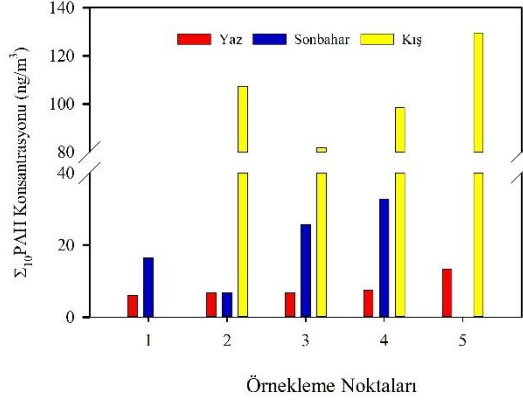
fazla havalandırılmaması, evlerin ana yola yakınlığı ve kış mevsiminde dış ortamdaki kirliliğin pencere, kapı, vb. aracılığı ile içeriye girmesiyle açıklanmaktadır. Ayrıca sonbahar ve kış mevsiminde konsantrasyonun yaz mevsimine göre yüksek olması havaların soğuması ve buna bağlı olarak evsel ısınmanın başlamasıyla açıklanmaktadır (Zhu ve ark. 2015). Havaların soğuması ile PAH'ların buhar fazdan partikül faza geçmesi artmakta ve fotokimyasal bozunması azalmaktadır (Duan, Bi, Tan, Sheng, & Fu, 2007). Ayrıca en yüksek PAH konsantrasyonları (1. ve 2. örnekleme noktaları) ana yol üzerinde bulunan örnekleme noktalarında ölçülmüştür. Bu noktalar yüksek araç emisyonları, yoğun trafik yükleri ve özellikle çok sık vites değiştirme olaylarının gerçekleştiği anayol üzerinde bulunuyor olmasına bağlanabilir.

Oturma odasında yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde en yüksek PAH konsantrasyonu sırasıyla  $61 \text{ ng/m}^3$ ,  $55$  ve  $44 \text{ ng/m}^3$  değerleri ile aynı evde (2. örnekleme noktası) tespit edilmiştir. Konsantrasyonun diğer evlere göre tüm mevsimlerde yüksek çıkmasının sebebinin evin yol üzerinde olması ve mutfağında sigara içiliyor olmasına bağlanabilir. Evlerin oturma odalarının yanı sıra mutfaklarında da PAH ölçümleri yapılmıştır. Ortalama  $\Sigma_{10}$ PAH konsantrasyonları yaz mevsiminde  $39 \pm 46 \text{ ng/m}^3$ , sonbahar mevsiminde  $24 \pm 6 \text{ ng/m}^3$  ve kış mevsiminde de  $32 \pm 30 \text{ ng/m}^3$  değerleri elde edilmiştir.

Evler tek başına ele alındığında genellikle yaz mevsiminden kış mevsimine doğru PAH konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. Yaz mevsiminde 5. Örnekleme noktasının mutfağında ölçülen yüksek PAH konsantrasyonlarının yemek pişirilmesi için soba kullanımının; kış mevsiminde ise 4. Örnekleme noktasının mutfağında ölçülen düşük PAH konsantrasyonlarının ise yemek pişirilmemesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

### **Dış Ortam PAH Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi**

Evlerin oturma odası ve mutfaklarındaki iç ortam hava örneklemesine paralel olarak 5 tane evin dış ortamından da dış ortam hava örnekleme yapılmıştır. Dış ortam ortalama  $\Sigma_{10}$ PAH konsantrasyonları yaz mevsiminde  $8 \pm 3 \text{ ng/m}^3$ , sonbahar mevsiminde  $20 \pm 11 \text{ ng/m}^3$  ve kış mevsiminde  $228 \pm 46 \text{ ng/m}^3$  değerlerini almıştır (Şekil 3).



**Şekil 3.** Dış ortam havasında ölçülen PAH konsantrasyon değerleri

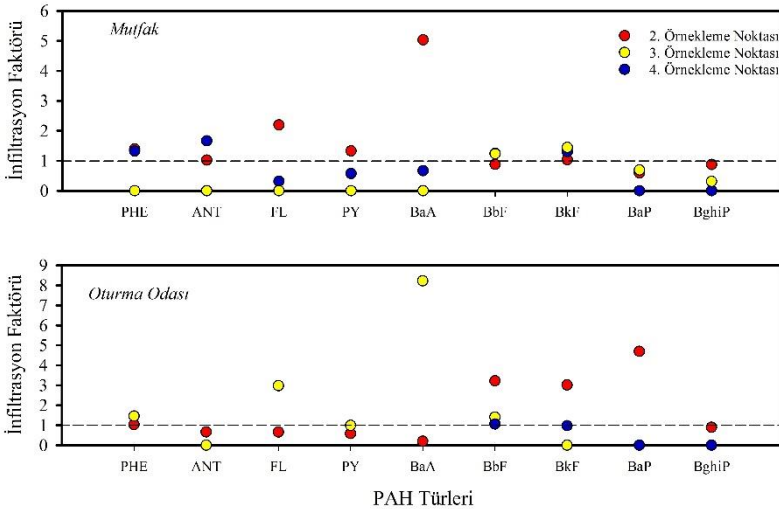
PAH'lar için alınan dış ortam hava örneklerinden 1. ve 5. örneklem noktalarına ait bazı mevsimsel PAH değerleri belirleme limitinin altında kaldığından hesaplamalara dahil edilmemiştir. Kış mevsiminde havaların soğuması ile birlikte ısınma amaçlı yanmanın başlaması ve atmosferik reaksiyonların yavaşlaması PAH konsantrasyonlarında artışa sebep olmuştur (Esen ve ark. 2008). 2004-2005 yıllarında yapılan dış ortam örnekleme gaz+partikül fazı içeren toplam PAH konsantrasyonları evsel yerleşimin olduğu Gülbağçe semtinde ısınmanın olduğu sezon 1249 ng/m<sup>3</sup>, ısınmanın olmadığı sezonda da 153 ng/m<sup>3</sup> değerleri elde edilmiştir (Esen ve ark. 2008). Aynı örnekleme döneminde yine gaz+partikül fazı içeren PAH konsantrasyonları sanayi bölgesinde yaz mevsiminde 55 ng/m<sup>3</sup>, sonbahar mevsiminde de 187 ng/m<sup>3</sup> değerleri tespit edilmiştir (Esen, Cindoruk, & Taşdemir, 2006). Taşdemir ve Esen tarafından (2007) trafik ağırlıklı bir bölgede yapılan çalışmada da 456 ng/m<sup>3</sup> PAH değeri ölçülmüştür (Tasdemir & Esen, 2007). Bu çalışmadan elde edilen değerlerin on yıl önce yapılan çalışmaya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebepleri 10 yıl önce yapılan örneklemin aktif örnekleme ile yapılması (aktif örneklemede daha yüksek değerlerin elde edilmesi), bu çalışmada sadece gaz faz rapor edilirken, önceki çalışmada gaz+partikül fazın rapor edilmesinin etkili olduğu düşünülmüştür. Örnekleme bölgelerine ait PAH konsantrasyon seviyelerine bakıldığında; en yüksek konsantrasyon seviyeleri kış mevsiminde 5. örneklem bölgesinde görülmüştür. Bu durum, örnekleme bölgesinin kırsal bir alanı temsil etmesi ve özellikle sonbahar ve kış mevsiminde ısınma amaçlı soba kullanımının yaygın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde 3. örneklem noktasında yaz ve kış mevsimlerinde hesaplanan düşük PAH konsantrasyonlarının asıl nedeninin örnekleme bölgesinin anayol ve trafikten uzak olmasına bağlanabilir.

## İç Ortam Ve Dış Ortam PAH Konsantrasyonları Arasındaki İlişki

Hava kalitesi yönetiminin en önemli yönlerinden biri kirletici kaynağının belirlenmesidir. İç ortam/Dış ortam oranları, PAH'ların iç ortam havasındaki akıbetinin belirlenmesinde temel yaklaşım modeli olarak kullanılmaktadır. Özellikle, belirli bir kirleticinin iç ortam konsantrasyonu, iç ortam-dış ortam arasındaki infiltrasyon faktörüne (IF) dayanmaktadır (Gariazzo ve ark. 2015). İlk olarak, BghiP ve CHR'in iç ortam havasında olamayacağı gerçeğine dayanarak, dış ortamda üretilen PAH'ların tanımlanmasında indikatör türler olarak kullanılmaktadır (Mohammed ve ark. 2016). IF denklem (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$IF_i = \frac{PAH_i(\text{iç ortam})}{CHR_{iç}} \times \frac{CHR_{dış}}{PAH_i(\text{dış ortam})} \quad (1)$$

Burada, IF infiltrasyon faktörünü ve PAHi hesaplanan her bir PAH türünü,  $CHR_{iç}$  ve  $CHR_{dış}$  ise sırasıyla iç ve dış ortamlarda ölçülen CHR konsantrasyonunu ifade etmektedir. IF değeri 1'den büyük ise; iç ortamda oluşan kirliliğin etkili olduğunu, 1'den küçük ise iç ortamdaki kirliliğin, dış ortam havasının iç ortam havasına girmesiyle oluştuğunu göstermektedir (Mohammed ve ark. 2016). Bu çalışma kapsamında 2., 3. ve 4. örnekleme noktalarındaki iç ve dış ortam PAH konsantrasyonları ile hesaplanan IF değerleri Şekil 4'de gösterilmiştir.

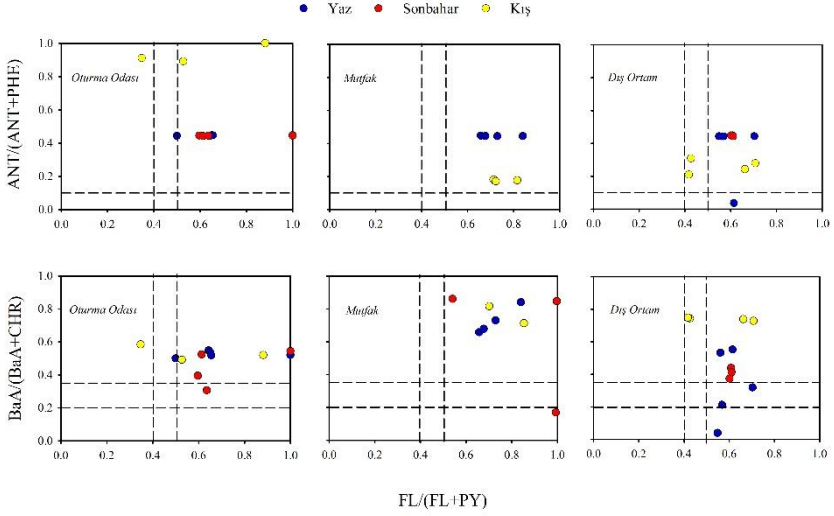


Şekil 4. Oturma odası ve mutfak için infiltrasyon faktörleri

Örnekleme noktalarında hesaplanan IF değerlerine bakıldığında, genellikle mutfak ortamında 1'den küçük olan türlerin oturma odasında 1'den büyük, benzer şekilde mutfak ortamında 1'den büyük olan türlerin oturma odasında 1'den küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4). Buradan da iç ortamın herhangi bir yerinde ölçülen PAH konsantrasyonlarının asıl kaynağı eğer dış ortam ise, bu kirleticinin iç ortamın herhangi bir odasına taşınabileceği anlamına geldiği sonucuna varılmıştır. 4. örnekleme noktasına ait IF değerlerine bakıldığında; PHE, ANT ve BkF dışındaki diğer tüm türler hem mutfak hem de oturma odası için  $<1$  olduğu görülmektedir. Bu örnekleme noktasının mutfağında yemek yapılmıyor olması ve anayola yakın, arayol üzerinde olması nedeniyle oluşan tüm kirliliğinin dış ortamdan kaynaklandığını göstermektedir. Ayrıca sabit hava koşulları ve bazı ısıtma sistemleri yüksek oranda BbF konsantrasyonlarının görülmesine neden olmaktadır (Arhami ve ark. 2018). Bu sebepte 4. örnekleme bölgesinin iç ortamında ölçülen PAH kaynaklarının çoğunun dış ortamdan ve ısıtma sistemlerinden kaynaklandığı görülmüştür.

### **Moleküler Tanı Oranları**

Moleküler tanı oranları (MTO), PAH'ların kaynaklarını belirlemede sıklıkla kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Farklı tamsal oranlar, petrojenik (sıvı yakıtlardan buharlaşma), pirolitik (yakıtların yanması) ve biyokütle veya kömür yakılması sonucu oluşan PAH'ların ayırt edilmesinde kullanılmaktadır (Duodu ve ark. 2017). Örneğin ANT, PHE'e göre daha kararsızdır. Bu iki türün kimyasal özelliklerinden dolayı genellikle  $ANT/(ANT+PHE)$  oranı petrol kaynakları ile yanma kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu oran  $<0,1$  ise petrol kaynaklarını fakat bu oran  $>0,1$  ise yanma kaynaklarını ifade etmektedir (Gong ve ark. 2018). Biyokütlenin yanmasını değerlendirmek için genellikle  $FL/(FL+PY)$  oranı kullanılmaktadır.  $FL/(FL+PY)$  oranı  $>0,5$  ise emisyonların kömür ve biyokütlenin yanmasından,  $<0,5$  ise petrol kökenli yakıtların yanmasından etkilendiği anlamına gelmektedir (Tobiszewski & Namieśnik, 2012). Benzer şekilde  $BaA/(BaA+CHR)$  oranı  $0,2$ 'nin altında ise petrol kaynaklarının,  $0,2-0,35$  arasında ise karışık kaynakları ve  $0,35$ 'den büyük ise de biyokütle ve kömür yanması sırasında oluşan kaynakların etkili olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışmada elde edilen MTO'lar Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Örnekleme bölgelerine ait MTO değerleri

Örnekleme bölgelerine ait MTO'lara bakıldığında genellikle tüm mevsimlerde ve örnekleme alanlarında (oturma odası, mutfak ve dış ortam)  $ANT/(ANT+PHE)$  oranlarının 0,1'den büyük olduğu görülmektedir. Buradan da yanma kaynaklarının etkili olduğu anlaşılmaktadır.  $ANT/(ANT+PHE)$  oranı foto reaksiyonlardan oldukça etkilenmek ve bu etki sonucunda  $ANT/(ANT+PHE)$  oranı 0'a çok yakın çıkmaktadır (Tomashuk, Truong, Mantha, & McGowin, 2012). Bu bilgilere dayanarak, örneklerin petrojenik kaynaklı kirlilik ile foto-reaksiyonlardan etkilenmediğini göstermektedir.  $BaA/(BaA+CHR)$  ve  $FL/(FL+PY)$  oranları genellikle ortamın biyokütle ve kömür yanmasından dolayı kirlendiğini göstermektedir. Atmosferik koşullar sıklıkla değişmekte ve bu da kirleticilerin dağılıp taşınmasını etkilemektedir (Tomashuk ve ark. 2012). Genel olarak kış aylarında durgun hava, düşük sıcaklık ve termal inversiyonlar kirleticilerin dağılımını ve taşınımını kısıtlamaktadır (Tripathi, Chaturvedi, & Tripathi, 1996). Bunun sonucu olarak da konsantrasyonlarda artışlar gözlenmektedir. Aynı zamanda bu durum farklı mevsimlerde farklı emisyon kaynakları ile meteorolojik faktörlerin etkili olduğunu göstermektedir (Liu, Yu, Liu, & Sun, 2018).

## Tartışmalar

Bu çalışmada Bursa İli sınırları içerisinde yer alan 5 farklı evin iç ve dış ortam havasındaki PAH'ların konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi amacıyla pasif hava örnekleyicileri ile 2014 yılı Temmuz ve 2015 yılı Ocak

ayları arasında hava örnekleri toplanmıştır. Tüm örnekleme bölgelerindeki mevsimsel PAH konsantrasyon seviyeleri iç ortam için 2-107 ng/m<sup>3</sup>; dış ortam havası için ise 6-285 ng/m<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir. Ayrıca PAH kaynaklarının tanımlanması için infiltrasyon faktöründen ve moleküler tanı oranlarından yararlanılmıştır. Genellikle örnekleme bölgelerindeki en büyük PAH kaynaklarının biyokütle ve kömür yanması olduğu belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- Amoatey, P., Omidvarborna, H., Baawain, M. S., & Al-Mamun, A. (2018). Indoor air pollution and exposure assessment of the gulf cooperation council countries: A critical review. *Environment International*, 121(August), 491–506. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.043>
- Andrade, A., & Dominski, F. H. (2018). Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *Journal of Environmental Management*, 206, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.001>
- Arhami, M., Shahne, M. Z., Hosseini, V., Roufigar Haghghat, N., Lai, A. M., & Schauer, J. J. (2018). Seasonal trends in the composition and sources of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous aerosol in Tehran, Iran. *Environmental Pollution*, 239, 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.111>
- Bixiong, Y., Zhihuan, Z., & Ting, M. (2006). Pollution sources identification of polycyclic aromatic hydrocarbons of soils in Tianjin area, China. *Chemosphere*, 64(4), 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.027>
- Duan, J., Bi, X., Tan, J., Sheng, G., & Fu, J. (2007). Seasonal variation on size distribution and concentration of PAHs in Guangzhou city, China. *Chemosphere*, 67(3), 614–622. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.08.030>
- Duodu, G. O., Ogogo, K. N., Mummullage, S., Harden, F., Goonetilleke, A., & Ayoko, G. A. (2017). Source apportionment and risk assessment of PAHs in Brisbane River sediment, Australia. *Ecological Indicators*, 73, 784–799. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.038>
- Esen, F., Cindoruk, S. S., & Taşdemir, Y. (2006). Ambient concentrations and gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urban site in Turkey. *Environmental Forensics*, 7(4), 303–312. <https://doi.org/10.1080/15275920600996099>

- Esen, F., & Kayıkçı, G. (2018). Bursa’da iç ve dış mekan hava örneklerinde poliaromatik hidrokrbonların (PAHs) belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018(2018), 1531–1541. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416449>
- Esen, F., Tasdemir, Y., & Vardar, N. (2008). Atmospheric concentrations of PAHs, their possible sources and gas-to-particle partitioning at a residential site of Bursa, Turkey. *Atmospheric Research*, 88(3–4), 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.11.022>
- Gariazzo, C., Lamberti, M., Hänninen, O., Silibello, C., Pelliccioni, A., Porta, D., ... Forastiere, F. (2015). Assessment of population exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) using integrated models and evaluation of uncertainties. *Atmospheric Environment*, 101(May 2012), 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.035>
- Gong, X., Xiao, L., Zhao, Z., Li, Q., Feng, F., Zhang, L., & Deng, Z. (2018). Spatial variation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from rivers in hilly regions of Southern China in the wet and dry seasons. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156(February), 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.004>
- Ielpo, P., Mangia, C., Marra, G. P., Comite, V., Rizza, U., Uricchio, V. F., & Fermo, P. (2019). Outdoor spatial distribution and indoor levels of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> in a high environmental risk site of the South Italy. *Science of the Total Environment*, 648(2), 787–797. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.159>
- Liu, H., Yu, X., Liu, Z., & Sun, Y. (2018). Occurrence, characteristics and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in arable soils of Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159(March), 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.069>
- Mattock, H., Bouvard, V., Guha, N., Ghissassi, F. El, Benbrahim-Tallaa, L., Grosse, Y., ... Baan, R. (2013). The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The Lancet Oncology*, 14(13), 1262–1263. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(13\)70487-x](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(13)70487-x)
- Mercier, F., Gilles, E., Saramito, G., Glorennec, P., & Le Bot, B. (2014). A multi-residue method for the simultaneous analysis in indoor dust of several classes of semi-volatile organic compounds by pressurized liquid extraction and gas chromatography/tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1336, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.02.004>



- Mohammed, M. O. A., Song, W., Ma, Y., Liu, L., Ma, W., Li, Y.-F., ... Khan, A. U. (2016). Distribution patterns, infiltration and health risk assessment of PM<sub>2.5</sub>-bound PAHs in indoor and outdoor air in cold zone. *Chemosphere*, *155*, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.023>
- Mokalled, T., Adjizian Gérard, J., Abboud, M., Liaud, C., Nassreddine, R., & Le Calvé, S. (2018). An assessment of indoor air quality in the maintenance room at Beirut-Rafic Hariri International Airport. *Atmospheric Pollution Research*, (August), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.11.008>
- Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., ... Rickerby, D. (2017). End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Science of the Total Environment*, *607–608*, 691–705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266>
- Tasdemir, Y., & Esen, F. (2007). Urban air PAHs: Concentrations, temporal changes and gas/particle partitioning at a traffic site in Turkey. *Atmospheric Research*, *84*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.04.003>
- Tobiszewski, M., & Namieśnik, J. (2012). PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution*, *162*, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.025>
- Tomashuk, T. A., Truong, T. M., Mantha, M., & McGowin, A. E. (2012). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon profiles and sources in pine needles and particulate matter in Dayton, Ohio, USA. *Atmospheric Environment*, *51*, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.028>
- Tripathi, B. D., Chaturvedi, S. S., & Tripathi, R. D. (1996). Seasonal variation in ambient air concentration of nitrate and sulfate aerosols in a tropical city, Varanasi. *Atmospheric Environment*, *30*(15), 2773–2778. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00435-1](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00435-1)
- Vardar, N., Tasdemir, Y., Odabasi, M., & Noll, K. E. (2004). Characterization of atmospheric concentrations and partitioning of PAHs in the Chicago atmosphere. *Science of the Total Environment*, *327*(1–3), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.05.002>
- Wu, X., Liu, H., Yuan, Z., Wang, S., Chen, A., & He, B. (2019). Concentration, exchange and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil, air and tree bark from the Middle-

- Lower Yangtze Plain, China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1276–1283. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.011>
- Xu, J., Szyszkowicz, M., Jovic, B., Cakmak, S., Austin, C. C., & Zhu, J. (2016). Estimation of indoor and outdoor ratios of selected volatile organic compounds in Canada. *Atmospheric Environment*, 141, 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.031>
- Yadav, M., Soni, K., Soni, B. K., Singh, N. K., & Bamniya, B. R. (2019). Source apportionment of particulate matter, gaseous pollutants, and volatile organic compounds in a future smart city of India. *Urban Climate*, 28(March), 100470. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100470>
- Zhu, Y., Yang, L., Meng, C., Yuan, Q., Yan, C., Dong, C., ... Wang, W. (2015). Indoor/outdoor relationships and diurnal/nocturnal variations in water-soluble ion and PAH concentrations in the atmospheric PM<sub>2.5</sub> of a business office area in Jinan, a heavily polluted city in China. *Atmospheric Research*, 153, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.08.014>

# EKOTOKSİKOLOJİDE ENZİM BİYOMARKIRLARININ KULLANIMI

**Cihangir AKBÜBER\* - Ferah SAYIM ÖZKAN\*\***

\* *Sıdıka Akdemir Bilim ve Sanat Merkezi, c\_ akbuber@hotmail.com*

\*\* *Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, ferahozkan71@gmail.com*

**Özet:** Teknoloji ile birlikte, insanlara ve ekosistemlere ciddi şekilde zarar veren kimyasalların çevreye salınması da devam etmekte ve dünyanın hemen her yerinde önemli çevre sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu çevre sorunlarına sebep olan kirlenici maddelerin etkileri genellikle, biyomarkır ölçümlerine başvurulmuş olarak belirlenmektedir. Biyomarkır yaklaşımı, kimyasal maddelerin düşük konsantrasyonlarının, organizmalarda çeşitli ölçülebilir moleküler ve biyokimyasal bir cevaba sebep olabileceği fikriyle ortaya çıkmıştır. Biyomarkırlar, organizma ile onun yakın çevresi arasındaki etkileşimler hakkında çeşitli bilgiler verebilmekte ve henüz başlamamış ancak yeni başlayacak olan bir ekolojik sorunun, erken uyarı sinyalleri olarak kullanılabilir. Biyomarkır çalışmalarının, çok düşük konsantrasyonlardaki kirlenici maddelerin miktarını direkt olarak ölçmeden, maruziyetin biyolojik ve kimyasal etkilerini değerlendiriyor olması oldukça önemli görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, çevre çalışmalarında kullanılan enzim biyomarkırlarının bir raporunu ortaya koyarak bu alanla ilgili çalışmalara katkı sağlayabilmektir.

**Anahtar Kelimeler:** ekotoksikoloji; enzim aktivitesi; biyomarkır; ksenobiyotik.

## Giriş

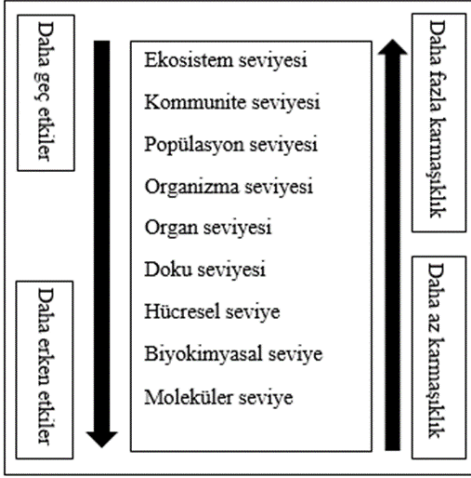
Teknoloji ile paralel, toplumların sosyal ve ekonomik olarak ilerlemesi, her geçen gün daha fazla kimyasal maddenin çevreye salınmasına neden olmaktadır. Bu ksenobiyotik maddeler, (biyoteknolojiyi de kapsayan) teknoloji ürünlerinden, madencilik ve şehircilik faaliyetlerinden ve jeolojik değişimlerden açığa çıkmaktadır. Günümüzde, iklim değişikliği, doğal habitatların kaybolması ve mevcut tatlı su rezervlerinin azalması gibi küresel değişimlere ek olarak, binlerce kimyasalın çevreye salınması yüzünden meydana gelen çevresel bozulma, biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğine ve organizmaların yaşamına bir tehdit oluşturmaktadır.

Bu çalışmayı, ekotoksikolojide sıklıkla başvuru alan biyomarkır yaklaşımı şekillendirmiştir. Çalışmada, biyomarkırların özellikleri, çeşitleri, sınıflandırılması, kullanımları ve en çok kullanılan bazı enzim biyomarkırlarının detaylı bilgileri bulunacaktır.

## **Biyomarkır Yaklaşımı**

Toksik kimyasallara verilen biyolojik cevaplar, genetik materyaller ve hücrealtı seviyelerde etkilenen moleküler seviyedeki etkilerden, bütün besin zincirinin ve dinamiklerinin etkilendiği popülasyon ve hatta kommunité seviyesindeki etkilere kadar değışebilir (Slabbert et al. 2004). Bu etkiler dokular, hücreler ve biyolojik sınırlar gibi biyolojik sistemlerde ölçülebilir (Kimmenade ve Januzzi, 2012). Çevresel kontaminasyonun etkileri genellikle, biyomarkırların ölçümlerine başvurularda belirlenmektedir (Gagne ve Blaise, 2005). Tarihsel olarak biyomarkırlar, asıl amacı, insanlar üzerinde belirli bir etkiye sebep olan bir bileşimin farmakolojik dozunu tanımlamak olan biyomedikal araştırmalar ve toksikolojik çalışmalardan orijinlenmişlerdir (de Coen et al. 2000). Biyomarkırlar, bir organizmanın kontaminasyondan / ksenobiyotiklerden ne derecede etkilendiğini (organizma kendini toparlayabilecek mi, yoksa bu durum organizmayı ölüme mi götürecektir?) belirlemek için kullanılır ve kirleticinin organizmaya yakınlığı, zararın geri dönüşlü olup olmadığı ve hasarın kalıcı olup olmadığı hakkında erken uyarı sinyali olarak hareket edebilirler (Depledge, 1993; Slabbert et al. 2004). Sucul organizmalar üzerinde yapılan çeşitli biyokimyasal ve moleküler biyomarkır çalışmaları, subletal toksisitenin hızlı ve hassas ölçümlerini temin ettiklerini göstermektedir. Biyomarkır yaklaşımı, yüksek miktarda bir ksenobiyotiğin, daha üst biyolojik organizasyonlarda (Şekil 1) zararlı bir etki oluşturmada önce, düşük konsantrasyonlarının organizma içinde biyokimyasal bir cevaba sebep olabileceği fikrine dayanmaktadır. (Domingues et al., 2010; Jemec et al., 2008). Biyomarkırlar, canlı ile onun yakın çevresi arasındaki etkileşimler hakkında bilgi veren herhangi bir biyokimyasal, fizyolojik ya da morfolojik ölçüm olarak tanımlanabilmektedir. Bu etkileşimler, biyolojik, kimyasal ve/veya fiziksel bir ajanla ilgili olabilmektedir. Böylelikle biyomarkırlar, yeni başlayan bir ekolojik sorunun, erken ve hassas uyarı sinyallerini temin etmiş olmaktadır (van der Oost et al., 2003; Guilio and Newman, 2008; Printes et al., 2008). Biyomarkırların kullanımının ekotoksikolojide çok önemli olduğu, çünkü biyomarkırların, çevresel gözlem ve çevresel risk değerlendirmesinin amacı olan ölçülebilir çıktılar ve son noktaları (endpoint) oluşturduğu bilinmektedir (Lajmanovich et al., 2010). Biyomarkır çalışmaları, özellikle çok düşük konsantrasyonlarda bulunan kontaminantları direkt ölçmeden, ksenobiyotik maruziyetinin biyolojik etkilerini değerlendirmeyi kapsamakta ve bunu biyokimyasal parametreleri ölçerek yapmaktadır. Enzim biyomarkır çalışmaları, genellikle kontrollü laboratuvar koşullarında belirli bir kimyasala maruz kalmış organizmalarla yapılır. Bu laboratuvar çalışmaları, sahada doğal

popülasyonlar üzerinde belirli bir kontaminantın etkilerini önceden tahmin etmek için gereken sebep-etki ilişkilerini kurmaya yardımcı olabileceği belirtilmektedir(Hyne and Maher, 2003).



Şekil 1. Biyolojik organizasyon seviyelerinin şematik gösterimi (van der Oost et al., 2003).

Bir kimyasal, hücrenin çevresine doğru giriş yapar yapmaz, genellikle, hücre yüzeyine adsorbe olur (birikir) ya da pasif difüzyon, por kanalları ya da aktif taşıma ile hücre membranından geçer. Bazı kimyasallar belirli hedeflerle etkileşime girmesine rağmen, bazıları, kimyasal reaktifliğine bağlı olarak çok çeşitli bölgelerle reaksiyona girebilmektedir (Gagne and Blaise, 2005). Aynı biyomarkırın, bir kimyasala çok hassasken bir diğerine yeterince hassas olmayabileceği, buradan da, bir organizmaya bir kontaminantın toksik etkisini tam olarak anlayabilmek için uygun bir biyomarkır bulma ihtiyacı gerektiği sonucuna ulaşılabileceği ifade edilmektedir. (Jemec et al., 2008).

Ekotoksikoloji çalışmalarında, biyomarkırların çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlar tablo 1'de gösterilmiştir.

Avantajlar	Dezavantajlar
Kontaminant karışımların genel toksisitelerini ortaya çıkarmada daha etkili olmaları	Bazılarının spesifik olmaması
Vücuttaki kontaminant mevcudiyetinin bir ölçümünü vermeleri	Biyotik ve çevresel faktörler tarafından etkilenebilmesi
Etkinin mekanik yorumlamasına yardımcı olmaları	Bazılarının dereceli olarak cevap vermesi
Sağlıklı olmanın ya da zarar görmenin yansımaları ölçmeleri	Bazılarının düşük maruziyette yeterince hassas olamamaları
İyileşmenin ölçülmesine yardım etmeleri	Sağlıklı bir ekotoksikolojik değerlendirme için uzun vadeli veri setlerine ihtiyaç duyabilmeleri
Olumsuz çevresel etkilerin erken uyarı sinyalleri ve ekonomik olmaları	

Tablo 1. Ekotoksikoloji çalışmalarında, biyomarkırların çeşitli avantaj ve dezavantajları

### **Biyomarkırların Sınıflandırılması**

Genellikle biyomarkırlar, etkileşimin doğası, biyolojik organizasyonun seviyesi ve zaman skalasına göre (Gagne and Blaise, 2005), 1-maruziyet 2-etki ve 3-hassaslık biyomarkırları olarak üç tipte incelenmektedir. (Chambers et al., 2002; Hagger and Galloway, 2009; Domingues et al., 2010). Bazı kaynaklar, ayrıca üreme biyomarkırlarından (organizmanın etkili bir şekilde üreme kapasitesini değerlendirir) da bahsetmektedir (Gagne and Blaise, 2005). Daha açıklayıcı olarak, ksenobiyotiklere maruziyetin biyomarkırı, maruziyetin etkileri biyomarkırları ve maruziyetin etkilerine hassaslığın biyomarkırları (Koeman et al., 1993) olarak da değerlendirilebilmektedir.

Maruziyet biyomarkırları, eksojen bir maddenin veya bunun metabolitinin veya bir ksenobiyotik ajan ile bir organizma içinde ölçülen bazı hedef moleküller arasındaki etkileşimin ürününün saptanmasını ve ölçülmesini kapsar (Van der Oost et al. 2003). Maruziyet biyomarkırları, bir organizmanın, bir ksenobiyotiğe ya da başka bir stres yapan maddeye

maruz kalmasıyla açıklanmıştır. Bununla birlikte, biyomarkırdaki değişimin, ksenobiyotiğin belirli bir aksiyon mekanizması ile direkt olarak ilişkili olmasının zorunlu olmadığı ve organizma ya da daha üst organizasyon seviyelerinde (popülasyon ya da kommunité) olumsuz etkilerin derecesinin belirlenemediği belirtilmektedir (Chambers et al., 2002). Maruziyet biyomarkırları, organizmaların çeşitli bileşiklere maruziyetin nicel ve nitel değerlendirmelerini sunmaktadır (Hagger and Galloway, 2009). Maruziyet biyomarkırları genellikle, organizmanın bütünündeki kontaminant ya da kontaminantların miktarları ölçülerek kullanılmaktadır. Bu biyomarkırların, organizmada bir kontaminantın var olduğunun ilk göstergesini sunduğu görülmektedir (Gagne and Blaise, 2005). Genellikle, hedef dokularda ksenobiyotik ya da metabolitin ölçümü, maruziyetin gerçekleştiğini göstermektedir (Gagne and Blaise, 2005). Bu biyomarkırlar, organizmaya giren ksenobiyotiğin miktarını da karakterize etmektedir. Maruziyet biyomarkırları, AChE inhibisyonu, biyotransformasyon enzimleri gibi biyomarkırları içermektedir (Berglund et al., 2007).

Etki biyomarkırları, özellikle ksenobiyotiğin aksiyon mekanizması ile ilişkilidir. Olumsuz etkilerin derecesiyle ilişkili olarak karakterize edilmektedir. Bu nedenle, etki biyomarkırları, tehlikenin oluşacağını ve mümkün aksiyon mekanizmalarını göstererek tehlikenin nitel yönlerini aydınlatmaktadır (Hagger and Galloway, 2009). Bu biyomarkırlar, toksik etkiye dönüşmeyen biyolojik rahatsızlık ve değişimler üzerine bilgiler de temin etmektedir. Organizmanın savunma mekanizması, kontaminanta maruziyete cevap olarak biyokimyasal ya da fizyolojik işlemlerdir ve biyolojik organizasyonun farklı seviyelerinde (moleküler, hücresel, doku, sistem ve birey seviyesi) ölçülebilmektedir (Gagne and Blaise, 2005). Etki biyomarkırlarının, vücut sıvıları ya da dokularındaki ksenobiyotiklere maruziyetin bir sonucu olarak oluşan ölçülebilir morfolojik, fizyolojik ya da biyokimyasal değişiklikler olduğu ve organizmanın sağlığın bozulması ya da hastalıklarla ilişkili olarak tanımlanabileceği belirtilmektedir (Van der Oost et al., 2003). Genotoksisite biyomarkırları, endokrin bozulması biyomarkırları, histopatoloji ve oksidatif stres biyomarkırları bu grupta yer almaktadır.

Etki ve maruziyet biyomarkırlarının tersine, hassaslık biyomarkırları, doz-etki süreci boyunca gerçekleşen aşamaları göstermemekte (Schlenk, 1999; Hagger and Galloway, 2009), fakat bu süreç boyunca görülen aşamaların arasındaki geçiş oranındaki artışları yansıtmaktadırlar. Hassaslık biyomarkırları, bir organizmaya ait doğuştan gelen ya da sonradan kazanılmış olan “ksenobiyotik madde maruziyetine karşı yeteneğinin”

cevap vermesini göstermekte ve maruziyete karşı organizmanın hassaslığını değiştiren reseptörlerdeki değişimi ve genetik faktörleri içermektedir (Hagger and Galloway, 2009). Daha açık bir ifade ile hassaslık biyomarkırları, farklı bireyler arasındaki ksenobiyotik maruziyetine verilen cevaplardaki değişimi incelemektedir. Bu biyomarkırların, normal hücre fonksiyonunda belirli bir zararın değerlendirilmesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Örneğin, prooksidanlar tarafından lipit peroksidlerin oluşumu, lipitlere kimyasallar tarafından zarar verildiğini gösterir (Gagne and Blaise, 2005). Bu biyomarkırlar özetle, moleküler, hücresel ya da fizyolojik seviyelerde mevcut toksik etkileri ölçmekte ve ölüme yol açan patolojik şartlarla daha yakıdan ilişkili oldukları belirtilmektedir (Gagne and Blaise, 2005).

Biyomarkırlar, aynı zamanda, spesifik olmayan biyomarkırlar ve spesifik olan biyomarkırlar diye de ikiye ayrılabilir (Mayer et al. 1992). Hücrelerde enerji üretimi, hormonlar, RNA ve DNA gibi spesifik olmayan biyomarkırlar, bir organizmanın potansiyelini yada büyüme oranı üzerinde direkt bilgi verebilirler, ancak etkiye sebep olan belirli toksikantı tanımlamakta kullanılamazlar. Kirletici maddelerin doğasını net bir şekilde belirtmemiş olsalar bile, bu tür biyomarkırlar analitik taramayı birkaç kimyasal ailesiyle sınırlamaya izin verdikleri için analizlerin maliyetini önemli ölçüde azaltır (Lagadic, 2002). Spesifik olan biyomarkırlar ise organa spesifik olanlar ve toksikanta spesifik olanlar diye iki türe ayrılırlar. Organ-spesifik biyomarkırlar, organlar zarar görmeye başladığında organlardaki enzimlerin belirlenmeleri ile tespit edilir. Enzim substratının parçalanmasındaki bir düşüş, toksik maddelerin varlığının bir ölçüsü olarak hizmet eder. Örneğin; lactate dehydrogenase (LDH), transaminases, creatine phosphokinase, lysosomal enzimler, alkaline fosfataz and mixed function oxidase (Mayer et al. 1992; Gagne and Blaise, 1993). Toksikant-spesifik biyomarkırlar ise belirli bir kimyasal yada kimyasal grubu yüzünden oluşan maruziyeti ve etkiyi gösterirler. Enzim substratının parçalanmasındaki bir düşüş, toksik maddelerin varlığının bir ölçüsü olarak hizmet eder. Örneğin; AChE inhibisyonu (organofosfatlar ve karbamatlar), ALAD, vs (Slabbert et al. 2004).

Ekotoksikolojide kullanılacak biyomarkırların, bir dizi kriteri yerine getirmeleri istenir. Bunlar özetlenecek olursa;

1. Biyomarkır yanıtı, toksisite sürecinin erken aşamalarını tespit edebilecek kadar duyarlı olmalı ve bunu, biyolojik organizasyonun üst düzeyindeki etkilerinden önce yapmalıdır.



2. Biyomarkır, belirli bir kirleticiye veya bir kirletici sınıfına özgü olmalıdır.
3. Biyomarkır, kirletici miktarındaki değişime konsantrasyona bağlı bir şekilde yanıt vermelidir.
4. Toksikolojik olmayan, biyotik faktörlerle bağlantılı olan belirli varyasyonların tanımlanması (Hamza-Chaffai, 2014).

Kimyasal analizler kontaminantların sadece bir bölümünü açığa çıkarabilirler ve olumsuz etkiler hakkında pek bir fikir vermezler. Biyomarkır çalışmaları ise hem bilinen hem de bilinmeyen kirleticilerin varlığını tespit ederler. Bu biyomarkırların bazıları her organizma için geçerli değildir, çünkü bazı organizmalarda analiz için yeterli biyolojik materyal elde edilemez.

### **Bazı Enzim Biyomarkırları**

Ksenobiyotikler, özellikle lipofilik olanlar, çeşitli yollardan organizmaya girip, organizmada toksik seviyelere ulaşacak kadar birikebilirler (Coleman et al. 1997). Organizmalar, bu toksik etkilerden korunabilmek için biyotransformasyon reaksiyonları geliştirmişlerdir. Biyotransformasyon reaksiyonları, reaktif oksijen türleri (ROS) ile bağlantılı ve makromoleküllere ve dokulara hasar veren ksenobiyotiklerin olası toksik etkilerine karşı koruyan genel hücresel mekanizmalardır. Hücreler oksidatif hasara karşı enzimatik ve enzimatik olmayan savunmalara ve ayrıca diyet ile gelen birçok küçük moleküllü antioksidanlarla donatılmıştır (Scandalios 1997). Ksenobiyotikler organizmaya girdikten sonra, ksenobiyotiklerin toksik etkilerine karşı kendilerini savunabilmek için metabolizma ve eliminasyon olaylarının ana yolları aktive edilmiş olur. Bazıları doğrudan metabolize edilir ve organizmadan elimine edilir (Okuno et al. 2001).

Sitokrom P450, organik kimyasalların yapısını dönüştüren bir enzim ailesine mensuptur. Bu proteinler tarafından katalizlenen kimyasallar, hemoprotein sitokrom P450 boyunca işlev gören “mixed-function oxidase” ya da “monooxygenase reaksiyonları” olarak bahsedilen bir türdür. Pestisitler gibi bazı organik kimyasalların toksisitesi yapısal transformasyonla büyük ölçüde değistirilebilir. Kimyasal yapıların etkilenmesiyle, sitokrom P450 enzimleri belirli bir bileşiği toksik olmayan hale getirebilir veya bunun aksine toksisitesini büyük ölçüde artırabilir (Hyne and Maher, 2003). İndüklenebilen sitokrom P450'nin bazı tiplerinin miktarları, bir organizmanın kimyasallara maruziyetine göre değişir. Sonuç olarak, bu enzimler tarafından katalize edilen kimyasalların

transformasyon oranı değişmektedir. Sitokrom P450 indüksiyonu, ayrıca bir organizmanın ortamdaki kimyasal indükleyicilere maruz kalmasının oldukça hassas bir göstergesi olabilir (Hyne and Maher, 2003).

Oksidazlar, endojen bileşiklerin düzenlenmesinde rol oynayan detoksifikasyon enzimleridir. Aktivitelerindeki değişiklikler genellikle polisiklik aromatik hidrokarbonlara (PAH) ve organoklor pestisitlere maruz kalma ile ilişkilidir. Oksidazlar, toksik maruziyetin yararlı biyomarkırlarıdır. Çünkü aktivitelerindeki kirlenici kaynaklı değişiklikler üreme, büyüme ve gelişmedeki erken bozulma belirtilerini gösterebilir (McCarthy and Shugart, 1990; Lagadic et al. 1994). Oksidaz aktivitesi, sitokrom P450'ye bağlı oksijenaz aktivitesindeki değişiklikleri ölçen ethoxyresorufin- O-deethylase (EROD) kullanımı da dahil olmak üzere birkaç teknikle ölçülebilmektedir (Connon et al. 2003).

Biyotransformasyonun birinci ve ikinci safhalarında yer alan en önemli enzim aileleri, kimyasal bileşiklere karşı maruziyetin biyomarkırları olarak kullanılabilir. P450'nin katalitik fonksiyonlarındaki değişiklikler, örneğin sitokrom P4501A katalitik aktivitesinin indüklenmesinin ölçüldüğü ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) florimetrik yöntem kullanılarak izlenebilir (Prough et al. 1978). Çok sayıda kimyasal, çeşitli organizmalarda EROD aktivitesini indükler. Bu biyomarkırın, endüstriyel atıkların, kirlenmiş sedimentlerin veya kimyasal sızıntıların laboratuvar ve saha araştırmalarında değeri kanıtlanmıştır (Whyte et al. 2000). EROD, özellikle PAH'lar (polycyclic aromatic hydrocarbons), PCB'ler (polychlorinated biphenyls) ve dioksinler gibi organik kimyasallara cevap verir.

Oksijen radikalleri üretiminin doğrudan ölçümünün (enzimatik olmayan antioksidanlar) yanı sıra, antioksidan enzimlerin aktiviteleri, oksidatif stresin biyomarkırları olarak kullanılabilir. Enzim aktivitelerinde veya seviyelerindeki artış, ksenobiyotiklere maruziyetin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Roy ve ark. 1995).

Katalazlar,  $H_2O_2$ 'nin direkt bileşenlerine ayrılmasını sağlayan enzimlerdir. Hayvanlarda, katalazlar, tüm organlarda bulunur, fakat özellikle karaciğerde yoğunlaşmıştır (Halliwell and Gutterdige 2007). Katalazlar tarafından katalize edilen başlangıçtaki hidrojen peroksit uzaklaştırmasının oranı, katalaz denemesinde kullanılan hidrojen peroksit konsantrasyonuyla orantılıdır (Aebi 1984).

Glutatyon peroksidaz enzimleri (GPx) hayvansal dokularda yaygın şekilde bulunur ve çoğunlukla hidrojen donörü olarak glutathione'a spesifiktir.

İndirgenmiş glutatyon oksidasyonu ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'yi uzaklaştırır. GPx, hidrojen peroksit dışındaki peroksitlere de etki edebilir. Yağ asidi hidroperoksitlerinin glutathione'a bağlı indirgenmesini ve spektrofotometrik GPx testinde substrat olarak kullanılabilen  $\tau$  – butylhydroperoxide gibi çeşitli sentetik hidroperoksitleri katalize ederler.

Glutatiyon-S Transferazlar (GST), ksenobiyotiklerin detoksifikasyonundan sorumlu bir enzim ailesi olarak bilinmektedir. Bu enzimler, uygun elektrofilik bölgeler içeren ksenobiyotiklere glutatiyon bağlamaktan (konjugasyon) sorumludurlar (LeBlanc and Cochrane, 1985; Jemec et al., 2008; Gagne and Blaise, 2005; Romeo and Giamberini, 2013; Sheehan et al., 2001). Konjugasyon, ksenobiyotiklerin metabolizma olayları sırasında (faz 1 ya da faz 2) meydana gelmektedir. Faz 2 reaksiyonları, çeşitli kofaktörler (glutatiyon, sülfatlar, glukuronik asit) ile çalışan membran ya da sitosolik enzimler tarafından katalizlenmektedir. Glutatiyonun konjugasyonu, metabolize olan bileşiğin reaktivitesini azaltmakta, daha az toksik hale ve suda daha çözünebilir bir molekül haline getirmektedir. Konjugat daha sonra, vücuttan kolaylıkla atılmakta ya da merkapturik asite metabolize olabilmektedir (Domingues et al., 2010; LeBlanc and Cochrane, 1985; Romeo and Giamberini, 2013). GST'lar bu nedenle, hem antioksidant hemde detoksifikasyon enzimleri olarak düşünülmektedir (Jemec et al., 2008, 2012). GST'ler, birçok epoksit içeren bileşik, halojenlenmiş nitrofenol, organofosfor ve organoklorlu insektisitleri içeren çok çeşitli aromatik ve alifatik ksenobiyotikler üzerinde rol oynamaktadır (LeBlanc and Cochrane, 1985). Yani, GST'nin indüksiyonu, belirli bir kimyasal sınıfa özgü olmamakla birlikte (Gagne and Blaise, 2005) ortamdaki ksenobiyotik konsantrasyonuna göre organizmada artış göstermektedir (Romeo ve Giamberini, 2013).

Asetilkolin esterazın (AChE) fonksiyonu, asetilkolin nörotransmitterini degrade etmektir (parçalamaktır). Organofosfat akut toksisitesi, kolinerjik sinapslarda AChE aktivitesinin geri dönüşümsüz inhibisyonu olarak açıklanmaktadır (McDonough and Shih, 1997; Mileson et al., 1998; Pope, 1999; Casida and Quistad, 2004). AChE'nin inhibisyonu, merkezi ve çevresel sinir sistemi fonksiyonlarını bozmayla sonuçlanan, sinapslarda, nörotransmitter asetil kolinin birikmesine (Domingues et al., 2010), enzimin aktif bölgesinin kalıcı inhibisyonu sinir fonksiyonlarının bozulmasına, immobilizasyona ve hatta organizmanın ölümüne yol açmaktadır (Barata et al., 2001; Jeon et al., 2013). Memeli ve kuşlarda, %50'den daha fazla AChE inhibisyonunun, normal olarak yaşamı tehdit eden bir durum olduğu (Printes et al., 2008; Walker, 2001), %40'tan daha fazla inhibisyon ise davranış ve fizyolojik etkilerle ilişkili olduğu

belirtilmektedir (Walker, 1995). Sucul omurgasızların ise, organofosfat bileşiklerine, omurgalılara göre daha hassas olduğu rapor edilmiştir (Printes et al., 2008). Bir organofosforlu bileşik ile inhibisyonun sonradan AChE'nin reaktivasyonunun çok yavaş olduğu gözlenmektedir ve bu nedenle AChE inhibisyonunun geri dönüşümsüz olduğu düşünülmektedir. İyileşmenin ise, sadece yeni enzimlerin sentezlenmesiyle oluştuğu ifade edilmektedir (Bocquene and Galgani, 1998; Fulton and Key, 2001). Uzun yıllardan beri AChE inhibisyonu, antikolinesteraz bileşikler tarafından oluşturulan kontaminasyonu değerlendirmek ve belirlemek için omurgalı ve omurgasız hayvanlarda biyomarkır olarak kullanılmaktadır.

## **Sonuç**

Ekotoksikolojide, organizmaların biyomarkır cevaplarını yaş, gelişim dönemi, cinsiyet ve beslenme gibi faktörler etkilemektedir. Enzim biyomarkırları, bir tür içerisinde bile, bireylerin aktivitesi, bulunduğu/yaşadığı bölge ve hatta vücut büyüklüğüne göre bile değişim gösterebilir (Hyne and Maher, 2003). Bir kimyasala maruziyetin biyokimyasal biyomarkır cevaplarına göre toksisite tahmini yapabilmek için, hem organizmanın, doku, yaş ve gelişim dönemleri gibi özelliklerine göre biyokimyasal aktivitenin varyasyonunun iyi bilinmesi hem de iyi tanımlanmış bir biyolojik materyal kullanmak kritik öneme sahiptir.

## **Kaynaklar:**

- Aebi, H (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymol* 105: 129-129.
- Barata, C., Baird, D.J., Soares, A.M.V.M. and Guilhermino, L., 2001, Biochemical factors contributing to response variation among resistant and sensitive clones of *Daphnia magna* Straus exposed to ethyl parathion, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49, 155-163.
- Berglund, L.M.M., Sturve, J., Förlin, L. and Nyholm, N.E.I., 2007, Oxidative stress in pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) nestlings from metal contaminated environments in northern Sweden, *Environ Res.*, 105 (3), 330-339.
- Bocquene, G. and Galgani, F., 1998, "Biological effects of contaminants: Cholinesterase inhibition by organophosphate and carbamate compounds", *Ices Techniques In Marine Environmental Sciences No. 22*, [https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Techniques%20in%20Marine%20Environmental%20Sciences%20\(TIMES\)/times22/TIME S22.pdf](https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Techniques%20in%20Marine%20Environmental%20Sciences%20(TIMES)/times22/TIME%20S22.pdf) (Erişim Tarihi: 10.01.2017).

Casida, J.E. and Quistad, G.B., 2004, Organophosphate toxicology: Safety aspects of nonacetylcholinesterase secondary targets, *Chem. Res. Toxicol.*, 17, 983-998.

Chambers, J.E., Boone, J.S., Carr, R.L., Chambers, H.W. and Straus, D.L., 2002, Biomarkers as predictors in health and ecological risk assessment, *Human and Ecological Risk Assessment*, 8, 165–76.

Coleman, J, Blake-Kalff, M, Davies, E (1997). Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. *Trends Plant Sci* 2 (4): 144-151.

Cannon R, Dewhurst RE, Crane M and Callaghan A, 2003, Haem Peroxidase Activity in *Daphnia magna*: A Biomarker for Sub-lethal Toxicity Assessments of Kerosene-contaminated Groundwater, *Ecotoxicology*, 12, 387-395.

De Coen WM, Janssen CR, Giesy JP, 2000, Biomarker applications in ecotoxicology: bridging the gap between toxicology and ecology, *New Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring*, Ed. Persoone et al., Kluwer Academics/Plenum Pub., New York.

Depledge, M.H. (1993) The rationale basis for the use of biomarkers as ecotoxicological tools. In: *Non-destructive Biomarkers in Vertebrates*, edited by M.C. Fossi and C. Leonzio, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 271 – 295.

Domingues, I., Agra, A.R., Monaghan, K., Soares, A.M. and Nogueira, A.J., 2010, Cholinesterase and glutathione-S-transferase activities in freshwater invertebrates as biomarkers to assess pesticide contamination, *Environ Toxicol Chem.*, 29(1), 5-18.

Fulton, M.H. and Key, P.B., 2001, Acetylcholinesterase inhibition in estuarine fish and invertebrates as an indicator of organophosphorus insecticide exposure and effects, *Environ. Toxicol. Chem.*, 20, 37–45.

Gagne, F. and Blaise, C., 2005, Review of biomarkers and new techniques for in situ aquatic studies with bivalves, 206-228, *Environmental Toxicity Testing*, Thompson K. C., Wadhia K., Loibner A. P. (Eds.), CRC Press, USA, 388p.

Giulio, R.T. and Newman, M.C., 2008, *Ecotoxicology*, 1157-1187, Casarett & Doulls *Toxicology, The Basic Science of Poisons*, Klaassen C.D. (ed.), The McGraw-Hill Companies, USA, 1309p.

Glynn, P., 1999, Neuropathy target esterase. *Biochem. J.*, 344, 625–631pp.

Hagger, J.A. and Galloway, T.S., 2009, Biological Markers of Exposure and Effect for Water Pollution Monitoring. 221-239, *Rapid Chemical and*

Biological Techniques for Water Monitoring, Gonzalez C., Quevauviller, P. and Greenwood, R. (Eds.), John Wiley & Sons Ltd., Cornwall, 419p.

Halliwell, B, Gutteridge, JMC (2007). Free radicals in biology and medicine, Oxford University Press, New York, USA.

Hamza-Chaffai A, 2014, Usefulness of Bioindicators and Biomarkers in Pollution Biomonitoring, Int. J. Of Biotech. For Wellness Ind., 3, 19-26.

Hyne, R.V. and Maher, W.A., 2003, Invertebrate biomarkers: links to toxicosis that predict population decline, Ecotoxicol. Environ. Saf., 54(3), 366-74.

Jemec, A., Tisler, T., Drobne, D., Sepcic, K., Jamnik, P. and Ros, M., 2008, Biochemical biomarkers in chronically metal-stressed daphnids, Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 147, 61–68.

Jemec, A., Tišler, T., Erjavec, B. and Pintar, A., 2012, Antioxidant responses and whole-organism changes in *Daphnia magna* acutely and chronically exposed to endocrine disruptor bisphenol A, Ecotoxicol. Environ. Saf., 86, 213-218.

Jeon, J., Kretschmann, A., Escher, B.I. and Hollender, J., 2013, Characterization of acetylcholinesterase inhibition and energy allocation in *Daphnia magna* exposed to carbaryl, Ecotoxicology and Environmental Safety, 98, 28–35.

Kimmenade, vRRJ, Januzzi, JL (2012). Emerging biomarkers in heart failure. Clin Chem 58 (1): 127-138.

Koeman, J.H., Köhler-Günther, A., Kurelec, B., Riviere, J.L., Versteeg, D. and Walker, C.H., 1993, Applications and objectives of biomarker research, 1-13, Biomarkers: Research and Application in the Assessment of Environmental Health, Peakall D. B., Shugart L. R. (Eds.), NATO ASI Series, Vol. H68, Springer-Verlag, Berlin, 119p.

Lagadic L, Biomarkers : useful tools for the monitoring of aquatic environments Revue Méd. Vét., 2002, 153, 8-9, 581-588.

Lagadic, L., Caquet, T. and Ramade, F. (1994). The role of biomarkers in environmental assessment (5). Invertebrate populations and communities. Ecotoxicology 3, 193±208.

Lajmanovich, R.C., Peltzer, P.M., Junges, C.M., Attademo, A.M., Sanchez, L.C. and Bassó, A., 2010, Activity levels of B-esterases in the tadpoles of 11 species of frogs in the middle Paraná River floodplain: implication for ecological risk assessment of soybean crops, Ecotoxicol. Environ. Saf., 73(7), 1517-24.

Leblanc, G.A. and Cochrane, B.J., 1985, Modulation of substrate-specific glutathione S-transferase activity in *Daphnia magna* with concomitant

effects on toxicity tolerance, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 82 (1), 37-42.

Mayer, F.L., Versteeg, D.J., McKee, M.J., Folmar, L.C., Graney, R.L., McCume, D.C. and Rattner, B.A. (1992). Physiological and non-specific biomarkers. In: *Biomarkers: Biological, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress*, edited by R.J. Huggett, R.A. Kimerke, P.M. Mehrle, Jr. and H.L. Bergman, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 235 - 335.

McCarthy, J.F. and Shugart, L.R. (1990). *Biomarkers of Environmental Contamination*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

McDonough, J.H. and Shih, J.T.M., 1997, Neuropharmacological mechanisms of nerve agent-induced seizure and neuropathology, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 21, 559-579.

Mileson, B.E., Chambers, J.E., Chen, W.L., Dettbam, W., Ehrich, M., Eldefrawi, A.T., Gaylor, D.W., Hamemik, K., Hodgson, E., Karczmar, A. G., Padilla, S., Pope, C.N., Richardson, R.J., Saunders, D.R., Sheets, L.E, Sultatos, L.G. and Wallace, K.B., 1998, Common mechanism of toxicity: A case study of organophosphorus pesticides, *Toxicol. Sci.*, 41, 8-20.

Okuno, T, Kubota, T, Kuroda, T, Ueno, H, Nakamuro, K (2001). Contribution of Enzymic [alpha],[gamma]- Elimination Reaction in Detoxification Pathway of Selenomethionine in Mouse Liver. *Toxicol Appl Pharmacol* 176 (1): 18-23.

Pope, C.N., 1999, Organophosphorus pesticides: Do they all have the same mechanism of toxicity?, *J. Toxicol. Environ. Health. B Crit. Rev.*, 2, 161-181.

Printes, L.B. and Callaghan, A., 2003, Intraclonal variability in daphnia acetylcholinesterase activity: the implications for its applicability as a biomarker, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22 (9), 2042–2047.

Printes, L.B. and Callaghan, A., 2004, Comparative study on the relationship between acetylcholinesterase activity and acute toxicity in *Daphnia magna* exposed to anticholinesterase insecticides, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23 (50), 1241–1247.

Printes, L.B., Fellowes, M.D.E. and Callaghan, A., 2008, Clonal variation in acetylcholinesterase biomarkers and life history traits following OP exposure in *Daphnia magna*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71, 519–526.

Prough, RA, Burke, MD, Mayer, RT (1978). Direct fluorimetric methods for measuring mixed-function oxidase activity. *Methods Enzymol* 52: 372-377.

- Romeo, M. and Giamberini, L., 2013, History of biomarkers, 15-43. *Ecological Biomarkers Indicators of Ecotoxicological Effects*, Amiard-Triquet C., Amiard J. C., Rainbow P. S. (Eds.), CRC Press, Boca Raton, 464p.
- Roy, S, Lindstroem-Seppae, P, Huuskonen, S, Haeninen, O (1995). Responses of biotransformation and antioxidant enzymes in *Lemna minor* and *Oncorhynchus mykiss* exposed simultaneously to hexachlorobenzene. *Chemosphere* 30 (8): 1489-1498.
- Scandalios, JG, Ed. (1997). *Oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses*. North Carolina, USA, Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Schlenk, D., 1999, Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments, *Marine Pollution Bulletin*, 39, 48–53.
- Sheehan, D., Meade, G., Foley, V.M. and Dowd, C.A., 2001, Structure, function and evolution of glutathione transferases: implications for classification of nonmammalian members of an ancient enzyme superfamily, *Biochemistry Journal*, 360(Pt 1):1-16pp.
- Slabbert JL, Venter EA, Joubert A, Vorster A, de Wet LPD, Van Vuren JHJ, Barnhoorn I and Damelin LH, 2004, Biomarker assays for the detection of sub-lethal toxicity in the aquatic environment-A preliminary investigation, WRC Report No 952/1/04.
- van der Oost, R., Beyer, J. and Vermeulen, N.P.E., 2003, Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 13, 57–149.
- Walker, C.H., 1995, Biochemical biomarkers in ecotoxicology—some recent developments, *Sci. Total Environ.*, 171, 189–195pp.
- Walker, C.H., 2001, *Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective*, CRC Press, Boca Raton, 414p.
- Whyte, JJ, Jung, RE, Schmitt, CJ, Tillitt, DE (2000). Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activity in fish as a biomarker of chemical exposure. *Crit Rev Toxicol* 30 (4): 347-570.



**SHIPBUILDING AND OCEAN ENGINEERING / GEMİ VE  
DENİZ MÜHENDİSLİĞİ**

# DENİZ TAŞIMACILIĞINDA CO<sub>2</sub> SALINIM DEĞERİ HESAPLANMASI İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

**Dr. Öğr. Üyesi Kadir Mersin**

*İstanbul Gelişim Üniversitesi*

*kmersin@gelisim.edu.tr*

**Özet:** Küresel ticarete en çok tercih edilen taşımacılık türü olan deniz taşımacılığı IPCC verilerine göre, toplam küresel sera gazlarının% 2,7'sinden sorumludur. Bir geminin atmosfere yaydığı CO<sub>2</sub> miktarı, aynı makine gücüne sahip bir kamyonun veya bir uçaktan daha fazladır. Ancak bir geminin taşıdığı yük miktarı göz önünde bulundurulduğunda parça başına CO<sub>2</sub> salınımının en düşük miktarda olması deniz taşımacılığını çevreci bir taşımacılık türü yapmaktadır. CO<sub>2</sub> salınımı yakıt tüketimi ile doğru orantılı olduğu için yakıt tüketiminin azaltılması salınımı miktarının azaltılmasına sebep olacaktır. Yakıt tüketimini etkileyen en önemli iki parametre ise geminin hızı ve ağırlığıdır. Bu çalışmada geminin hızı ve ağırlığını değişken kabul eden bir yakıt tüketim fonksiyonu oluşturulmuş ve bu fonksiyon yardımı ile seyir halindeki bir geminin CO<sub>2</sub> salınımı hesaplanmıştır.

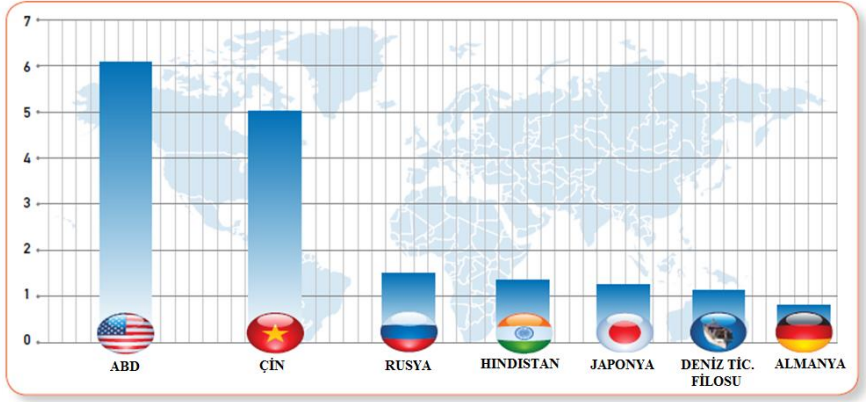
**Anahtar Kelimeler:** Deniz taşımacılığında CO<sub>2</sub> emisyonu, sera gazları, yakıt tüketimi.

## Giriş

Sanayinin gelişmesi ile atmosfere salınan gazların miktarları da artmaktadır. Özellikle fosil yakıtlar atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarını doğrudan etkilemektedir. Dünya üzerindeki en yaygın yakıt türü olan bu yakıtlar insan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarına örnek olarak verilebilir. Özellikle taşımacılıkta kullanılan yakıtların yanması ile havaya yayılan CO<sub>2</sub> ve diğer gazlar, küresel ısınma ile beraber solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler hastalık, akciğer kanseri gibi çeşitli sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir (Natural Resources Defense Council-NRDC, 2004).

Uluslararası denizcilik ticareti diğer taşıma modlarına göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher kilometre başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen, küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının %3.3'ünden sorumludur (Buhaug ve diğerleri, 2009).

Buna göre uluslararası deniz taşımacılığını bir ülke olarak kabul edersek, dünya sera gazı emisyonları sırasında ilk on ülke arasında yaklaşık altıncı sırada Japonya ile Almanya arasında bir ülke olacaktır (IPCC, 2007). Buna bağlı gösterim şekil 1'dedir.



**Şekil 1.** Ülkelerin CO2 Emisyon Sıralaması Arasında Uluslararası Deniz Taşımacılığı Emisyon Karşılaştırması (Milyar Metrik Ton CO<sub>2</sub>) (Savitz v.d., 2008)

Yakıt tüketimine göre gemiler kaynaklanan egzoz emisyonlarından CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonları, küresel antropojenik emisyonların yaklaşık %2, %11 ve %4'üne karşılık gelmektedir (Endresen ve diğerleri, 2003).

### **Baca Emisyonları**

Gemilerden kaynaklı emisyonlar şu şekilde sıralanabilir.

- Sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>),
- Azot oksitler (NO<sub>x</sub>),
- Karbondioksit (CO<sub>2</sub>),
- Hidrojen Klorür (HC),
- Partikül Madde veya Toz (PM),
- Uçucu Organik Buhar ve Gazların (VOC),
- Karbon monoksit (CO),

Bu emisyon kirliliklerinden azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>) ve partiküler madde (PM) insanların yaşadığı kıyı kesimlerinde çevresel etkide bulunurken, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve karbonmonoksit (CO) ise global çevreye zararlı etkide bulunmaktadır.

Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü tarafından 2012 yılında yapılan projeksiyona göre PM nedeniyle erken ölümler 2050 yılına kadar iki kattan fazla artarak yılda 3,6 milyona ulaşacaktır. Bu ölümlerin en çok yaşanacağı ülkeler ise Çin ve Hindistan olarak belirtilmiştir. Dünyada PM<sub>2.5</sub> (2.5 µm'den daha küçük partiküler maddeler) kirliliği nedeniyle yılda 500.000 den fazla insanın yaşamını kaybettiği tahmin edilmektedir (Nel, 2005; Wang ve diğerleri, 2013).

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolünde ortaya koyulan hedefler doğrultusunda Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), gemi baca gazlarından kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla yeni bir düzenlemeye gitmiş ve MARPOL (Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi, 1973 ve 1978 Protokolü Deniz Kirliliği Konvansiyonu) 73/78 sözleşmesinde VI numaralı Eki uygulamaya koymuştur.

Uygulama 400 GRT ve daha büyük tonajlı uluslararası sefer yapan bütün gemileri kapsamaktadır. Ek VI kapsamında IMO tarafından alınan birçok yeni tedbir bulunmaktadır.

1-Emisyon Kontrol Alanları (Emission Control Areas-ECA) ve Sülfür Emisyon Kontrol Alanları (Sulfur Emission Control Areas-SECA) ilan edilmiş ve bu bölgelerde seyir yapan gemilerin ortaya çıkaracağı emisyon limitleri standart altına alınmıştır.

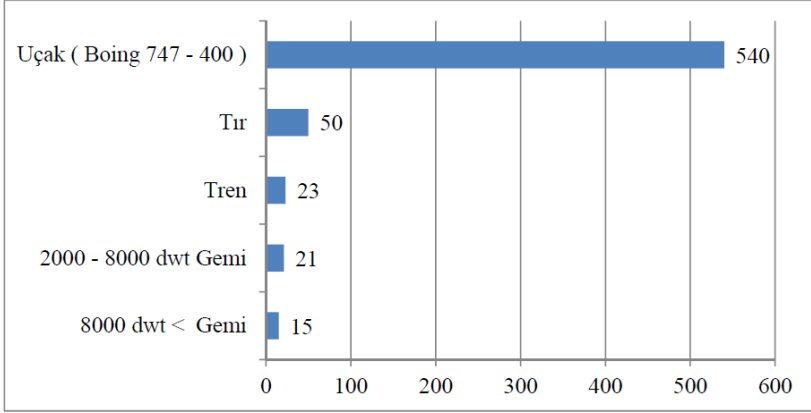
2- Gemi baca gazlarından salınan azot oksitlerin (NOx) hangi makinelerde hangi limitlerde olacağı kural 13 ile düzenlenmiştir.

3- Gemi yakıtları içerisinde bulunabilecek sülfür oranlarının yıllara sari olarak düşürüleceği limitler kural 14 ile düzenlenmiştir. Yakıt içerisindeki sülfür oranı %0,1'i geçmeyecektir. Gemiler, Sülfür Emisyon Kontrol Alanlarında (SECA-Sulphur Emission Control Areas) bu limitlere göre salınım yapmak zorundadır.

4- Enerji Verimliliği Dizayn Endeksi (Energy Efficiency Design Index-EEDI) ile gemilerin daha az fosil yakıt kullanması, daha az sera gazı emisyonu ile CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması ve küresel çevre kirliliğinin düşürülmesi amaçlanmıştır. EEDI uygulaması tüm yeni inşa edilecek gemiler için getirilmiştir (IMO, MEPC 62, 2011).

### **Yakıt Emisyon İlişkisi**

Taşınan toplam yük açısından bakıldığında parça başına CO<sub>2</sub> salınımı en az olan taşımacılık modu deniz taşımacılığıdır. Vietnam'ın Ho Chi Minh limanından Çin'in Tianjin limanına (2.067 mil) taşınan 1 ton kargonun meydana getirdiği CO<sub>2</sub> emisyonu; Çin'in Wuhan kentinden Tianjin limanına (614 mil) taşınmasındaki salınacak CO<sub>2</sub> miktarından daha azdır (World Shipping Council, 2009).



**Şekil 2.** Farklı taşımacılık modlarının CO2 emisyonları (Gram/Ton-km), (IMO,MEPC)

Parça başı emisyon açısından en çevreci taşımacılık türü olan deniz taşımacılığında emisyon miktarını belirleyen parametrelerin başında yakıt tüketimi gelmektedir. Gemilerde sefer sırasında HFO (Heavy Fuel Oil) adı verilen yüksek kükürt oranlı gemi dizel yakıtı kullanılmaktadır. Bu yakıt akışkanlığı yüksek olmayan ve birim fiyatı düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir. 1 ton HFO'nun yanması ile 3,1144 ton CO<sub>2</sub> açığa çıkmaktadır. (IMO GHG Study, 2014; Shipping KPI, 2016a).

### **Trozzi & Vaccaro yöntemi**

Trozzi ve Vaccaro tarafından geliştirilen metodolojiyi kullanabilmemiz için, gemilere ait ihtiyacımız olan veriler;

- i) gemi tipi,
- ii) gemi tonajı,
- iii) geminin gittiği mesafe,
- iv) geminin ana ve yardımcı makine tipi
- v) ana ve yardımcı makine gücüdür

Trozzi & Vaccaro yöntemine göre 1 ton HFO'nun yanması ile 3.20 ton CO<sub>2</sub> açığa çıktığı kabul edilmektedir. (Trozzi ve Vaccaro, 1998)

### **Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Yakıt Tüketimi Hız İlişkisi**

Yakıt tüketimini etkileyen faktörler arasında en bilinenleri hız, geminin taşıdığı yük, hava şartları gelmektedir. Bununla birlikte karina temizliği vb etkenler de yakıt tüketimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerden biridir. Geminin üzerindeki yükün ihmal edilmesi durumunda yakıt tüketimi

$F(v) = \lambda \cdot v^3$  şeklindedir ( Wang ve Meng, 2011). Bununla birlikte Bararas ,2004 senesindeki çalışmasında  $F(v) = \lambda \cdot v^\omega \nabla^{\frac{2}{3}}$  formülünü ortaya çıkarmıştır. Burada  $\nabla$  geminin toplam ağırlığını;  $\lambda$  ise geminin sahip olduğu motorun kat sayısını göstermektedir.

Yakıt tüketimi ile ilgili en bilindik bu iki formülde de zamana bağlı geminin ağırlığının ihmal edildiği görülmektedir. Geminin yola çıktığı andan itibaren ağırlığı azalmakta dolayısıyla  $\nabla$  değeri değişmektedir. Bu durumda daha isabetli bir tahminde bulunabilmek için bu değişkeni de dahil etmemiz gerekmektedir. 2017 senesindeki çalışmamızda bu eksikliği giderdik ve verilen bir  $t$  anında geminin toplam ağırlığını veren formülün  $\nabla(t) = \left[ \sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3} \right]^3$  olduğunu ispatladık (Mersin ve diğ. 2017). Dolayısıyla başlangıç anından verilen bir  $t$  anına kadar geminin tükettiği yakıt miktarı

$$C(v, t) = \nabla(0) - \left[ \sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3} \right]^3 \text{ olacaktır.}$$

Hesaplamalarda kolaylık olması açısından Trozzi & Vaccaro yöntemindeki katsayı olan 3.20 formüle dahil edilirse bir  $t$  anına kadar geminin atmosfere yaydığı CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı

$$E(v, t) = 3.20 \times (\nabla(0) - \left[ \sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3} \right]^3) \text{ olacaktır.}$$

### Örnek:

229.000 ton yakıt ile yola çıkan bir konteyner gemisi için aşağıdaki tablo verilmiştir. Sefer boyunca toplam CO<sub>2</sub> salınım miktarını hesaplayalım ( $\lambda = \frac{1}{110,000}$ )

A → B	10 h	6,000 ton
B → C	15 h	5,500 ton
C → D	20 h	6,500 ton

Tabloya göre, A – B ayağında gemide 6.000 ton ağırlığında kargo var ve gemi zamanı 10 saat. Aynı şekilde, B – C ayağında gemide 5.500 ton ağırlığında kargo var. B limanında teslim edilen 500 tonluk kargo anlamına gelir ve gemi seferinin bu ayağı 15 saattir. Ayrıca, C- D ayağında 6 bin 500 ton ağırlığında kargo var. C limanında teslim alınan 1.000 tonluk kargo anlamına gelir ve geminin bu seferi toplam 20 saattir. Buna göre A-B, B-C ve C-D ayaklarında atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarını hesaplırsak:

A-B: 155.7763 ton

B-C: 233.2928 ton

C-D: 311.8656 ton

Toplam: 700.9347 ton olacaktır.

### **Alınabilecek Tedbirler**

CO<sub>2</sub> salınımını düşürmek için yapılabilecekler aşağıda sıralanmıştır.

- Gemi bacası filtreleri
- HFO yerine LPG, LNG veya Marine Diesel Oil kullanımı
- Scrubber kullanımı (Gazın yıkanması)
- Alternatif enerji kaynakları (Güneş panelleri, nükleer enerji, elektrik enerjisi)

### **Sonuç**

CO<sub>2</sub> salınımını düşürmek için en ekonomik yolun sefer hızının düşürülmesi kabul edilmektedir. Dolayısıyla gemilerin sefer sırasında gittikleri hız ECO SPEED olarak düzenlenmiştir. Bu çalışmada optimum hızda giden bir geminin atmosfere saldığı CO<sub>2</sub> miktarının en isabetli şekilde tahmin edilmesi için çalışılmıştır. Manevra ve limanda atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarlarının ihmal edilmesi durumunda hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısıyla sadece HFO tüketimi incelenmiştir. Kullanılan yöntem, şu anda kullanılan yöntemlerden biri olan Trozzi & Vaccaro yönteminden daha az veri ile hesaplama şansı sunmuştur.

### **Kaynaklar**

Barras, B. (2004). *Ship design and performance for masters and mates*. Oxford: Elsevier. ISBN 0-7506-6000-7.

Endresen, O., Sorgard, E., Sundet, J.K., Dalsoren, S.B., Isaksen, I.A., Berglen, T.F., Gravir, G. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research*, 108 (17), 28-29.

Nel, A. (2005). Air pollution-related illness: effects of particles. *Science* 308, 804-806.

Trozzi, C., Vaccaro, R. (1998). Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships. *Techne Report MEET. (Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport) RF98*.

Wang, J-F., Hu, M-G., Xu, C-D., Christakos, G., Zhao, Y. (2013). Estimation of citywide air pollution in beijing. *PLUS ONE* 8. e53400. doi:10.1371/journal.pone.0053400.

Wang, S., & Meng, Q. (2012). Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network. *Transportation Research Part E*, 48, 701–714. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.12.003>

IMO, COP18. (2012). Shipping, world trade and the reduction of CO<sub>2</sub> emissions. IMO UNFCCC 18. Conference, 26 November – 7 December 2012, International Chamber of Shipping, Doha, Qatar.

IMO, MEPC 59. (2009). Control of greenhouse gas emissions from ships engaged in international trade. The Conference of the Parties Serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, 7-18 December 2009, Second IMO GHG Study 2009, Copenhagen.

IMO, MEPC 62/INF.37. (2011). Reduction of GHG emissions from ships, detail treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation of the attained EEDI, Marine Environment Protection Committee, Londra, 62 (5), 1-3.

Savitz, J., Hirshfield, M., Bilsky, E., Saenz, D., Krenz, C., Levine, M., Collier, A., Watkins, M.P. ve Grayson, J. (2008). Shipping Impacts On Climate: A Source With Solutions. Ellycia Harrould-Kolieb, Oceana, Washington.

Mersin, K., Alkan, G., Mısırlıoğlu, T. (2017) . A new method for calculating fuel consumption and displacement of a ship in maritime transport, Cogent Engineering.



**ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING /  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

# İNCELTME İŞARETLİ VE İŞARETSİZ SESLERİN TEMEL VE FORMANT FREKANSLARININ BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL TABANLI ÖLÇÜTLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Özkan ARSLAN\* & Erkan Zeki ENGİN\*\*

\* Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi,  
oarslan@nku.edu.tr

\*\* Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, erkan.zeki@ege.edu.tr

**Özet:** Bir doğal dili çözümlene, anlama ve yorumlamaya dayalı bilgisayar sistemlerinin tasarımını sağlayan doğal dil işleme mühendisliğinin en önemli alanlarından biridir. Makine çevirisi, metin özetleme, metin sınıflandırma, metinden-sese ve sestene-metne çeviri sistemleri doğal dil işlemenin başlıca uygulamalarından bazılarıdır. Türkçe için yapılan doğal dil işleme çalışmaları yıllar içinde önemli mesafeler kat etmesine rağmen günümüzde hâlâ önemli eksikleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerden biri, ünlü harflerin üzerine gelen şapka ya da inceltme işaretlerinin etkisinin ses işleme yöntemleri ile sayısal analiz edilmemiş olmasıdır. Bu çalışmada, doğal dil işleme çalışmalarında karşılaşılan bu eksikliği gidermek için Türkçe dilinde kullanılan inceltme işaretli ve işaretli /a/ ünlü harfinde sayısal analizler ile ses parametrelerinde oluşan farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 15 kadın ve 15 erkek denekten kaydedilen, okunuş ve anlamları farklı olan *kar* ile *kâr* kelimelerinden elde edilen /a/ ünlü harflerinin temel frekansı ve ilk 4 formant frekansı ile spektral tabanlı entropi, merkez, akı ve düşüş ölçütleri hesaplanmıştır. Elde edilen istatistikî sonuçlara göre, kadınlarda temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,001$ ) miktarda azalırken ikinci formant frekansı istatistiksel olarak anlamlı ( $p=0,021$ ) miktarda artmıştır. Erkeklerde ise sadece temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p=0,045$ ) miktarda azalmıştır. Ayrıca, spektral tabanlı ölçüt sonuçları da inceltme işaretli ve işaretli seslerin spektral anlamda büyük benzerlikler gösterdiğini kanıtlamaktadır. Tüm bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, bu sesleri ayırmada, hem kadınlarda hem de erkeklerde temel frekans değerlerinin belirleyici olduğu ve spektral dağılımlarında ise büyük benzerlikler olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnceltme işaretli sesler, temel frekans, formant frekansları, spektral tabanlı ölçütler

## Giriş

Doğal Dil İşleme (DDİ), insan hayatını kolaylaştırmak amacıyla bilgisayarların doğal dil metnini veya konuşmasını anlamak ve işlemek için nasıl kullanılabileceğini araştıran bir uygulama alanıdır. DDİ araştırmacıları, insanların dili nasıl anladıkları ve kullandıkları hakkında

bilgi toplamayı amaçlamaktadır. Böylelikle, bilgisayar sistemlerinin istenen görevleri yerine getirmek amacıyla doğal dilleri anlamalarını ve manipüle etmelerini sağlamak için uygun araçlar ve teknikler geliştirilebilir. DDİ'nin temelleri bilgisayar ve bilişim bilimleri, dil bilimi, matematik, elektrik ve elektronik mühendisliği, yapay zekâ ve robotik gibi birçok disipline dayanmaktadır. Doğal dil işleme uygulamaları arasında makine çevirisi, doğal dil metin işleme ve özetleme, kullanıcı ara yüzleri, çok dilli ve diller arası bilgi edinme, konuşma tanıma, konuşmadan metine metinleştiriciler, metinden konuşma sentezleyiciler, yapay zekâ ve uzman sistemler gibi bir dizi çalışma alanı bulunmaktadır (Gudivada, Rao and Raghavan, 2015).

Herhangi bir DDİ görevinin temelinde doğal dil anlayışı önemli bir konudur. Doğal dili anlayan bilgisayar programlarını oluşturma süreci üç ana problemi içerir: Birincisi düşünce süreçleriyle, ikincisi dilsel girdinin temsiliyle ve anlamıyla ve üçüncüsü ise dünya bilgisiyle ilgilidir (Hirschberg and Manning, 2015). Bu nedenle, bir DDİ sistemi kelimenin morfolojik yapısını ve doğasını (örneğin, konuşmanın bir kısmı veya anlamı gibi) belirlemek için kelime düzeyinde başlayabilir ve sonra tüm cümlenin sırasını, dilbilgisini ve anlamını belirlemek için cümle seviyesine geçebilir. Bir kelime veya cümlenin, belirli bir bağlamda veya alanda belirli bir anlamı veya çağrışımı olmakla birlikte verilen bağlamdaki diğer birçok kelime veya cümle ile ilgili olabilmektedir.

Liddy (1998) ve Feldman (1999), doğal dilleri anlamak için, insanların metinden veya konuşma dillerinden anlam çıkarmak için kullandıkları bağımlı yedi seviye arasında ayırım yapmanın önemli olduğunu öne sürmektedir (Liddy, 1998; Feldman, 1999). Bu bağımlı seviyeler; telaffuzla ilgilenen fonetik veya fonolojik seviye, anlam taşıyan kelimelerin en küçük bölümleriyle ilgilenen morfolojik seviye, sözcüklerin anlamı ve konuşma çözümlemelerinin bölümleriyle ilgilenen sözcüksel seviye, dilbilgisi ve cümlelerin yapısı ile ilgilenen sözdizimsel seviye, kelimelerin ve cümlelerin anlamı ile ilgilenen anlamsal seviye, belge yapılarını kullanarak farklı metin türlerinin yapısı ile ilgilenen söylem düzeyi ve dış dünyadan, yani belgenin içeriğinden gelen bilgilerle ilgilenen pragmatik düzey olarak sıralanabilir. Doğal bir dil işleme sistemi, bu analiz düzeylerinin tümünü veya bir kısmını içerebilir.

Telaffuzla ilgilenen fonetik veya fonolojik seviye kısmında ünlü harflerin üzerine gelen şapka işareti ya da inceltme işaretlerinin etkisinin ses işleme yöntemleri ile sayısal analiz edilmesi gerekmektedir. Dil biliminde, inceltme işareti (circumflex) daha önce söylenen bir kelimenin telaffuzunu veya uzunluğunu belirtmek için bir ünlü harfinin üzerinde kullanılan, (^) imleç şeklindeki bir işarettir (Inkelas, Küntay, Orgun and Sprouse, 2000). İnceltme işaretleri, başta Fransızca olmak üzere birçok dilde kullanılmaktadır. Türkçede inceltme işareti /a/, /e/, /ı/ ve /u/ ünlü

harfleriyle birlikte kullanılır ve üzerine geldiği harfin uzatılarak okunmasını sağlamaktadır. İnceltme işaretli ve işaretli seslerin yazılışları aynı olmakla birlikte taşıdıkları anlam değişmektedir. Bu nedenle, doğal dil işleme uygulamalarında kelime ya da cümlenin doğru bir şekilde algılanabilmesi ve çözümlenebilmesi için yazılışları aynı fakat anlamları farklı olan inceltme işaretli ve işaretli kelimelerin ayırımının yapılması gerekmektedir. Türkçe için yapılan doğal dil işleme çalışmaları yıllar içinde önemli mesafeler kat etmesine rağmen günümüzde hâlâ bir takım eksikleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerden biri, ünlü harflerin üzerine gelen şapka işareti ya da inceltme işaretlerinin etkisinin ses işleme yöntemleri ile sayısal analiz edilmemiş olmasıdır.

Bu çalışmada, doğal dil işleme çalışmalarında karşılaşılan bu eksikliği gidermek için Türkçe dilinde kullanılan inceltme işaretli ve işaretli /a/ ünlü harfinde sayısal analizler ile ses parametrelerinde oluşan farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kadın ve erkek deneklerden kaydedilen, okunuş ve anlamları farklı olan inceltme işaretli ve işaretli seslerin temel ve ilk dört formant frekansları ile spektral tabanlı entropi, merkez, akı ve düşüş ölçütleri hesaplanmıştır.

## **Materyal ve Yöntem**

### **Deneyel Veri**

Çalışmada kullanılan ses kayıtları, yaşları 20 ile 30 arasında değişen 15 erkek (25,33±2,31) ve 15 kadın (24,13±2,5) olmak üzere 30 sağlıklı denekten oluşmaktadır. Kayıtlar, sessiz bir odada, yüksek kaliteli ve 24 bitlik ses kartı (Creative Sound Blaster THX) ve dairesel mikrofon (Shure PG58) ile alınmıştır. Kayıtların örnekleme frekansı 48 kHz ve çözünürlüğü 24 bit olarak seçilmiştir. Kayıt sırasında, mikrofon ile ağız uzaklığı yaklaşık 20 cm'ye ayarlanarak kayıt sırasında oluşabilecek bozulmalar ve modifikasyonlar engellenmiştir. Hiçbirinde işitme veya konuşma bozukluğu olmayan konuşmacılardan; okunuş ve anlamları farklı olan *kar* ile *kâr* kelimelerini rahat bir tonda ve mümkün olduğunca aynı şiddette seslendirmeleri istenmiştir.

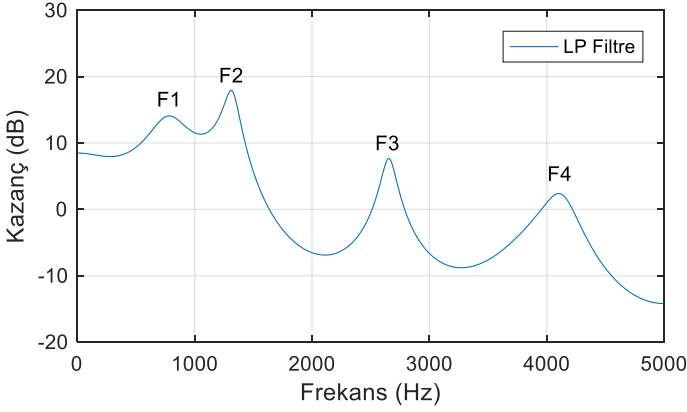
### **Yöntem**

İnceltme işaretli ve işaretli seslerin akustik sayısal analizinin yapılmasında /a/ ve /â/ harflerinin temel ve ilk dört formant frekansları ile spektral tabanlı ölçütler olan entropi, akı, merkez ve düşüş parametreleri (Arslan and Engin, 2019) hesaplanmıştır.

### **Temel ve Formant Frekansları**

Konuşma bilimi ve fonetikte formant, insan ses yolunun akustik rezonansından kaynaklanan spektral şekillendirme (Flanagan, 1955). Bununla birlikte, akustikte bir formant, spektrumda bir tepe noktası veya yerel maksimum olarak tanımlanmaktadır (Kewley Port and Watson,

1994). Formant frekansları ünlü seslerin tanımlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadırlar. Ünlü seslerin formant frekans değerleri; yaş, cinsiyet ve psikolojik duruma göre farklılık göstermektedir. Her bir enerji eşliğinde farklı formantlar oluşmak üzere ünlü sesler için bu değerler F1, F2, F3 ve F4 (bu sayı artabilmektedir) biçimindedir. F0 ise temel frekanstır ve ses kıvrımlarının bir saniyedeki titreşim sayısıdır. Sese tınısını ve rengini F1 ve F2 ağırlıklı olmak üzere ilk üç formant verir (Altundağ, 2008; Güven, 2015). Bu nedenle, ünlü seslerin tanımlanmasında ağırlıklı olarak bu üç formant kullanılır. Şekil 1’de ünlü /a/ fonemi için formant frekans değerleri gösterilmiştir.



**Şekil 1.** /a/ ünlü foneminin formant frekanslarının gösterimleri

## Spektral Tabanlı Ölçütler

### Spektral Entropi

Spektral entropi, konuşma spektrumlarının belirsizliğini gösteren bir ölçütüdür. Dönüşüm tabanlı spektral entropi parametrelerinin hesaplanması için her çerçeve eşit alt bantlara ayrılır ve her alt bant için verilen konuşma çerçevesinin Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü bulunur.

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) \exp\left(\frac{-j2\pi nk}{N}\right), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Burada  $X(k)$ ,  $k$ . frekans bölmesinin spektral büyüklüğünü ve  $N$  ise her frekans çerçevesi için frekans bölmelerinin toplam sayısını temsil etmektedir. Her çerçevenin spektral enerjisi  $E(k)$  şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E(k) = |X(k)|^2, \quad k = 1, 2, \dots, N/2 \quad (2)$$

Spektral alanda olasılık ölçütü aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir:

$$P(i) = \frac{E(i)}{\sum_{k=1}^{N/2} E(k)}, \quad i = 1, 2, \dots, N/2 \quad (3)$$

Olasılık hesabından sonra konuşma sinyalinin her bir alt çerçevesi için ilgili spektral entropi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$H = - \sum_{i=1}^{N/2} p(i) \log[p(i)] \quad (4)$$

### Spektral Merkez

Merkez (centroid), spektral şeklin bir ölçütüdür ve daha yüksek merkez değerleri daha yüksek frekanslara karşılık gelmektedir. Sesin netliğini ve keskinliğini modelleyen merkez, spektrumun yüksek frekans içeriği ile ilişkilidir. Yüksek merkez değerleri, daha yüksek frekans aralıklarındaki spektrumlara karşılık gelmektedir. Spektral merkez, spektrumun ağırlık merkezi olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$C_r = \frac{\sum_{k=1}^{N/2} f[k] |X_r[k]|}{\sum_{k=1}^{N/2} |X_r[k]|} \quad (5)$$

Burada  $f[k]$ ,  $k$ . bölmenin frekansını ve  $r$  ise üzerinde çalışılan bölütü göstermektedir.

### Spektral Düşüş

Düşüş (roll-off), spektralin büyüklük dağılımının %85'inin yoğunlaştığı frekans olarak tanımlanmaktadır. Düşüş ölçütü, merkez ölçütü gibi aynı zamanda spektral şeklin bir ölçütüdür ve yüksek frekanslar için daha yüksek değerler vermektedir. Spektral düşüş aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir:

$$\sum_{k=1}^M |X_r[k]| = 0,85 \sum_{k=1}^{N/2} |X_r[k]| \quad (6)$$

## Spektral Akı

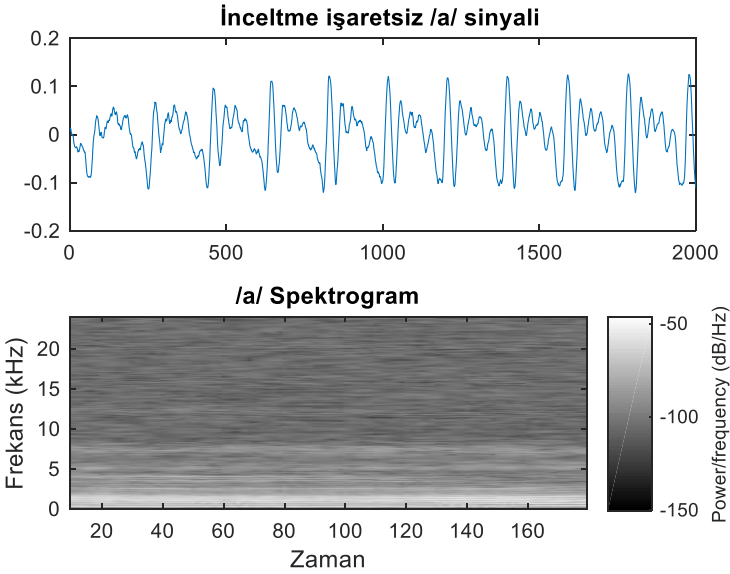
Spektral akı (spectral flux) çerçevenilmiş bir sinyalde iki bitişik çerçeve arasındaki spektral değerin ortalama değişim değeri olarak tanımlanmaktadır. Spektral akı için eşitlik şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$F_r = \sum_{k=1}^{N/2} (|X_r[k]| - |X_{r-1}[k]|)^2 \quad (7)$$

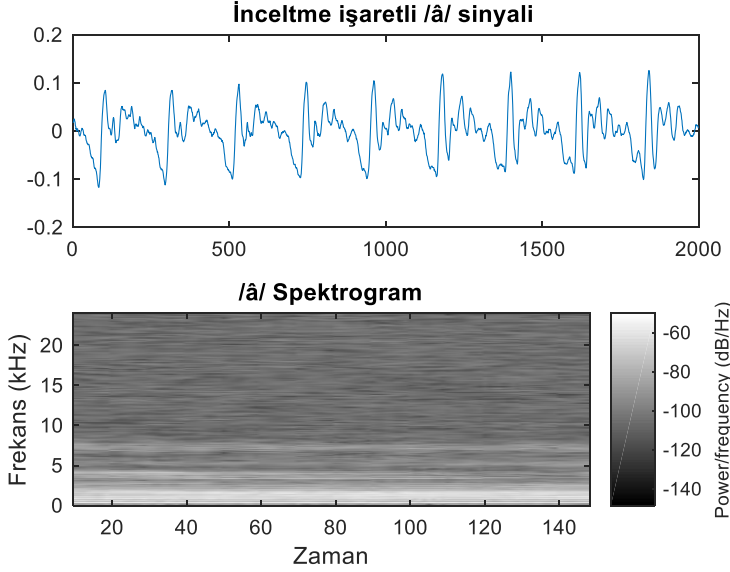
Burada  $r$ , bölütleri ve  $F_r$  ise  $r$ . bölütün spektral akı değerini göstermektedir.

## DeneySEL Sonuçlar

İnceltme işaretsiz /a/ ünlüsü ile inceltme işaretli /â/ ünlüsünün zaman-genlik ve zaman-frekans gösterimleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den görülebileceği üzere yazılışları aynı fakat okunuş ve anlamları farklı olan bu seslerin zaman ortamında genlik ve şekilleri ve ayrıca zaman-frekans gösterimi olan spektrograma göre ise frekans bileşenleri büyük benzerlikler göstermektedir.



(a)



(b)

**Şekil 2.** /a/ ünlüsü için zaman-genlik ve spektrogram gösterimleri: (a) inceltme işaretsiz, (b) inceltme işaretli

İnceltme işaretsiz ve işaretli seslerin temel ve formant frekansları arasındaki istatistiksel farklılığın tespiti için Mann-Whitney testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen istatistikî sonuçlara göre, kadınlarda temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) miktarda azalırken ikinci formant frekansı istatistiksel olarak anlamlı ( $p = 0,021$ ) miktarda artmıştır. Erkeklerde ise sadece temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p = 0,045$ ) miktarda azalmıştır.

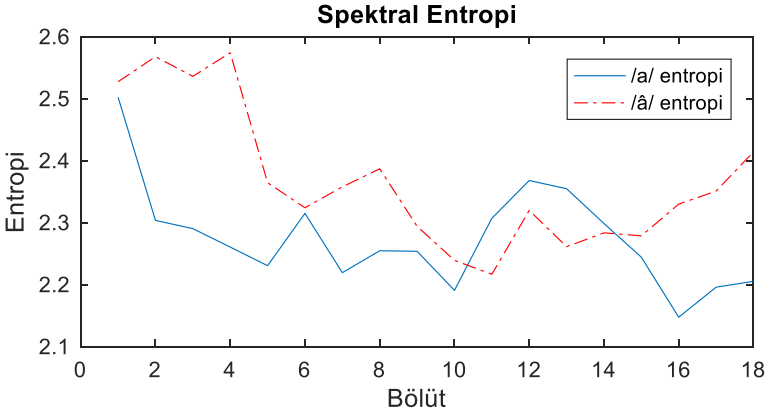
**Tablo 1.** İnceltme işaretsiz ve işaretli seslerin temel ve formant frekansları için gruplar arasındaki p-değerleri

		F0	F1	F2	F3	F4
		p-değeri				
<b>Kadın</b>	/a/ ve /â/	<b>&lt;0,001</b>	0,806	<b>0,021</b>	0,653	0,744
<b>Erkek</b>	/a/ ve /â/	<b>0,045</b>	0,486	0,137	0,870	0,870

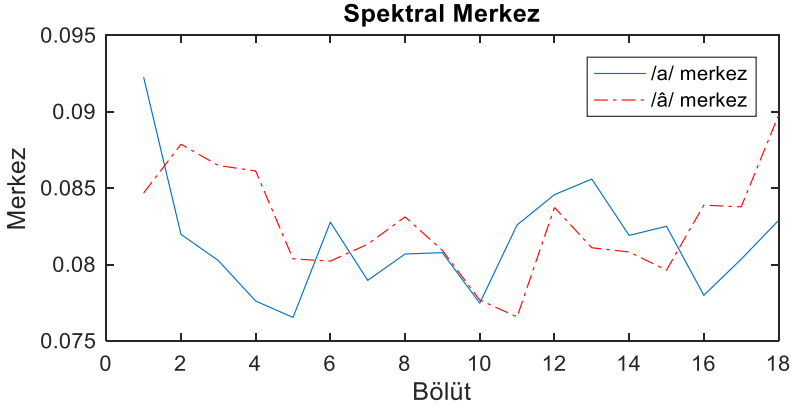


İnceltme işaretli ve işaretli sesler ayrıca spektral tabanlı entropi, merkez, akı ve düşüş ölçütleri ile değerlendirildi. Bu ölçütler hesaplanırken 48 kHz örnekleme frekansı olmak üzere %90 örtüşmeli 20 ms pencere uzunluğu kullanıldı. Spektral entropinin hesaplanmasında 32 frekans bölmesi ve 1024 Hızlı Fourier Dönüşümü uzunluğu kullanıldı. Spektral düşüş ölçütünün hesaplanmasında ise %85 frekans ağırlık merkezi olarak alındı. İnceltme işaretli /a/ ile inceltme işaretli /â/ seslerine ait spektral tabanlı entropi, merkez, akı ve düşüş ölçüt sonuçları Şekil 3’de görülmektedir. Şekil 3’den görülebileceği üzere, bu seslere ait spektral parametreler bölüt bazında farklılıklar göstermektedir. Entropi sonuçlarına bakıldığında, inceltme işaretli sesin işaretli sese göre entropi değerleri daha yüksek bulunmaktadır. Bu durum, işaretli seslerin işaretli seslere göre dağılımın daha düzenli olduğu bilgisini vermektedir. Spektral merkez ve düşüş ölçüt sonuçlarına göre ise iki ses arasında dağılım olarak büyük benzerlik olduğu söylenebilir. Spektral akı sonuçlarına göre ise inceltme işaretli seslerin merkez frekansları işaretli seslere göre daha yüksek değerde bulunmuştur.

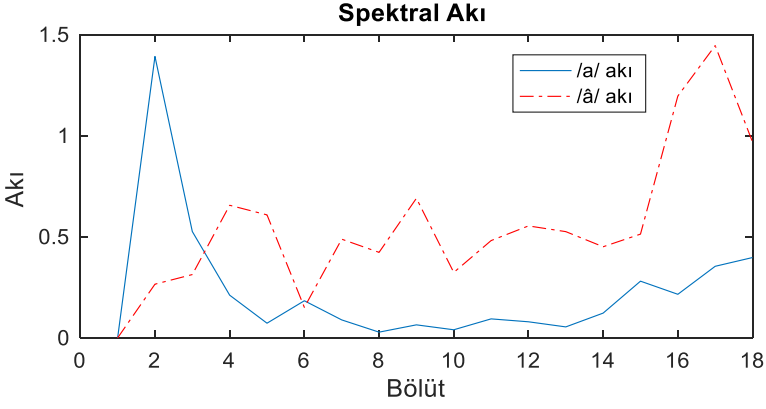
Tüm bu spektral sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, işaretli ve işaretli sesler bölüt bazında farklılıklar gösterse bile ortalaması alınmış değerler birbirine çok yakın bulunmaktadır. Bu nedenle, istatistiksel testlerde (Mann-Whitney testi) spektral anlamda iki grup ses arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı Tablo 2’de görülmektedir.



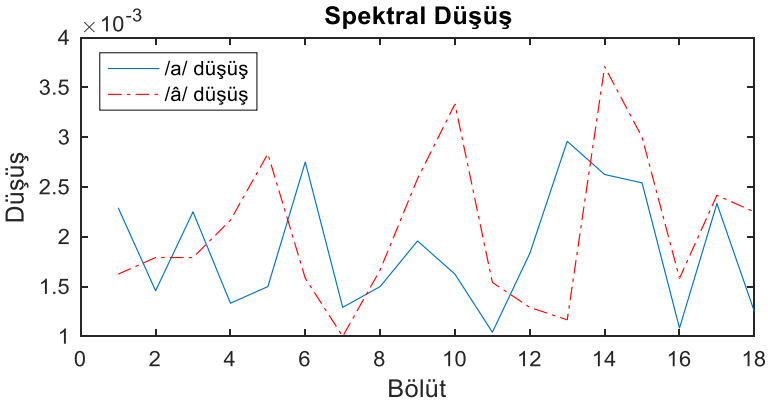
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.** İnceltme işaretli /a/ ve işaretli /â/ seslerinin: (a) spektral entropi, (b) spektral merkez, (c) spektral akı ve (d) spektral düşüş değerleri

**Tablo 2.** İnceltme işaretli ve işaretli seslerin spektral tabanlı ölçütler için gruplar arasındaki p-değerleri

		Entropi	Merkez	Akı	Düşüş
		p-değeri			
<b>Kadın</b>	/a/ ve /â/	0,389	0,539	0,902	0,967
<b>Erkek</b>	/a/ ve /â/	0,461	0,285	0,624	0,367

## Tartışma

Türkçe için yapılan doğal dil işleme çalışmaları yıllar içinde önemli mesafeler kat etmesine rağmen günümüzde hâlâ önemli eksikleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerden biri, ünlü harflerin üzerine gelen şapka işareti ya da inceltme işaretlerinin etkisinin ses işleme yöntemleri ile sayısal analiz edilmemiş olmasıdır. Bu çalışmada, doğal dil işleme çalışmalarında karşılaşılan bu eksikliğı gidermek için Türkçe dilinde kullanılan inceltme işaretli ve işaretli /a/ ünlü harfinde sayısal analizler ile ses parametrelerinde oluşan farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 15 kadın ve 15 erkek denekten kaydedilen, okunuş ve anlamları farklı olan *kar* ile *kâr* kelimelerinden elde edilen /a/ ünlü harflerinin temel ve ilk dört formant frekansları ile spektral tabanlı entropi, merkez, akı ve düşüş ölçütleri hesaplanmıştır. Elde edilen istatistiki sonuçlara göre, kadınlarda temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) miktarda azalırken ikinci formant istatistiksel olarak anlamlı ( $p = 0,021$ ) miktarda artmıştır. Erkeklerde ise sadece temel frekans istatistiksel olarak anlamlı ( $p = 0,045$ ) miktarda azalmıştır. Ayrıca, spektral tabanlı ölçüt sonuçları da inceltme işaretli ve işaretli seslerin spektral anlamda büyük benzerlikler gösterdiğini kanıtlamaktadır. Tüm bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, bu sesleri ayırmada, hem kadınlarda hem de erkeklerde temel frekans değerlerinin belirleyici olduğu ve spektral dağılımlarında ise büyük benzerlikler olduğu sonucuna varılmıştır.

## Kaynaklar

- Altundağ, A. (2008). Nasal Obstrüksiyonu Olan Ve Olmayan Hastaların Sesin Başlama Sürelerinin (Voice Onset Time) Ölçülerek, Karşılaştırılması Ve Artikülasyona Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi, Göztepe Eğitim Ve Araştırma Hastanesi Kulak Burun Boğaz Kliniği (Uzmanlık Tezi) s.1-57, İstanbul.
- Arslan, Ö., & Engin, E. Z. (2019). Noise Robust Voice Activity Detection Based on Multi-Layer Feed-Forward Neural Network. *Electrica*, 19(2), 91-100.
- Feldman, S. (1999). NLP meets the Jabberwocky: Natural language processing in information retrieval. *ONLINE-WESTON THEN WILTON-*, 23, 62-73.
- Flanagan, J. L. (1955). A difference limen for vowel formant frequency. *The journal of the Acoustical Society of America*, 27(3), 613-617.
- Gudivada, V. N., Rao, D., & Raghavan, V. V. (2015). Big data driven natural language processing research and applications. In *Handbook of Statistics*, Vol. 33, pp. 203-238.
- Güven, M. (2015). Türkçedeki Ünlülerin Formant Frekans Değerleri ve Enkliz Ses Olayı. *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10(16), 689-712.
- Hirschberg, J., & Manning, C. D. (2015). Advances in natural language processing. *Science*, 349(6245), 261-266.
- Inkelas, S., Küntay, A., Orgun, O., & Sprouse, R. (2000). Turkish Electronic Living Lexicon (TELL). *Turkic Languages*, 4(2), 253-275.
- Kewley Port, D., & Watson, C. S. (1994). Formant frequency discrimination for isolated English vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 95(1), 485-496.
- Liddy, E. D. (1998). Enhanced text retrieval using natural language processing. *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology*, 24(4), 14-16.

# BENEKLEME TABANLI AKIŞ GÖRÜNTÜLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ

**İbrahim Lütfullah METE\* & Mehmet ENGİN\*\* -**

**Erkan Zeki ENGİN\*\*\***

*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, iltere27@gmail.com*

*\*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, mehmet.engin@ege.edu.tr*

*\*\*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, erkan.zeki.engin@ege.edu.tr*

**Özet:** Kan akışı ölçümü, doku canlılığı gözlemlenmesinde çok önemlidir. Ayrıca perfüzyon değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Bu anlamda; tıbbi tanılamada, tümör ve doku analizlerinde ve yara iyileşmesi takibinde özellikle kılcal kan akışının lokal olarak izlenmesi önemlidir. Literatürdeki benzer yöntemler, lazer benekleme zıtlık veya doppler esaslıdır. Benekleme görüntülerinin fraktal analizi oldukça yeni bir yaklaşım olup, bu çalışmada laboratuvar ortamında üretilen benekleme akış görüntülerinde akış hızı bilgisi fraktal yöntemlerle araştırılmıştır. Fraktal boyut ve kutu sayıları her video çerçevesi için hesaplandığında ve zamana göre değerlendirildiğinde kutu sayısının benekleme akış hızıyla azaldığı, ancak fraktal boyutun benekleme akış hızıyla belirgin şekilde değişmediği gözlemlenmiştir. Sistemin in-vitro sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra in-vivo ortamda çalışabilecek komple bir sistemin tasarımına geçilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Benekleme akış analizi, benekleme kutu sayımı, benekleme fraktal boyutu

## Giriş

Kan akışı ölçümü, doku canlılığı gözlemlenmesinde çok önemlidir. Ayrıca perfüzyon değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Bu anlamda; tıbbi tanılamada, tümör ve doku analizlerinde ve yara iyileşmesi takibinde özellikle kılcal kan akışının lokal olarak izlenmesi önemlidir. Literatürdeki benzer yöntemler, lazer benekleme zıtlık veya doppler esaslıdır. Benekleme (speckle) görüntülerinin fraktal analizi oldukça yeni bir yaklaşımdır.

Benekleme terimi, lazerlerle beraber ortaya çıkan, uyumlu (coherent) lazer ışınının pürüzlü yüzeyler üzerine düşürülmesiyle elde edilen benekli görüntüdür. Yüzeyin pürüzlülüğü hakkında veya yüzeydeki pürüzlerin hareketleri hakkında bilgi taşımaktadır (Trisnadi, 2002).

Fraktal ise kendi kendini farklı ölçülerde - büyüklüklerde tekrar eden nesnelere dir. Nesnelere nın bütün büyüklüklerde tam olarak aynısı olması gerekmez, fakat aynı tip yapılar tüm büyüklüklerde görünmelidir (Weisstein, 2017).

Fraktal ve fraktal boyut kavramları ilk kez 1975'te Benoit Mandelbrot tarafından tanımlanmıştır. Fraktal boyut, detaydaki değişimin ölçekteki değişime oranı, örüntünün (pattern) karmaşıklığını karakterize etmek için kullanılan bir ölçüttür (Mandelbrot, 1982).

Fraktal istatistikler biyolojik sistemler için çok uygundur. Aktif benekleme serisinin iyi bilinen analiz metodu, lazer benekleme zıtlığına (contrast) dayanır. Bununla birlikte, fraktal istatistikler benekleme görüntülerini incelemek için de çok uygun bir yoldur. İşlemin farklı zamanlardaki dalgalanmaları, benekleme sinyalinin fraktal istatistiği hesaplanarak ölçülebilir. Benekleme görüntülerinin fraktal boyutunun değerlendirilmesi akış sürecinden gelen çok önemli bilgiler verir (Boas and Dunn, 2010; Dainty, 2013; Nemati, Kenjeres, Urbach and Bhattacharya, 2016).

Fraktal nesne belirli ölçelerde kutulara bölündüğünde, içinde fraktal parçası olan kutu sayısının kutu ölçğine göre logaritmik çizimi doğrusal olmalıdır. Bu doğrunun eğimi fraktal boyutu ifade eder. Bu yöntem kutu sayma (box-counting) yöntemi olarak adlandırılır.

Bu çalışmada, lazer ile aydınlatılan sıvı akışının saçıcı tanecikleri hareket ettirmesi esnasında bir laboratuvar düzeneği ile alınan benekleme görüntüleri üzerinde fraktal boyut ve kutu sayımları hesaplanması ile akışla alakalı veri çıkarılmaya çalışılmıştır.

Benzer bir çalışmada (Daofu, Wang and Zhou, 2008) tek boyutlu benekleme sinyalinin zamana göre grafiğine kutu sayım yöntemi uygulanmıştır ve kutu sayısının benekleme hızı ile doğru orantısını göstermiştir.

### **Benekleme Kavramı**

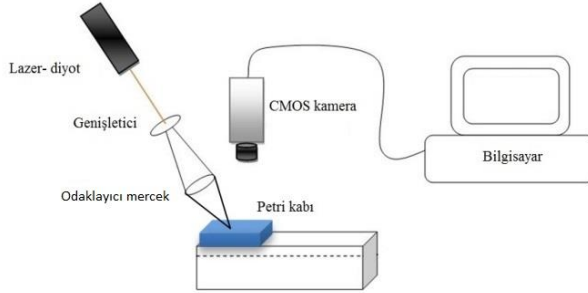
Benekleme terimi, rastgele bir granüler yapıya karşılık gelir. Bu örüntü, uyumlu ışık rastgele bir ortamdan yayıldığında oluşan dağınık ışığın ürettiği rastgele bir yoğunluk dağılımıdır. Rastgele olduğu için sadece istatistiksel olarak tanımlanabilir. Görüntü düzlemindeki bu rastgele girişim örüntüsü, ortamdaki saçılma parçacıklarının hareketi tarafından üretilen dağınık ışıktaki kaymalar nedeniyle değişmektedir. Benekli görüntü, farklı boyut ve yoğunluktaki lekeler içermektedir. Benekleme temelli tekniklerde, numune çoğunlukla bir lazer tarafından aydınlatılır ve dağınık ışık bir sensör tarafından toplanır. Toplanan ışık bize yaşam ortamı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Lazer benekleme zıtlık görüntüleme yöntemi ile sistem dinamikleri hakkında ayrıntılı bilgi

sağlamak mümkündür (Boas and Dunn, 2010; Dainty, 2013; Nemati, Kenjeres, Urbach and Bhattacharya, 2016).

## Deney Düzeneği

Pahnvar'ın (2016) yüksek lisans tezinde kan akışı tespiti ve damar yapısı algılaması için kullandığı optik sistem ile kaydedilen görüntüler kullanılmıştır. Sistem “lazer-diyot (633 nm, 50 mW), optik genişletici, yoğunlaştırıcı lens, tek renkli CMOS kamera (Canon 40D, 10.1 MP, 14 bit ve 22 fps örnekleme), Canon EF-28-135 mm f/3.5-5.6 IS USM Lens” elemanlarından oluşmaktadır.

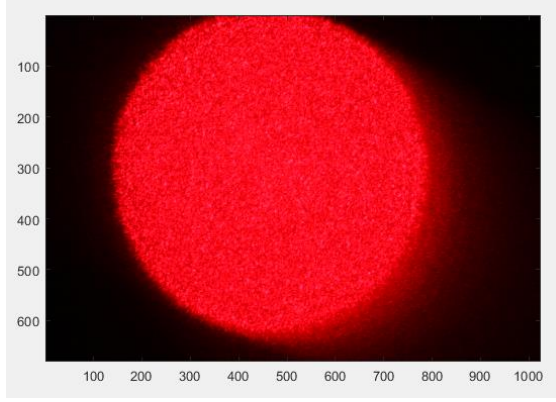
In-vitro ölçümler, insan deri dokusunu taklit etmek üzere kullanılan silikon tabanlı fantomlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, damar yapısının taklidi için 0,5 mm kalınlığında 2 adet plastik boru (2 mm ve 3 mm çaplı), ana fantom malzeme yüzeyinden 3 mm derine gömülü olarak yerleştirilmiştir. Kan, %20'lik intralipid çözeltisi ile taklit edilmiştir ve bu çözelti yapay damar yapılarına (plastik borular) enjekte edilmiştir. Farklı sıvı akış hızlarını elde etmede, sıvı dolaşımı için peristaltik pompa (Model BT300-1F) kullanılmıştır. Odaklamalı aydınlatma yönteminde kullanılmak üzere geliştirilen sistem Şekil 1'de verilmiştir (Pahnvar, 2016).



Şekil 1. Kullanılan optik düzenek

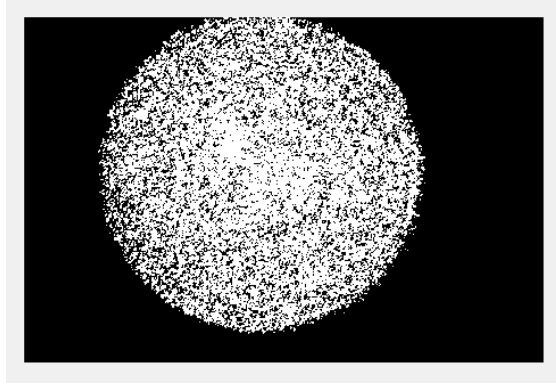
## Bulgular

Kaydedilen örnek bir görüntü çerçevesi (frame) Şekil 2'de görülmektedir. Görüntü kırmızı lazer ile elde edildiğinden kırmızı bileşeni ağırlıklıdır ve mavi ve yeşil bileşenler ise çok zayıftır.



**Şekil 2.** İşlenmeden önce örnek bir çerçeve

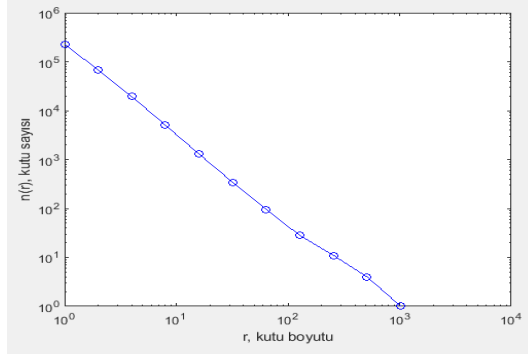
Görüntü ilk olarak gri tonlamalı formata çevrilmiştir. Sonra da bir eşik değeri uygulanarak siyah-beyaz tek renkli biçime dönüştürülmüştür. Bu eşik değeri deneme yanılma yöntemiyle görüntünün fraktal özelliklerinin (lokal fraktal boyut eğrisinin en düz çıktığı) en iyi çıktığı değere ayarlanmıştır. Bu aşamadaki görüntü çerçevesi Şekil 3'te görülmektedir.



**Şekil 3.** Siyah-beyaz tek renkli görüntü çerçevesi

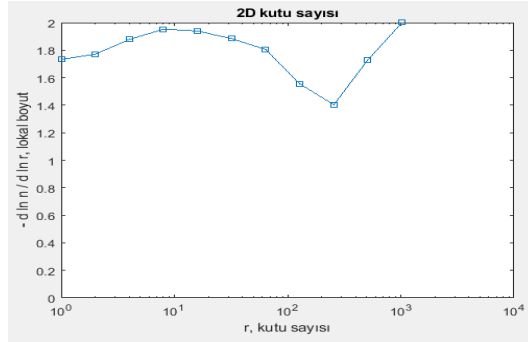
Kutu sayma yöntemi, karmaşık örüntüleri analiz etmek için gerekli olan verileri toplamakta kullanılır. Bu yöntem, görüntü, nesne vb. daha küçük kutu şeklindeki parçalara bölerek gerçekleştirilir (Mandelbrot, 1982; Iannaccone, and Khokha, 1996). Bu, bir görüntünün fraktal boyutunu hesaplamak için en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Kutu sayım yöntemi ile görüntü çerçevesi kutulara bölündüğünde ve içinde beyaz piksel olan kareleri sayıp kutu sayısını kutu boyutuna göre logaritmik olarak çizdirildiğinde Şekil 4'teki grafik elde edilmektedir. Kutu boyutu iki boyutlu görüntü için  $N \times N$  piksel görüntü karesi parçalarıdır.  $1 \times 1$  piksel kutu boyutundan başlanıp tüm görüntü karesi bir kutu olana kadar kutu boyutu arttırılır.





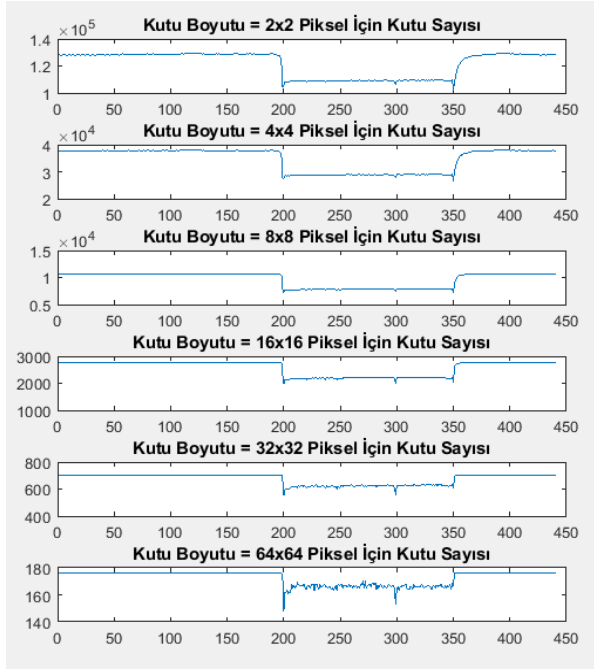
**Şekil 4.** Kutu sayısının kutu boyutuna göre grafiği

Fraktal bir görüntü için Şekil 4'teki grafik düz bir çizgi olmalıdır. Bu düz çizginin eğimi fraktal boyutu vermektedir. Yine aynı algoritma ile eğrinin her bir noktası için ayrı yerel eğimler çizdirildiğinde Şekil 5'teki yerel boyut grafiği elde edilmektedir. Bu eğrinin yatay çizgiye yakın olan bölgeleri fraktal olarak analiz edilebilmektedir. Grafiğe göre 4x4, 8x8, 16x16, 32x32 piksel kutu boyutları için yaklaşık fraktal boyut 1,9'dur.

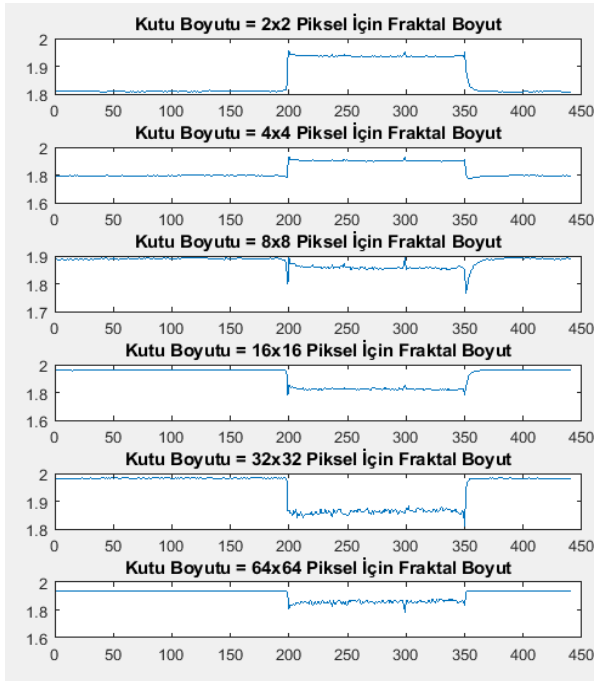


**Şekil 5.** Lokal fraktal boyut eğrisi

Bu aşamaya kadar bir görüntü çerçevesi için fraktal hesaplamalar yapıldı. Daha sonra akışla ilgili bilgi elde etmek için benekleme videosundaki tüm çerçeveler için aynı fraktal işlemler tekrarlanarak kutu sayılarının ve fraktal boyutun zamana bağlı grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'deki gibi elde edilmektedir.



Şekil 6. Kutu sayısının zamana göre değişimi



Şekil 7. Fraktal boyutun zamana göre değişimi

## **Tartışma**

Benekleme videosunda başlangıçta durağan olan sıvı bir süre sonra pompa çalıştırılarak hızlandırılmıştır ve bir süre sonra tekrar kapatılarak akış durdurulmuştur.

Şekil 6'yı incelediğimizde kutu sayısının her kutu boyutu için hız arttığında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda akış hızı ve kutu sayısı ters orantılı diyebiliriz. Bu bulgu; Daofu, Wang and Zhou'nun (2008) çalışmasıyla çelişiyor gibi görünmekle birlikte kutu sayımında tek boyutlu benekleme parlaklığı ve zaman iki eksen olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ise kutu sayımı yatay ve dikey ekseninde görüntü pikselleri olarak hesaplanmaktadır ve sonra zamana göre çizim yapılmaktadır.

Şekil 7'ye baktığımızda ise fraktal boyutun akış hızına göre farklı kutu boyutları için farklı değiştiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle fraktal boyut akış hızıyla artıyor veya azalıyor denilememektedir.

Literatürdeki çalışmaların çoğu lazer benekleme zıtlık esaslıdır ve bu sistemlerde optik sistem kalibrasyonu zordur. Darbeli akış uygulamalarında ise genellikle Fourier dönüşümü kullanılır ve dolayısı ile hesaplama karmaşıklığı bulunmaktadır. Ayrıca hesaplanan akış değerinin çözünürlüğü, Fourier dönüşümü parametrelerine bağlıdır. Literatürde yer alan lazer-doppler akış ölçüm sistemleri ise pahalı yapılardır. Yapılan çalışma incelendiğinde ise; yöntemin donanımı oldukça yalın (iki optik lens ve bir CMOS kamera), görüntü ön-işleme aşamaları oldukça basit (sadece ikili görüntüye dönüştürme içerir), fraktal analiz aşamasında ise piksel esasında inceleme yapılır (dönüşüm kullanılmaz) ve hesaplama çözünürlüğü kutu ölçütü ile denetlenmektedir.

## **Sonuçlar**

Bu çalışmada, benekleme akış karakteristiklerinin fraktal kutu sayım yöntemiyle kestirilebileceği gösterilmiştir. Fraktal boyut ile akış arasında net bir ilişki bulunmamıştır. Çeşitli hızlarda çeşitli benekleme verileri ile daha fazla analiz yapılarak daha detaylı sonuçlar elde edilebilir. Sistemin in-vitro sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra in-vivo ortamda çalışabilecek komple bir sistemin tasarımına geçilebilir.

## **Kaynaklar**

- Boas, D.A., & Dunn, A.K. (2010). Laser speckle contrast imaging in biomedical optics. *Journal of Biomedical Optics*, 15.1, 011109.
- Dainty, J.C. (2013). *Laser speckle and related phenomena* (Vol. 9). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Daofu, H., Wang, M., & Zhou, J. (2008). Fractal analysis of self-mixing speckle signal in velocity sensing. *Optics Express*, 16(5), 3204-3211.
- Iannaccone, P.M., & Khokha, M. (1996). *Fractal geometry in biological systems: an analytical approach*. CRC Press, New York.
- Mandelbrot, B.B. (1982). *The fractal geometry of nature*. Times Books.
- Nemati, M., Kenjeres, S., Urbach, H.P., & Bhattacharya, N. (2016). Fractality of pulsatile flow in speckle images. *Journal of Applied Physics*, 119.17, 174902.
- Pahnvar, A.J. (2016). Lazer benekleme - zıtlık görüntülemesi ile yakın deri – altı mikro kan dolaşımına ilişkin kan akışının kestirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Trisnadi, J.I. (2002). Speckle contrast reduction in laser projection displays. *Proceedings of the SPIE*, 4657, 131-137.
- Weisstein, E.W. (2017). Fractal. From MathWorld - A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Fractal.html> (accessed 20.01.2018).

# PARAMETRIC STUDIES ON DOUBLE-SIDED SPLIT RING RESONATOR (DS-SRR)

Ismail YARICI\*-Yavuz OZTURK\*\*

\*Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Engineering ,  
[ismail.yarici@adu.edu.tr](mailto:ismail.yarici@adu.edu.tr)

\*\*Ege University, Institute of Science , [yavuz.ozturk@ege.edu.tr](mailto:yavuz.ozturk@ege.edu.tr)

**Abstract:** Metamaterials (MTMs), that are not found directly in nature, are theoretically proposed artificial materials by Veselago in the 1960s (Veselago, 1968). Metamaterials exhibit unusual properties such as negative dielectric constant and negative magnetic permeability. In the design of the resonator structures metamaterials are widely used (Ali, 2018; Bhoi et al, 2014; Özgür, et al,2016). In the literature, resonators are mostly modeled with inductive and capacitive circuit elements (Bhoi et al, 2014). The inductive structures used in the modeling depends mainly on the size and pattern of the conductive line. On the other side, capacitive structures depend on the conductor line pattern as well as the thickness and structural properties of the dielectric printed board (Özgür, et al,2016). These variables (pattern, thickness, etc.) are parameters that determine the resonance frequency of the resonator and the absorption of the signal. In this study, two-sided split ring resonator (DS-SRR) was designed and the shifts in the resonance frequency were investigated numerically depending on some geometrical parameters; the width of SRR ( $w$ ), the split width of the rings ( $s$ ) and the outer length of DS-SRR( $l_{res}$ ).

**Keywords:** Metamaterials (MTMs), DS-SRR, resonance frequency.

## Introduction

Metamaterials are artificial materials that are not found in nature and have unusual properties different from natural materials such as glass, water, diamond etc. Unlike natural materials, MTMs have negative electrical permittivity ( $\epsilon$ ) and negative magnetic permeability ( $\mu$ ). These properties result from designed artificial periodic structures on the material surface. Due to this unique feature, different reactions are observed as a result of the interaction of the MTMs with electromagnetic waves. For instance, in nature gold, even on the powder form, appears yellow. However, the nano-sized periodic patterns on its surface may alter the behavior of the light and it may be appeared green or a different color.

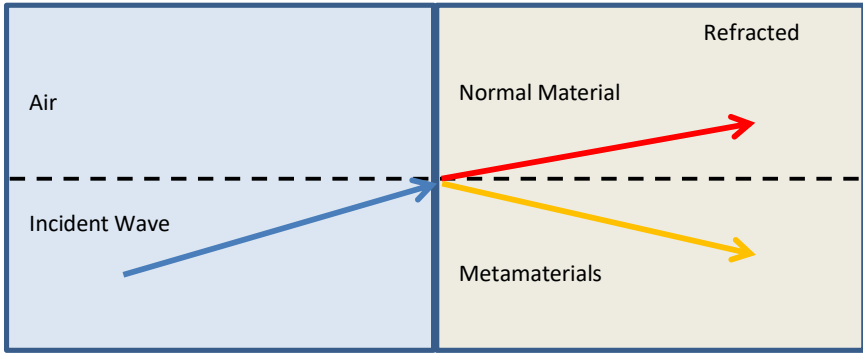


Figure 1. The behaviour of MTMs with the interaction of light

Metamaterials were first proposed by Russian Physicist Victor Georgievich Veselago theoretically in 1968. He had investigated analytically a medium that has both negative permittivity ( $\epsilon$ ) and permeability ( $\mu$ ). The MTMs are increasingly demanded different applications; süperlens, medical, image processing, sensor technologies, defense industry, antenna, and microwave studies, etc. The MTMs has been also successfully applied to the resonators, SRRs extensively. Split-ring resonators (SRR), is designed for the first time in 1999 by Pendry et al (Pendry,1998), exhibit a negative magnetic permeability in the resonance region (H.A. Majid · M.K.A. Rahim,2011). The split ring resonators (SRRs) are structurally composed of different numbers of metal rings etched on a dielectric substrate. There are slits etched on opposite sides of these metal rings and rings can be in different shapes; square, pentagon, etc (H. Nornikman,2012).

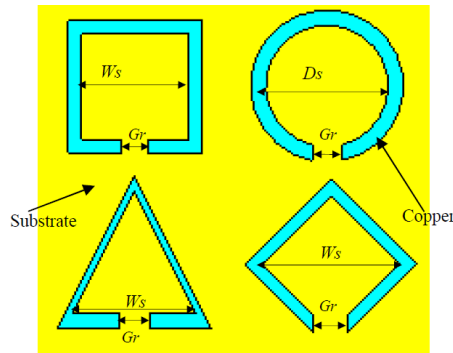


Figure 2. Single complementary split ring resonator structure design with 4 different shapes – square, circular, triangular and rhombic (H. Nornikman,2012)

MTMs are artificial periodic structures, however, due to having strong magnetic resonance even a single SRR unit cell exhibits a strong response with the interaction of EM waves (Gay-Balmaz P, 2002). The SRRs have

inductive and capacitive elements, therefore a single SRR structure can be modeled as an L-C circuit (Baena J D,2004). These capacitive and inductive effects are caused by the geometric structure of the SRR pattern.

In the present study, the magnetic resonance of double sided split-ring resonators (DS-SRR) and the effect of DS-SRRs' geometrical parameters on the magnetic resonance frequency are investigated numerically. The studied parameters of the structure are: the width of DS-SRR ( $w$ ), the split width of the rings ( $s$ ) and the outer length of DS-SRR ( $l_{res}$ ).

### Design of the DS-SRR and Parametric Studies

In this study, to analyze the effect of geometrical parameters on the resonance frequency, double-sided split ring resonator (DS-SRR) was designed. The designed resonator consists of a pattern and a microstrip line on the backside. The pattern has two concentric etched square rings with slits on opposite sides. Slits are designed to be perpendicular to the microstrip line.

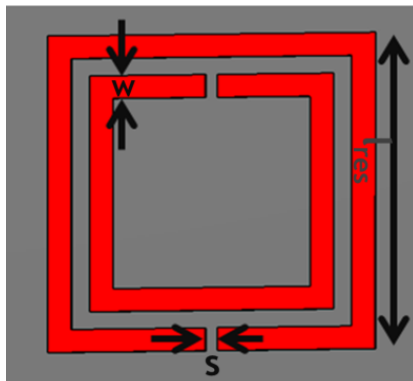


Figure 3. Schematic drawing of designed DS-SRR

The studied parameters (the width of DS-SRR,  $w$ ; the split width of the rings,  $s$ ; the outer length of DS-SRR,  $l_{res}$ ) are shown in Fig3. The geometrical parameters  $s$ ,  $w$ ,  $l_{res}$  were increased from 0.3, 0.3, 4 mm to 0.5, 0.7, 7 mm in 0.05, 0.1, 1 mm increments, respectively. The effects of these increases in parameters to the resonance frequency were investigated by changing only one parameter for each time. At the beginning the parameters are taken as  $s=0.3$  mm,  $w=0.4$  mm and  $l_{res}=5$  mm. The numerical analyses were observed between the frequency of 2.5 GHz and 5 GHz.

## Effect of Split Width (s)

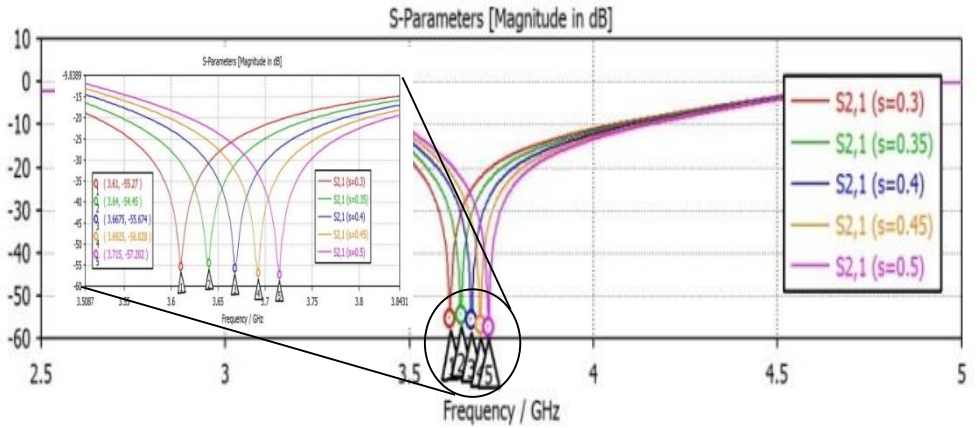


Figure 4. Transmission spectra of DS-SRR with different split widths

By keeping other parameters constant, we only changed the split width of DS-SRR. It was increased from 0.3 to 0.5 in 0.05 increments. The obtained transmission spectra of DS-SRR with different split widths shown in Fig.4. Since with the increasing of the  $s$ , the capacitive effect getting decrease, the resonance frequency is getting higher.

## Effect of DS-SRR Length ( $l_{res}$ )

The other parameter, DS-SRR length was changed with 1 mm steps between 4 and 7 mm. The variation of the magnetic resonance frequency with DS-SRR length is shown in Fig.5. The results illustrate that increasing of the  $l_{res}$  decreases the resonance frequency of the DS-SRR.

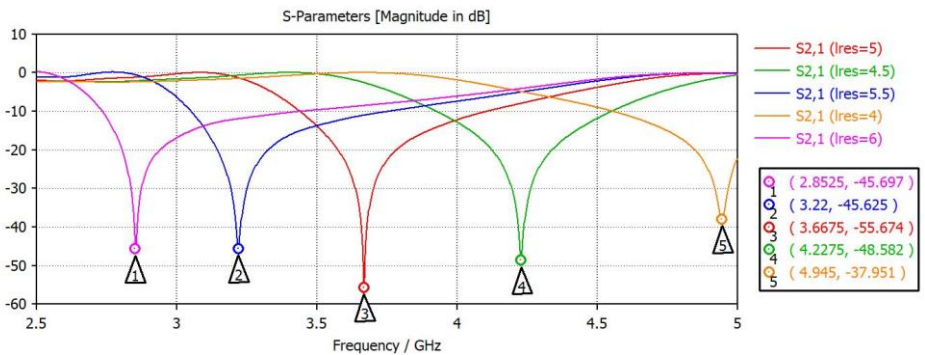


Figure 5. Transmission spectra of DS-SRR with different resonator lengths



## Effect of the Width of DS-SRR ( $w$ )

In the design of double-sided split-ring resonator patterns, two concentric square rings were etched with the varying widths 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7 mm. Similar to the  $s$  parameter, there is a positive relationship with the width of DS-SRR ( $w$ ) and the resonance frequency. Figure 6 shows this relationship.

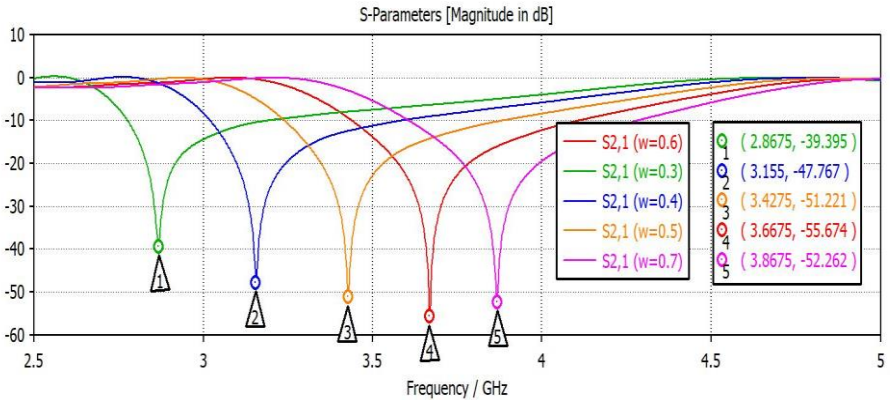


Figure 6. Transmission spectra of DS-SRR with different DS-SRR widths

## Conclusions

We investigated the magnetic resonance of split-ring resonators (SRR) and the effect of SRRs' geometrical parameters on the magnetic resonance frequency numerically. As the studied parameters of the structure  $w$ ,  $s$  and  $l_{res}$  are were taken consideration. The obtained results illustrate that whereas increasing of the  $l_{res}$  decreases the resonance frequency of the DS-SRR, with the increasing of  $s$  and  $w$ . the resonance frequency is getting higher.

## References

- Pendry J B, Holden A J, Robbins D J and Stewart W J 1998 J. Phys.: Condens. Matter 10 4785
- Gay-Balmaz P and Martin O J F 2002 J. Appl. Phys. 92 2929
- Baena J D, Marques R, Medina F and Martel J 2004 Phys. Rev. B 69 014402
- V.G.Veselago, "The Electrodynamics of subsences with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ ", Solviet Physics Uspekhi, vol.10, no.4, pp.509-514,1968

- ÇINGI, Ali. Mikrodalga Uygulamaları İçin Mükemmel Metamalzeme Sinyal Emici Tasarımı. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2018, 7.1: 438-442.
- BHOI, B., et al. Study of photon–magnon coupling in a YIG-film split-ring resonant system. *Journal of Applied Physics*, 2014, 116.24: 243906.
- ERTAN, Özgür, et al. Sensitivity analysis of different resonator structure for sensor applications in microwave region. In: *Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 2016 National Conference on. IEEE*, 2016. p. 550-553.
- Nornikman, H., Ahmad, B.H., Aziz, M.Z., & Othman, A.R. (2012). Effect of single complimentary split ring resonator structure on microstrip patch antenna design. *2012 IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)*, 239-244.
- Majid, H. A., & Rahim, M. K. A. (2011). Parametric studies on left-handed metamaterial consist of modified split-ring resonator and capacitance loaded strip. *Applied Physics A*, 103(3), 607-610.

# HIGHER ORDER SLIDING MODE CONTROL OF FOUR ROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLE

Umut TILKİ\* & Ali Can ERÜST\*\*

\* *Süleyman Demirel University, Electrical and Electronics Engineering,  
{umuttilki}@sdu.edu.tr*

\*\* *Süleyman Demirel University, Electronics and Communication Engineering,  
{ac.erust7}@gmail.com*

**Abstract:** Nowadays, small structured unmanned aerial vehicles (UAV) with four-rotors appear in many military and civilian applications. As the usage of these vehicles becomes widespread, the development of controller structures which allow the UAVs to follow a specified trajectory precisely is a new area of interest for researchers. In this work, firstly, nonlinear mathematical model of a four rotor unmanned air vehicle is obtained. In order to obtain the mathematical model of the UAV Newton - Euler equations are used. In the trajectory tracking system of this vehicle, the control process is divided into two subsystems in order to provide position and attitude controls. For position control, a state variable is obtained with combination of the error values in position and velocity. In this time, for the attitude control of the vehicle two state variables are obtained with the linear combinations of error values in position and velocity. In determining the coefficients of these state variables, the coefficients are obtained by using the stability of overall system and Root-Hurwitz stability criterion. The higher order sliding mode controller is designed to enable the UAV to reach determined waypoints and track the determined trajectory. The proposed controller and unmanned aerial vehicle model are implemented in the Matlab / Simulink simulation environment. The detailed analysis of the simulation results demonstrated that proposed higher order sliding mode controller provides robust control against external noise.

**Keywords:** Quadrotors, trajectory tracking, higher order sliding mode control

## Introduction

In the past few years, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have obtained significant interest both military and civilian applications. These vehicles are used in many different dangerous and dirty missions successfully such as search and rescue applications, mapping of an unknown environment, automatic monitoring of forest fires, cargo services, border security surveillance, cinema industry etc. Because of this growing interest, controlling of these type of small structured UAVs precisely appeared as a new area for the researchers [1-3].

Quadrotors with the vertical take off and landing (VTOL) property have the advantage against fixed wing unmanned air vehicles. As the usage of the quadrotors increases, the need for control algorithms, which should provide precise tracking for position and attitude increases as well. For this purpose, there are some approaches to control quadrotors in the literature. The control algorithms are taken into account with respect to the linearity of the controller approaches.

PID controllers are one of the most popular approaches not only for quadrotor systems but also many other control systems, since they have simple structures. Bolandi et al. presented a control approach for stabilization and disturbance rejection for attitude control of the quadrotor [4]. In order to tune PID controller parameters an analytical optimization method is used. The performance of the designed control structure is evaluated in time domain such as maximum overshoot, settling time, robustness etc. Li et al. designed a quadrotor in order to analyze the dynamical characteristics of the vehicle and the performance of the controller [5]. In their approach controller regulate the position and orientation of the 6 d.o.f. quadrotor. After analyzing the simulation results, the experiments were performed with designed PID controller on the quadrotor. Argentim et al. performed a comparison for a quadrotor control namely PID, Linear Quadratic Regulator (LQR) and PID tuned with a LQR loop [6]. The results were discussed by means of through simulations for 10 different attitudes of the quadcopter. In their simulation results, they found out LQR type controller was robust and produced very low steady state error but they had big transition delay. PID controllers were produced fast responses but their robustness was pure. PID tuned by the LQR controller presented inferior performance when compared to the others. Bouabdallah et al. designed a PID controller in order to trajectory tracking for the fully autonomous quadrotor [7]. Dynamical equations are derived using Euler-Lagrange formulation with gyroscopic effects. The obtained results were compared with LQR controller. Experimental results demonstrated that the PID controller gave better results under the disturbance. Yu et al. compared two control algorithms in height control of a quadrotor [8]. LQR and Model Predictive Control (MPC) algorithms are considered both in the presence of actuator faults and without any fault. Simulation results present that the acceptable performance for controlling the Qball-X4 for both fault-free and actuator fault cases.

Adjusting the gain parameters and implementing the PID controller is easy and it yields not only reliable results but also gives satisfactory results. in the mathematical models, quadrotors have nonlinear dynamics and

parametric uncertainties. The system is also open for disturbance effect like wind gusts and sensor spoofing. Because of these distorting effects and properties, it is not always helpful to acquire perfect results especially if the tracking performance needs to be precise. In dynamical modeling of the quadrotor systems, parametric uncertainties and coupled nonlinear dynamics are in quadrotor configuration. Since these uncertainties and nonlinearity model inherent of the quadrotors, adaptive nonlinear control approaches gives better results than traditional PID control techniques in trajectory tracking applications [9]. For attitude stabilization of a quadrotor, with describing a function for desired attitude angle acceleration a hybrid backstepping control and Frenet-Serret theory is considered [10]. The proposed controller was tested under disturbance for several simulation scenarios. Moreover these scenarios are validated with flight experiment on the DraganFlyer quadrotor. Lippiello et al. considered a failure on the quadrotor propeller [11]. In this fault tolerant control method opposite rotor to the broken one was turned off. Conducted simulations were validated the proposed backstepping control method for emergency landing. The Sliding Mode Control (SMC) is one of the variable structure control and in this controller manifolds are not continuous and they switch one state to another. Various SMC methods are proposed for trajectory tracking control for the quadrotors. Xu et al. used SMC in order to stabilize the quadrotor motions on x,y, z axes and heading angle under parametric uncertainties and disturbance effects [12]. Since one of the biggest problem in SMC is chattering, to eliminate the chattering effect some approaches are proposed in the literature. Although boundary layer extension is one of the solution for chattering, this solution introduces serious constraints on the controller performance. Another approach to reduce the chattering phenomena is to introduce the fuzzy based rules in SMC [13]. The overall stability of the system is guaranteed with Lyapunov stability theorem. The effectiveness and robustness of the proposed adaptive fuzzy SMC were demonstrated via simulation results. Zheng et al. presented a second order SMC (SOSMC) for trajectory tracking of a quadrotor [14]. In the controller part, SMC coefficients are determined by using predefined characteristic equation. The stabilization of the nonlinear uncertain system was provided with Lyapunov stability approach.

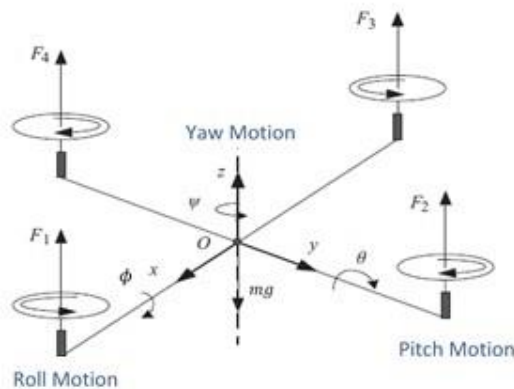
In the following subsequent parts of this study, firstly, the mathematical model and dynamic equations of a quadrotor is given. The higher order sliding mode control approach and application on a quadrotor is given in Section 3. The simulation results obtained by using higher order sliding mode control are given in Chapter 4. In the fifth section, the results of the

studies are discussed and the studies that are planned to be done in the near future are given.

### Mathematical Model of a Quadrotor

Quadrotors are equipped with vertical landing and take-off property by the help of four rotors, which are mounted on the shaft. In order to make the net torque at the center zero, two motors are rotated clockwise and the other two motors are rotated counterclockwise. Moreover, a quadrotor has four control inputs namely thrust and three rotational torque inputs around x, y and z axis while it has six degrees of freedoms. Therefore, this system is called underactuated system. Quadrotor structure is generally symmetrical body structure and center of gravity is located at the center of the vehicle. Quadrotors have three different movement on its axis: (i) rotors have equal rotational speed for take off and landing movement (ii) rotational speed differences on across placed rotors provides roll and pitch angles (iii) rotational speed difference provides to occur yaw angle.

In the literature for obtaining nonlinear mathematical model of quadrotor Euler-Lagrange and Newton-Euler approaches are considered. In this section derivation of the dynamical equations governing the quadrotor motion is presented by using Newton-Euler approach. A detailed quadrotor axis system is given in Figure 1. In here, quadrotor axis is demonstrated with  $B(O_{xyz})$ , while the world axis system is indicated with  $E(O_{xyz})$ . The position of a point and linear velocity is represented by  $[x \ y \ z]'$  and  $[u \ v \ w]$  respectively. In body frame Euler angles are correspond to the roll, pitch and yaw angles and shown by  $[\phi \ \theta \ \psi]'$  respectively and  $[p \ q \ r]'$  represents angular velocities.



**Figure 1:** Quadrotor axis configuration

In the dynamical equations,  $m$  denotes the total mass of the quadrotor,  $g$  and  $l$  represents acceleration of gravity and distance from center of gravity to a rotor respectively. Rotation matrix given in (Eq.1) is used for transition from body coordinates to world coordinates. In this way, it is determined how the angle changes of the quadrotor correspond to the position in the world coordinate system.

$$R = R(\phi, \theta, \psi) = R(z, \psi)R(y, \theta)R(x, \phi)$$

$$[R_B^E] = \begin{bmatrix} s\theta c\psi & c\psi s\theta s\phi - s\psi c\phi & c\psi s\theta c\phi + s\psi s\phi \\ s\theta s\psi & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Translational kinematics between body frames and world coordinate frames is given in (Eq.2).

$$v_E = R_B^E \cdot v_B \quad (2)$$

In this equation  $v_E$  and  $v_B$  are linear velocities in world and body coordinate frames respectively.

Rotational kinematics between world coordinate and body coordinate frames is given by (Eq.3).

$$\dot{\eta}_B = W^{-1} \cdot \gamma \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

In here  $\gamma$  denotes angular velocities in body frame. Equation 4 gives the acceleration of the quadrotor in world coordinates.

$$m\ddot{P} = g + R\tau_E \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = -g \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{\tau_E}{m} \begin{bmatrix} c\psi s\theta c\phi + s\psi s\phi \\ s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ c\theta c\phi \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K\dot{x}/m \\ K\dot{y}/m \\ K\dot{z}/m \end{bmatrix}$$

In this equation  $\tau_E$  denotes torque along z-axis and  $K$  represents disturbance effects caused by dragging force of the wind.

Angular accelerations in body frames,

$$\tau_B = I\dot{\gamma} + \gamma \times (I\gamma) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_{yy} - I_{zz})qr/I_{xx} \\ (I_{zz} - I_{xx})pr/I_{yy} \\ (I_{xx} - I_{yy})pq/I_{zz} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tau_\phi l/I_{xx} \\ \tau_\theta l/I_{yy} \\ \tau_\psi l/I_{zz} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K.l.p/I_{xx} \\ K.l.q/I_{yy} \\ K.r/I_{zz} \end{bmatrix}$$

where  $\dot{\gamma}$  angular acceleration,  $\tau_\phi$ ,  $\tau_\theta$  and  $\tau_\psi$  are the torques along roll, pitch and yaw axis respectively. The inertia matrix is in the form of  $\mathbf{I} = \text{diag}[I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}]$  since quadrotor body is symmetric.

The relationship between the torques along the axes and angular velocities on the rotors are given by Equation 6.

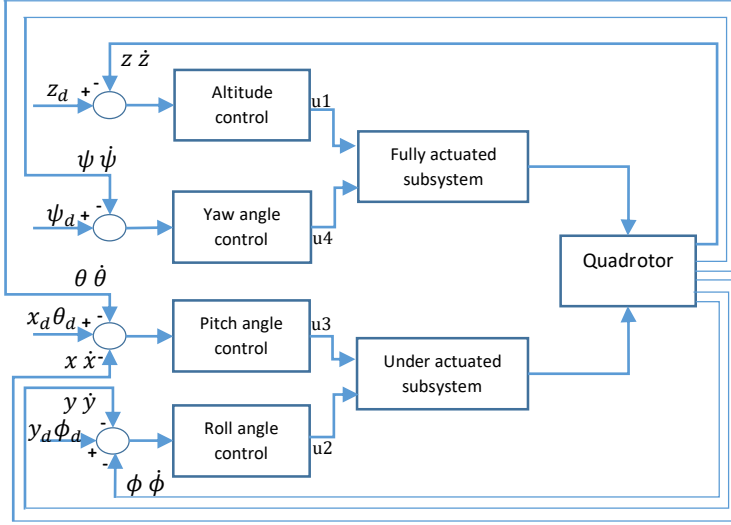
$$\begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \\ u4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_E \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ lb & 0 & -lb & 0 \\ 0 & -lb & 0 & lb \\ -k & k & -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

In here, k denotes lift coefficients of the rotors and b demonstrates dragging coefficients.

### Flight Controller Approach

In this section higher order sliding mode control approach is introduced. The control mechanism can be seen in Figure 2 with respect to the state variables and control signal inputs. In this diagram altitude and yaw angle control inputs are depend on one state variable. On the other hand pitch and roll control inputs are depend on both x-y positions and pitch-roll angles. This structure shows that desired values of  $x - \theta$  controlled inside of the pitch angle control block and  $y - \phi$  controlled inside of the roll angle control block. The aim of the controller is to make sure all the state variables converge to their desired values. For this aim sliding surface equations for fully actuated and under actuated system are determined. Next, exponential reaching law is selected as control law for the higher order sliding mode control. In the last part of the controller approach in order to determine controller coefficients pre-determined characteristic equation and Hurwitz stability criteria are considered.





**Figure 2:** Flight controller design structure

The sliding surface equations for the fully actuated subsystem is expressed in Eq.7 and Eq.8.

$$s_1 = c_z(z_d - z) + (\dot{z}_d - \dot{z}) \quad (7)$$

$$s_2 = c_\psi(\psi_d - \psi) + (\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) \quad (8)$$

Proposed exponential reaching law selected as  $\dot{s}_i = -\varepsilon_i \text{sgn}(s_i) - n_i s_i$ . When the reaching law is applied to the sliding surface new control input signals  $u_1$  and  $u_4$  found out as

$$u_1 = m \cdot \frac{c_z(z_d - z) + \dot{z}_d + d_1 + \varepsilon_1 \text{sgn}(s_1) + n_1 s_1}{\cos\phi \cos\theta} \quad (9)$$

$$u_4 = I_{zz}(c_\psi(\psi_d - \psi) + \ddot{\psi}_d + d_2 + \varepsilon_2 \text{sgn}(s_2) + n_2 s_2) \quad (10)$$

where the  $d_1 = K_3 \dot{z}/m$  and  $d_2 = K_6 r/I_{zz}$  and  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, n_1, n_2 > 0$ . For the fully actuated subsystem control input equations are extracted.

The sliding surface equations for the under actuated subsystem is expressed as in the following equations.

$$s_3 = c_1(\dot{x}_d - \dot{x}) + c_2(x_d - x) + c_3(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + c_4(\theta_d - \theta) \quad (11)$$

$$s_4 = c_5(\dot{y}_d - \dot{y}) + c_6(y_d - y) + c_7(\dot{\phi}_d - \dot{\phi}) + c_8(\phi_d - \phi) \quad (12)$$

Exponential reaching law is applied to the under actuated subsystem sliding surfaces and new control signals for  $u_2$  and  $u_3$  are obtained.

$$\dot{s}_3 = c_1(\ddot{x}_d - \ddot{x}) + c_2(\dot{x}_d - \dot{x}) + c_3(\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}) + c_4(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \quad (13)$$

$$\dot{s}_4 = c_5(\ddot{y}_d - \ddot{y}) + c_6(\dot{y}_d - \dot{y}) + c_7(\ddot{\phi}_d - \ddot{\phi}) + c_8(\dot{\phi}_d - \dot{\phi}) \quad (14)$$

According to the exponential reaching law and quadrotor equation of motion control signals are can be seen below

$$u_3 = \frac{l_{yy}}{l} \left( \frac{c_1}{c_3} (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + \frac{c_2}{c_3} (\dot{x}_d - \dot{x}) + \ddot{\theta}_d + \frac{c_4}{c_3} (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + d_3 + \frac{1}{c_3} (\varepsilon_3 \text{sgn}(s_3) + n_3 s_3) \right) \quad (15)$$

$$u_2 = \frac{l_{xx}}{l} \left( \frac{c_5}{c_7} (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + \frac{c_6}{c_7} (\dot{x}_d - \dot{x}) + \ddot{\phi}_d + \frac{c_8}{c_7} (\dot{\phi}_d - \dot{\phi}) + d_4 + \frac{1}{c_7} (\varepsilon_4 \text{sgn}(s_4) + n_4 s_4) \right) \quad (16)$$

In these equations;  $d_3 = -\frac{pr(l_{zz}-l_{xx})}{l_{yy}} + K_5 lq/l_{yy}$  and  $d_4 = -\frac{qr(l_{yy}-l_{zz})}{l_{xx}} + K_4 lp/l_{xx}$  and  $\varepsilon_3, \varepsilon_4, n_3, n_4 > 0$ .

Last part of the higher order sliding mode control is calculating of sliding surface coefficients and make sure the Quadrotor system is stable. For stability issue Lyapunov function is chosen as  $V_i = \frac{1}{2} s_i^2$  and time derivative of  $V_i$  is equals to  $\dot{V}_i = s_i \dot{s}_i \leq 0$ . Only under this condition all system states can reach and stay on the sliding surface.

Sliding surface coefficients are calculated with following method.

Let  $\dot{s}_3 = 0$

$$\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta} = -\frac{c_1}{c_3} (\ddot{x}_d - \ddot{x}) - \frac{c_2}{c_3} (\dot{x}_d - \dot{x}) - \frac{c_4}{c_3} (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \quad (17)$$

when  $s_3 = 0$

$$\dot{x}_d - \dot{x} = -\frac{c_2}{c_1} (x_d - x) - \frac{c_3}{c_1} (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) - \frac{c_4}{c_1} (\theta_d - \theta) \quad (18)$$

$$\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta} = -\frac{c_1}{c_3} (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + \frac{c_2^2}{c_1 c_3} (x_d - x) + \left( \frac{c_2}{c_1} - \frac{c_4}{c_3} \right) (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + \frac{c_2 c_4}{c_1 c_3} (\theta_d - \theta) \quad (19)$$

To represent the system as a cascaded form  $y_1 = \theta_d - \theta, y_2 = \dot{\theta}_d - \dot{\theta}, y_3 = x_d - x$ . So cascaded form can be seen as follows

$$\dot{y}_1 = y_2, \quad (20)$$

$$\dot{y}_2 = -\frac{c_1}{c_3} (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + \frac{c_2^2}{c_1 c_3} (x_d - x) + \left( \frac{c_2}{c_1} - \frac{c_4}{c_3} \right) (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + \frac{c_2 c_4}{c_1 c_3} (\theta_d - \theta) \quad (21)$$

$$\dot{y}_3 = -\frac{c_2}{c_1} (x_d - x) - \frac{c_3}{c_1} (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) - \frac{c_4}{c_1} (\theta_d - \theta) \quad (22)$$

When the state variables close to their desired values it means that state variables are close to their equilibrium points. Thus,  $\theta \rightarrow \theta_d, \dot{\theta} \rightarrow \dot{\theta}_d, \dot{x} \rightarrow \dot{x}_d$

and  $y_1 \rightarrow 0, y_2 \rightarrow 0, y_3 \rightarrow 0$ . According to this knowledge the new cascade form is obtained as

$$\dot{y}_1 = y_2, \quad (23)$$

$$\dot{y}_2 = -\frac{c_1}{c_3} \left( \ddot{x}_d - (-y_1 \cos\phi \cos\psi + \sin\phi \sin\psi) \frac{u_1}{m} + d_1 \right) + \frac{c_2^2}{c_1 c_3} (x_d - x) + \left( \frac{c_2}{c_1} - \frac{c_4}{c_3} \right) (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + \frac{c_2 c_4}{c_1 c_3} (\theta_d - \theta) + \zeta_1 y_1 + \zeta_2 y_2 + \zeta_3 y_3 \quad (24)$$

$$\dot{y}_3 = -\frac{c_2}{c_1} (x_d - x) - \frac{c_3}{c_1} (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) - \frac{c_4}{c_1} (\theta_d - \theta) \quad (25)$$

This cascade form is represented in a matrix form  $\dot{Y} = AY + BY$ , where  $Y = [y_1 y_2 y_3]'$  and

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ a & b & c \end{bmatrix} \text{ and } B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

In this representation B matrix is combinations of small values and it has no effect on the system. On the other hand A matrix is combination of leftmost eigenvalues. Which means that stability of the system depends on the values of matrix A. Thus matrix A determines the characteristic equation of the system and the system is stable with respect to the equilibrium points. Therefore new matrix form of cascaded system can be obtained as  $\dot{Y} = AY$ . When the matrix equation is solved, coefficients are obtained as follows,

$$A_{21} = -\frac{c_1 u_1}{c_3 m} \cos\phi \cos\psi + \frac{c_2 c_4}{c_1 c_3}, A_{22} = \frac{c_2}{c_1} - \frac{c_4}{c_3}, A_{23} = \frac{c_2^2}{c_1 c_3}, a = -\frac{c_4}{c_1}, b = -\frac{c_3}{c_1}, c = -\frac{c_2}{c_1}$$

Eigenvalues of the matrix A is expressed as  $\lambda I - A = 0$  and

$$\begin{vmatrix} \lambda & -1 & 0 \\ -A_{21} & \lambda - A_{22} & -A_{23} \\ -a & -b & \lambda - c \end{vmatrix} = 0$$

$$\text{Therefore, } \lambda^3 - (A_{22} + c)\lambda^2 + (cA_{22} - A_{21} - bA_{23})\lambda + cA_{21} - aA_{23} = 0 \quad (26)$$

Characteristic equation of the system selected as  $(\lambda + 1)(\lambda + 2)(\lambda + 3) = 0$

Finally characteristic equation and obtained coefficient equations are compared and final sliding surface coefficients are obtained due to comparison.

$$\frac{c_4}{c_3} = 6, \quad \frac{c_1 u_1}{c_3 m} \cos\phi \cos\psi = 11, \quad \frac{c_2 u_1}{c_3 m} \cos\phi \cos\psi = 6$$

$$\text{Let } c_3 = 1 \text{ then } c_1 = \frac{11m}{u_1 \cos\phi \cos\psi}, \quad c_2 = \frac{6m}{u_1 \cos\phi \cos\psi}, \quad c_4 = 6$$

Avoiding of repeating ourselves extraction of sliding surface coefficients are done only for  $s_3$ , same methodology is also applied to  $s_4$  and obtained coefficients are  $c_5 = \frac{-11m}{u_1 \cos\psi}$ ,  $c_6 = \frac{-6m}{u_1 \cos\psi}$ ,  $c_7 = 1$ ,  $c_8 = 6$ .

**Table 1.** Overall controller coefficients

Variables	Values	Variables	Values
$c_z$	1	$c_\psi$	1
$\varepsilon_1$	0.8	$\varepsilon_2$	0.8
$n_1$	2	$n_2$	2
$c_1$	$11m/(u_1 \cos\phi \cos\psi)$	$c_5$	$-11m/(u_1 \cos\psi)$
$c_2$	$6m/(u_1 \cos\phi \cos\psi)$	$c_5$	$-6m/(u_1 \cos\psi)$
$c_3$	1	$c_5$	1
$c_4$	6	$c_5$	6
$\varepsilon_3$	0.5	$c_5$	0.5
$n_3$	5	$c_5$	5

## Simulation Results and Discussion

In this paper, first of all quadrotor's nonlinear equation of motion is obtained and higher order sliding mode controller designed. Disturbances are added to quadrotor's equation of motion. To test the controller properly yaw angle is also changed before take-off.

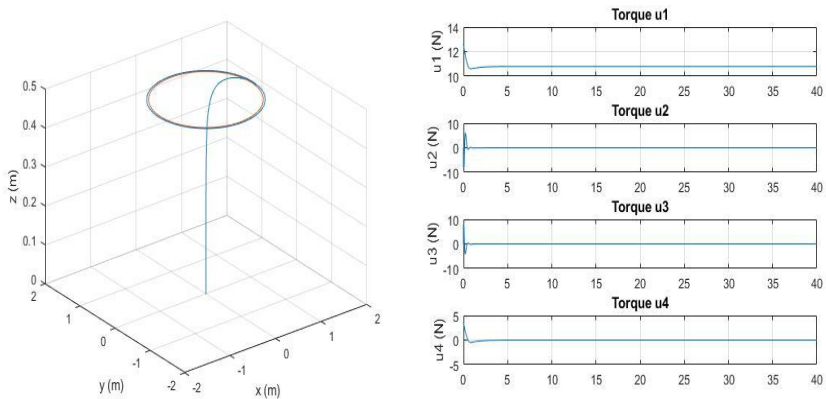
At the beginning of the simulation quadrotor set  $[0 \ 0 \ 0]m$  in the world coordinate frame and  $[0 \ 0 \ 0.5]rad$  in the body coordinate frame. Later, trajectory is defined as a circle at the 0.5m. height. In order to define a circle sine and cosine functions are employed. The quadrotor design parameters which are used during the simulations are given in table 2.

In simulation results, the reference trajectory is denoted by orange color and the actual trajectory of the quadrotor is represented by blue color (Figure 3). Although quadrotor dynamics and yaw angle disturbances added to the system, quadrotor successfully tracks the given trajectory.

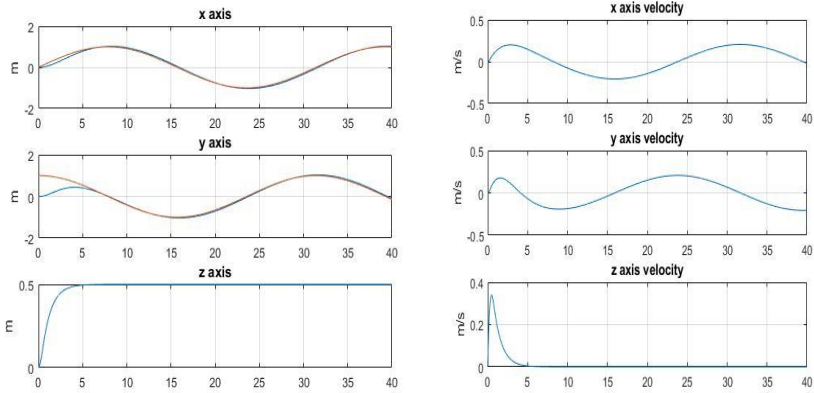
**Table 2.** Quadrotor design parameters

Variables	Values	Units
m	1.1	kg
l	0.21	m
$I_{xx}=I_{yy}$	1.22	$\text{Ns}^2/\text{rad}$
$I_{zz}$	2.2	$\text{Ns}^2/\text{rad}$
$K_i(i=1,2,3)$	0.3	$\text{Ns}/\text{m}$
$K_i(i=4,5,6)$	0.3	$\text{Ns}/\text{m}$
g	9.81	$\text{m}/\text{s}^2$
k	2	$\text{N}/\text{ms}^2$
b	5	$\text{Ns}^2$

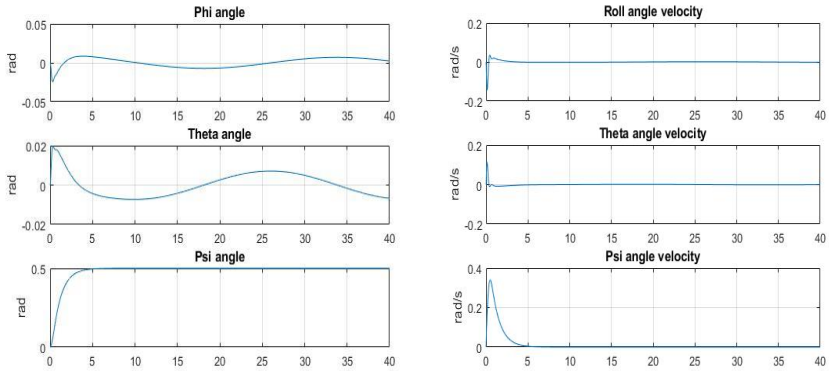
Low frequency changes in sine and cosine functions cause the small changes on the control input signals. The advantage of the higher order sliding mode controller, namely chattering free control inputs can be seen in Figure 3. Linear position tracking and linear velocities are given in Figure 4. Also body frame angle and body frame velocity changes can be seen in Figure 5. Even tough, reference trajectory includes simultaneous changes, higher order sliding mode control performance is proved its effectiveness.



**Figure 3.** Quadrotor 3D trajectory tracking & Control input torques (N)



**Figure 4.** Linear position (m) & Linear velocities (m/s)



**Figure 5.** Body frame angle (rad) & Body frame velocities (rad/s)

## Conclusion

In this work higher order sliding mode control approach is proposed. The effectiveness of the proposed controller is demonstrated in trajectory tracking performance of the quadrotor. In the simulation environment besides quadrotor's nonlinear dynamics and parametric uncertainties, disturbance torques are added to the yaw angle direction. Despite the presence of these disturbances, tracking performance of the quadrotor is quite satisfactory. Moreover when the control inputs are analyzed, it can be seen that the chattering problem of the sliding mode control is diminished. This property demonstrates the robustness of the proposed controller.

## References

- [1] Mo, H., & Farid, G. (2019). Nonlinear and adaptive intelligent control techniques for quadrotor uav—a survey. *Asian Journal of Control*, 21(2), 989-1008.
- [2] Kim, J., Gadsden, S. A., & Wilkerson, S. A. (2019). A Comprehensive Survey of Control Strategies for Autonomous Quadrotors. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 43(1), 3-16.
- [3] Dierks, T., & Jagannathan, S. (2009). Output feedback control of a quadrotor UAV using neural networks. *IEEE transactions on neural networks*, 21(1), 50-66.
- [4] Bolandi, H., Rezaei, M., Mohsenipour, R., Nemati, H., & Smailzadeh, S. M. (2013). Attitude control of a quadrotor with optimized PID controller. *Intelligent Control and Automation*, 4(03), 335.
- [5] Li, J., & Li, Y. (2011, August). Dynamic analysis and PID control for a quadrotor. In 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (pp. 573-578). IEEE.
- [6] Argentim, L. M., Rezende, W. C., Santos, P. E., & Aguiar, R. A. (2013, May). PID, LQR and LQR-PID on a quadcopter platform. In 2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV) (pp. 1-6). IEEE.
- [7] Bouabdallah, S., Noth, A., & Siegwart, R. (2004, September). PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor. In 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566) (Vol. 3, pp. 2451-2456). IEEE.
- [8] Yu, B., Zhang, Y., Minchala, I., & Qu, Y. (2013, October). Fault-tolerant control with linear quadratic and model predictive control techniques against actuator faults in a quadrotor UAV. In 2013 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol) (pp. 661-666). IEEE.
- [9] Tilki, U., Erust, A.C. (2019, September) Dört Kanatlı İnsansız Hava Araçlarının Yörünge Kontrolünde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Denetleyici Yapılarının Karşılaştırılması. 21. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK 2019.
- [10] Colorado, J., Barrientos, A., Martinez, A., Lafaverge, B., & Valente, J. (2010, May). Mini-quadrotor attitude control based on Hybrid

Backstepping & Frenet-Serret theory. In 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 1617-1622). IEEE.

[11] Lippiello, V., Ruggiero, F., & Serra, D. (2014, September). Emergency landing for a quadrotor in case of a propeller failure: A backstepping approach. In 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 4782-4788). IEEE.

[12] Xu, R., & Ozguner, U. (2006, December). Sliding mode control of a quadrotor helicopter. In Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control (pp. 4957-4962). IEEE.

[13] Yang, Y., & Yan, Y. (2016). Attitude regulation for unmanned quadrotors using adaptive fuzzy gain-scheduling sliding mode control. *Aerospace Science and Technology*, 54, 208-217.

[14] Zheng, E. H., Xiong, J. J., & Luo, J. L. (2014). Second order sliding mode control for a quadrotor UAV. *ISA transactions*, 53(4), 1350-1356.



# INDUCED-SOURCE-BASED HIGH FREQUENCY TECHNIQUES: PO AND PTD

Feray HACIVELİOĞLU

*Gebze Technical University, Department of Mathematics, f.dagidir@gtu.edu.tr*

**Abstract:** There are two approaches in high-frequency asymptotic of diffraction: the ray-based and induced-source-based techniques. Geometrical Theory of Diffraction (GTD) and its various extensions such as the Uniform Theory of Diffraction (UTD) and Asymptotic Theory of Diffraction (ATD) are in the first group. In this study, induced-source-based techniques which are Physical Optics (PO) and Physical Theory of Diffraction (PTD) are review in terms of bi-static and monostatic scattering at a triangular cylinder with soft and hard faces. Although PO which takes into account only uniform currents is one of the most efficient high-frequency techniques, it has some drawbacks: It does not satisfy the boundary conditions and reciprocity principle. PTD introduced by Ufimtsev in the 1960s improves these drawbacks by taking into account non-uniform currents induced by any deviation of the scatterer from the infinite tangential surface.

**Key words:** High-frequency techniques, Physical optics, Physical theory of diffraction.

## Introduction

In high-frequency asymptotic theory there are two induced-source-based techniques: physical optics and physical theory of diffraction.

The principle idea of PTD is that the diffracted field is considered as the radiation produced by the currents induced on the scattering object. In PTD, there are two kinds of sources: uniform sources and non-uniform sources. Uniform sources are defined as the sources induced on an infinite plane which is tangent to the object at a source point and PO field is obtained from the integration of this uniform source over the illuminated surface. Non-uniform sources are defined as the source by any deviation of surface from the tangent plane. By the integration of this non-uniform source over the surface, fringe field is obtained. PTD field is the sum of PO field and fringe field.

PTD has various applications such as microwave antenna, estimation of radar cross section, propagation of waves in an urban environment.

PTD was used firstly in the design of the American F-117 stealth fighter and B-2 stealth bomber [Ufimtsev, 2014].

The aim of this study is to introduce the first-order PO and PTD diffracted fields at a cylinder with equilateral triangular cross section for the bi-static and mono-static case. The geometry has two hard faces and one soft face. First-order bi-static and mono-static approximations are obtained by using the sum of single diffracted edge fields. Some numerical results are plotted to demonstrate the PO and PTD fields.

### Bi-static and mono-static fields

The 2D geometry of the problem is depicted in Figure 1. The geometry has three edges at  $(0,0)$ ,  $(h,a)$  and  $(h,-a)$  and they are represented by the points 1, 2 and 3, respectively. Here  $h = \sqrt{3}l/2$  and  $a = l/2$ . Faces 1-2 and 1-3 are hard (magnetic) and face 2-3 is soft (electric).

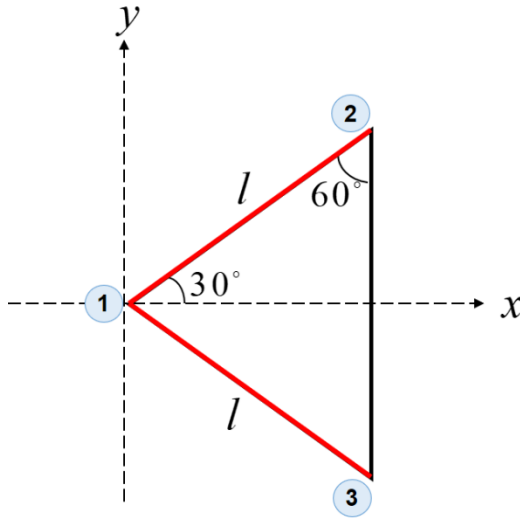


Figure 1. 2D geometry of the problem

The cylinder with equilateral triangular base is illuminated by the following incident waves for the bi-static and mono-static cases, respectively

$$\mathbf{u}^{inc} = e^{-ikx} \quad (1)$$

$$\mathbf{u}^{inc} = e^{-ik(x\cos\phi_0 + y\sin\phi_0)} \quad (2)$$

where  $\phi_0$  is the incident angle of the wave for the mono-scattering case. Diffracted fields for both cases are derived for the far-zone ( $r \gg kl^2$ ). The geometry of the problem can be thought as the combination of three wedges whose faces 1-2, 1-3; 1-2, 2-3; 1-3, 2-3. Hence, diffracted fields by cylinder are represented as the sum of the waves diverging from the edges of these wedges [Ufimtsev, 2014]. We use local polar coordinates  $(r_{1,2,3}, \varphi_{1,2,3})$  for each edges. Here,  $r_{1,2,3}$  are the observation lengths measured from the edges 1, 2 and 3 respectively and  $\varphi_{1,2,3}$  are the observation angle measured from the illuminated faces of the edges 1,2,3.

PO and PTD diffracted fields for both cases are represented as

$$u^{dif} = \Phi(\phi) \frac{e^{i(kr+\pi/4)}}{\sqrt{2\pi kr}} \quad (3)$$

Here,

$$\Phi(\phi) = \varepsilon_1 f(1) + \varepsilon_2 f(2) e^{i\nu_2} + \varepsilon_3 f(3) e^{i\nu_3} \quad (4)$$

where  $f(m) = f(\varphi_m, \varphi_{0m})$ ,  $m=1,2,3$ .

If the observer is in the region where the edge  $m$  is seen, then  $\varepsilon_m = 1$ , otherwise  $\varepsilon_m = 0$ ,  $m=1,2,3$ . If we want to obtain the PO (PTD) field, then  $f$  in (4) has the forms  $f_s^{(0)}$  and  $f_h^{(0)}$  ( $f_s, f_h, f_{sh}$ ).

Here,

$$f_h^{(0)}(\varphi, \varphi_0) = -\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi + \cos \varphi_0}, \quad f_s^{(0)}(\varphi, \varphi_0) = -f_h^{(0)}(\varphi, \varphi_0) \quad (5)$$

and

$$\left. \begin{array}{l} f_s(\varphi, \varphi_0) \\ f_h(\varphi, \varphi_0) \end{array} \right\} = \frac{(1/n)\sin(\pi/n)}{\cos(\pi/n) - \cos((\varphi - \varphi_0)/n)} \mp \frac{(1/n)\sin(\pi/n)}{\cos(\pi/n) - \cos((\varphi + \varphi_0)/n)} \quad (6)$$

[Ufimtsev, 2014]

$$f_{sh}(\varphi, \varphi_0) = (\pi/n) \sin(\pi/2n) \left( \frac{\cos((\varphi - \varphi_0)/2n)}{\cos(\pi/n) - \cos((\varphi - \varphi_0)/n)} - \frac{\cos((\varphi + \varphi_0)/2n)}{\cos(\pi/n) - \cos((\varphi + \varphi_0)/n)} \right) \quad (7)$$

[Ufimtsev, 2013] for the bi-static case.

Here  $n = \alpha/\pi = 5/3$  and  $0 \leq \varphi \leq \alpha$ , where  $\alpha$  is the exterior angle of the wedge in the geometry (Figure 1).

For the mono-static case, we obtain the directivity functions of PO and PTD fields by substituting  $\varphi = \varphi_0$  in (5)-(7).

Local angles which are measured from the related illuminated face are as follows

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \phi - \pi/6, \quad \varphi_{01} = \pi - \pi/6. \\ \varphi_2 &= \pi/2 + \phi, \quad \varphi_{02} = 3\pi/2 \\ \varphi_3 &= \begin{cases} \pi/2 - \phi & \text{if } 0 \leq \phi \leq \pi/2 \\ 3\pi/2 + \pi - \phi & \text{if } 5\pi/6 \leq \phi \leq \pi \end{cases}, \quad \varphi_{03} = 3\pi/2. \end{aligned}$$

for the bi-static case,

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \phi - \pi/6, \quad \varphi_2 = \pi/2 + \phi, \\ \varphi_3 &= \begin{cases} \pi/2 - \phi & \text{if } 0 \leq \phi \leq \pi/2 \\ 3\pi/2 + \pi - \phi & \text{if } 5\pi/6 \leq \phi \leq \pi \end{cases} \end{aligned}$$

for the mono-static case.

Using these relations in (5)-(7) for the both cases, we obtain the directivity pattern for the PTD field as follows:

$$\Phi^{PTD}(\phi) = \begin{cases} f_{sh}(2)e^{i\varphi/2} + f_{sh}(3)e^{i\varphi/3}, & 0 \leq \phi \leq \pi/6 \\ f_h(1) + f_{sh}(2)e^{i\varphi/2} + f_{sh}(3)e^{i\varphi/3}, & \pi/6 \leq \phi \leq \pi/2 \\ f_h(1) + f_{sh}(2)e^{i\varphi/2}, & \pi/2 \leq \phi \leq 5\pi/6 \\ f_h(1) + f_{sh}(2)e^{i\varphi/2} + f_{sh}(3)e^{i\varphi/3}, & 5\pi/6 \leq \phi \leq \pi \end{cases} \quad (8)$$

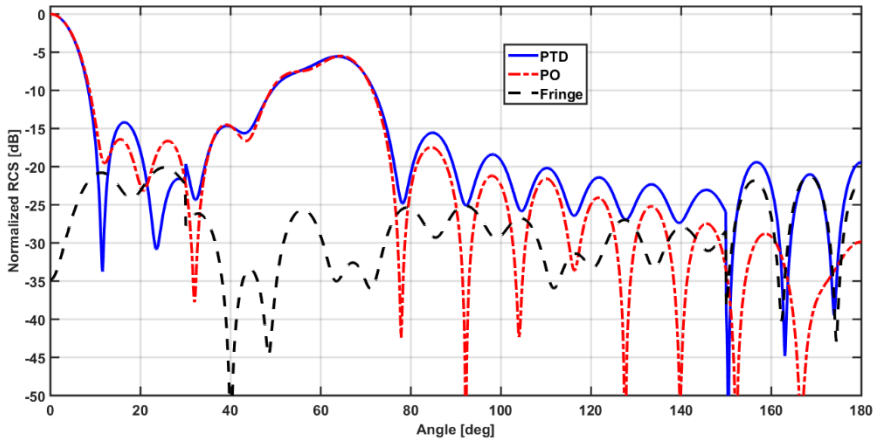
where  $\psi_{2,3} = -2kl \cos(\pi / 6 \mp \phi)$ .

### Numerical results

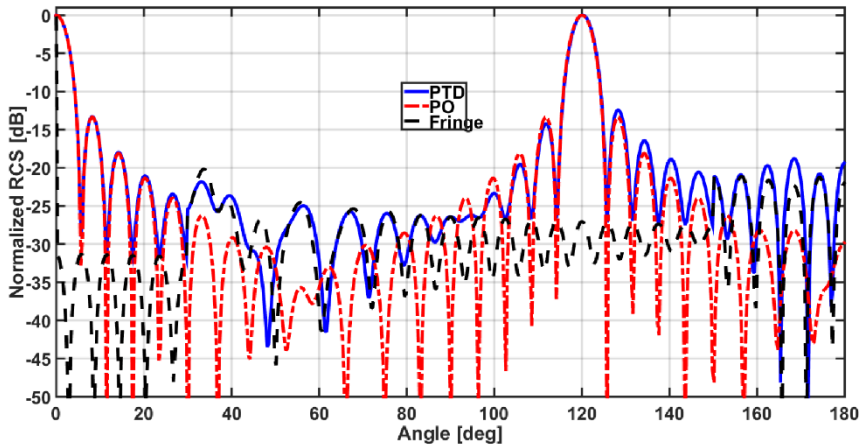
Radar cross sections are obtained using

$$\sigma_{norm} = \left| \frac{\Phi(\phi)}{kl} \right|^2$$

Graphs for the both cases are plotted for  $kl = 10\pi$  with  $l = 5\lambda$ .



**Figure 2.** Bi-static case



**Figure 3.** Mono-static case

Figures 2-3 demonstrate the comparison of the PO, PTD and Fringe fields. Fringe field is the field obtained by subtracting PO field from the PTD field.

### **Conclusion**

In this study, PO and PTD fields are derived for the bi-static and mono-static scatterings by the triangular cylinder with equilateral triangular base. Numerical results obtained from the equations are plotted for both cases.

### **References**

- Ufimtsev, P. Ya. (2014). Fundamentals of the physical theory of diffraction (2nd ed). Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ufimtsev, P. Ya. (2013). Diffraction at a wedge with one face electric and the other face magnetic. IEEE Antennas and Propagation Magazine. 55(5), 63-73.

# PERFORMANCE COMPARISON OF SOLAR PANELS UNDER REAL WEATHER CONDITIONS FOR 2018

Gözde ERGİN<sup>a</sup> & Ferhat KARAMAN<sup>b</sup> & Hasan BİÇER<sup>c</sup>  
Y. Emre YİĞİT<sup>d</sup> and Erdem ELİBOL<sup>e</sup>

<sup>a</sup> *Düzce University Department of Electric Electronic Engineering, gozdeergm@gmail.com*

<sup>b</sup> *Düzce University Department of Electric Electronic Engineering, ferhatkaraman656@gmail.com*

<sup>c</sup> *Düzce University Department of Electric Electronic Engineering, bicer936@gmail.com*

<sup>d</sup> *Düzce University Department of Electric Electronic Engineering, yunusemreyigitt@gmail.com*

<sup>e</sup> *Düzce University Department of Electric Electronic Engineering, erdemelibol@duzce.edu.tr,*

**Abstract:** The energy conversion efficiency of solar panels is determined by the manufacturer companies as a result of laboratory tests. However, it is known that external environmental factors have an effect on the efficiency of solar panels. For this reason, in order to select the most suitable solar panels for the regional conditions, the panels should be tested in outdoor conditions. In this context, a solar system consisting of monocrystalline, polycrystalline and amorphous Silicon thin film solar panels has been established within the Konuralp Campus of Düzce University. Environmental factors, temperature, radiation, wind and panel temperature values and electrical energy values produced by the panels were recorded in 5-minute periods throughout 2018. In the light of measurements and calculations, the energy conversion efficiency of monocrystalline panels was found to be 15.53%, 12.42% for polycrystalline solar panels and 5.70% for a-Si thin films.

**Keywords:** solar energy, renewable energy, monocrystalline, efficiency

## 1. Introduction

Developing technology and the dependence of this development on energy increases its energy needs day by day. In fact, global energy consumption increased by 2.9% in 2018 compared to 2010 (BP, 2018). Energy consumption in Turkey as well as all over the world gross electricity consumption in 2018 reached 303.2 billion kWh ('Turkey's Energy and Natural Resources Ministry', 2018). However, it is estimated that worldwide energy consumption will increase by 35% by 2035 (Kumar, Kumar, Kaushik, Sharma, & Mishra, 2010).

Despite the energy resources developed by man for energy production, 80% of fossil fuels are still used in energy production worldwide. While this situation leads to an increase in the emission of CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere, it is foreseen that if this situation continues, the temperature of the atmosphere will increase by 3.6 C until 2035 (WEO, 2014). This negative reality increases the importance of clean, environmentally friendly, renewable energy sources. Among these clean energy sources, solar energy systems that have the potential to generate energy in certain proportions come into prominence in every location where solar radiation is present. Mousazadeh et al. showed at their study that only 16% of the world's surface is covered with PV panels with a yield of 10%, which is equivalent to 2 times the energy produced by existing fossil fuels (Mousazadeh et al., 2009). The potential of solar energy has become interesting and Turkey as well as licensed and unlicensed 2019 total solar power capacity reached 5236 MW ('Turkey's Energy and Natural Resources Ministry', 2018).

Solar panel manufacturers analyze the solar panels they produce in the laboratory and present the energy conversion efficiency of the panels according to the data obtained. On the other hand, extra factors that affect the efficiency of the solar panels that need to be installed outside are emerging. Conditions such as solar radiation, temperature, cloudiness, wind, and pollution of the panels can cause changes in the efficiency of the solar panels. In order to obtain maximum efficiency from solar panels, using the most suitable solar panel in the appropriate environment should be one of the important criteria in terms of cost and energy efficiency (Carr & Pryor, 2004). In this context, the studies on the comparison of solar panels in the external environment are continuing in different regions in the form of short-term and long-term studies.

Sharma et al. They compared panel efficiency with one-year data of p-Si, hetero-junction with intrinsic thin layer silicon (HIT) and amorphous single junction silicon (a-Si) modules, established in India. They found that the most suitable panels for the ambient conditions in which the panels are installed are a-Si and HIT (Sharma, Kumar, Sastry, & Chandel, 2013). Mieke compared the photovoltaic systems he established in Australia with tropical climate with polycrystalline and a-Si modules and showed that a-Si PV panels can produce 20% more energy than polycrystalline panels with high ambient temperature (W., 1998). Freitas et al found the power conversion efficiency (PCE) of OPVs to be 2% in the experiment set they established in Brazil to examine the performance of the popular organic PV (OPV) panels in recent years (Freitas, Gomes, Ferreira, & Porto, 2019). Turkey Ozden et al also studied their work in 9 different panel types, depending on the ambient temperature changes occurring in surface



temperature. While CIS panels were heated up to the maximum,  $\mu\text{-Si/a-Si}$  panels were the coldest (Özden, Tolgay, & Akinoglu, 2018). Canete et al in Spain, a-Si, microcrystalline silicon, Cd and polycrystalline, including 4 different panel technologies examined for a period of 1 year and thin films for this shade are reported to be more efficient than polycrystalline modules (Cañete, Carretero, & Sidrach-de-Cardona, 2014).

Kichou et al examined the performance and degradation of CdTe, c-Si and mc-Si panels between 2015-2017 in Prague. They were determined as the panels with the highest loss of performance in CdTe panels with the degradation rate of -5.55% compared to the other two panels (Kichou, Wolf, Silvestre, & Chouder, 2018).

In this study, Turkey's Duzce province located in Duzce University campus scientific and technological research and application and research center (DUBIT) roof in September 2013. Founded 2.40 kW a-Si, 2.64 kW polycrystalline structure, and 2.35 kW monocrystalline panel in Duzce conditions, performance analysis on a monthly basis. The study was conducted between January 2018 and December 2018 for a period of one year.

## **2. Materials and Method**

### **2.1. PV Panels**

In this study, 3 different types of PV panels were used. 24 Mitsubishi Solar a-Si Thin film (PIN single junction) panels (MA100T2), 11 polycrystalline panels (Symphony Energy SE-M240) 10 monocrystallines (Symphony Energy SE-S235) were used at this study. In this study, 3 single-phase Sunnyboy 2500HF-30 inverters were used. One inverter is installed at the output of each panel type. The efficiency of inverters with 2600 W DC power is 96.3%.

In order to store and display the information obtained from the PV system, Sunny Webbox was used as the communication interface.

TFA 35.1077 The meteorological station was used to monitor the meteorological data, temperature, wind speed and irradiance in the environment where the panels were installed.

### **2.2. PV Efficiency**

The energy conversion efficiency of the panels is defined by how much of the total solar radiation energy falling on the panel surface can be converted into electrical energy. The instantaneous energy conversion efficiency

observed in PV panels is calculated by Equation 1 (Thevenard & Pelland, 2013).

$$n_{sys} = \frac{E_{sys}}{SxG_{opt}} \quad (1)$$

Here,  $n_{sys}$  refers to the instantaneous efficiency of the system, the power (W) transmitted to the grid by the  $E_{sys}$  system, the total surface area of the S panels and the radiation energy per unit area  $G_{opt}$  (W/m<sup>2</sup>). Panel efficiency calculated in hourly periods is calculated with Equation 2.

$$n_{sys,h} = \frac{E_{sys,h}}{SxG_{opt,h}} \quad (2)$$

The average daily system efficiency for each month can be shown in Equation 3.

$$n_{sys,m} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{sys,d})_i}{Sx \sum_{i=1}^n (G_{opt,d})_i} \quad (3)$$

In this equation,  $m$  is represented by months,  $d$  is defined by days, and  $n$  is the total number of days in the month.

### 2.3. Specific Yield Factor

The specific yield factor ( $Y_R$ ) can be defined as the normalization of the amount of radiation perpendicular to the panel surface by the radiation falling to a unit area defined by STC and represented by Equation 4.

$$Y_R = \frac{G_{opt} (Wh / m^2)}{1000 (W / m^2)} \quad (4)$$

In this expression,  $G_{opt}$  expresses the radiation energy coming to the surface unit area, while 1000 W/m<sup>2</sup> is the radiation value under STC.

### 2.4. Reference Yield

Reference Yield ( $Y_f$ ) is the normalization of the energy value resulting from the conversion of the energy obtained from the PV panels into AC by the inverter to the installed power value of the PV panels given under the STC. The mathematical calculation of  $Y_f$  is shown in Equation 5.

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{max,STC}} \quad (5)$$

In this equation,  $E_{AC}$  AC power (inverter output) (Wh),  $P_{max,STC}$  transferred to the PV grid is the sum of the power values given under the STC in the manufacturer catalog data of the total installed panel.

### 2.5. Performance Rate

Performance Rate (PR) is defined as the ratio of the normalized PV system energy production to the radiation energy falling onto the normalized PC panel surface. Equation 6 shows how PR can calculate (Thevenard & Pelland, 2013).

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (6)$$

### 3. Results and Discussion

The results obtained with different panel types and meteorological data in the Konuralp Campus of Düzce University are given in this section. Figure 1 shows the outdoor temperature, panel surface temperature and wind speed values in the area where the panels are installed between January 2018-December 2018, based on their daily average values according to months. In August 2018, the average daily temperature was the highest. The average daily temperature for this month was measured as 26.4 °C. In January, however, the average daily temperature dropped to 6.2 °C. While the temperature difference between air temperature ( $T_{air}$ ) and panel surface temperature ( $T_{panel}$ ) was about 9-10 °C in summer, this difference has decreased to 3 °C in winter months when sunbathing time is shortened well.

Düzce provincial center generally does not have enough potential for wind energy. So much so that the maximum level of the wind speed was achieved in April with 1.5 m/s<sup>2</sup>, while in May the daily average value of the wind speed decreased to 1.1 m/s<sup>2</sup>.

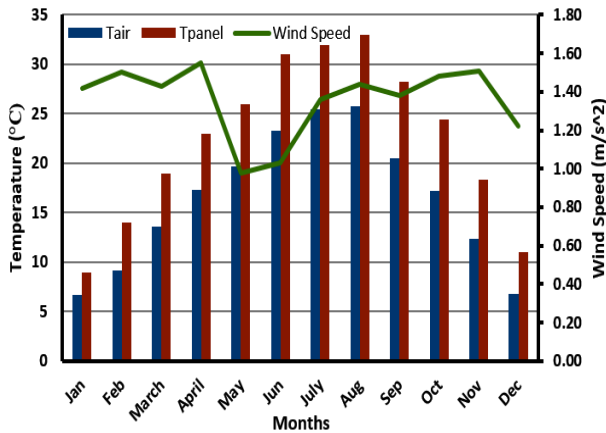


Figure 1. Daily average air temperature, temperature of panel and wind speed amount according to months in 2018 in Konuralp, Düzce.

Figure 2 shows the average daily amount of radiation in 2018 in the region where panel types are located. When the radiation values measured in 2018 were taken into consideration, it was found that the amount of radiation decreased to 1 kWh/m<sup>2</sup> in December but the average radiation value increased to 7.2 kWh/m<sup>2</sup> in August.

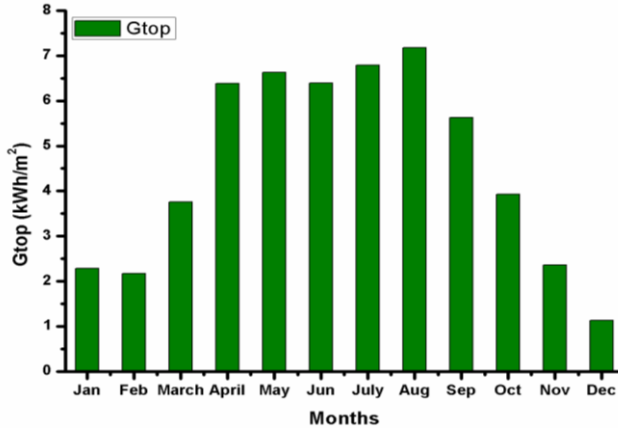


Figure 2. Daily average radiation amount according to months in 2018 in Konuralp, Düzce.

The total surface area of the 3 different panel types in the installed PV system varies. Thus, the total surface area for a-Si thin film solar panels is 30.65m<sup>2</sup>, while the total surface area for polycrystalline solar panels is 14.048m<sup>2</sup> and the total area of monocrystalline panels is 12.771m<sup>2</sup>. The fact that PV systems have different surface areas also naturally affects the total amount of radiation coming to their surface. Figure 3 shows the average daily radiation levels per month. Determining the total average radiation amount per panel surface is an important criterion for the calculations shown in Equation 1-Equation 6. It is an important parameter to measure the total amount of radiation per surface for panel efficiency, filling factor and performance rate calculations. As can be seen from Figure 3, the amount of radiation coming to the solar panels surfaces of a-Si thin film having the highest surface area is naturally higher than the other two panel types.

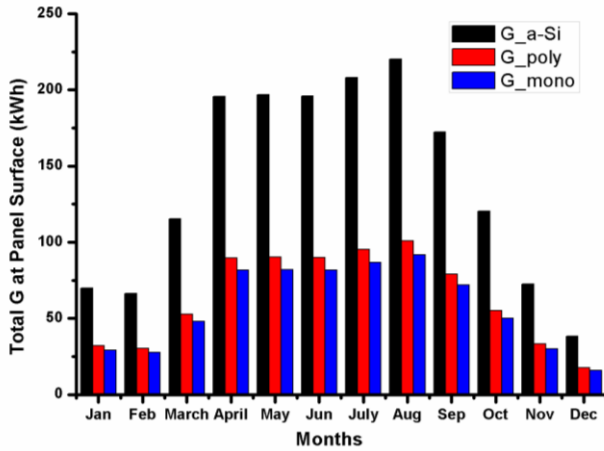


Figure 3. Daily average radiation reflection of panel's total surface according to months in 2018 in Konuralp, Düzce.

Total electricity produced by PV panel types during the month of 2018 is calculated in kWh and is shown in Figure 4. When the total amount of electricity produced by the panels is examined, it is found that the amount of radiation is low as expected, especially in February and December, the amount of electricity produced by the panel types is low (Rahman, Hasanuzzaman, & Rahim, 2015). The amount of electrical energy generated from the solar panels is directly proportional to the amount of radiation coming to the panel surface (Gupta, Chauhan, & Pachauri, 2016). It can be clearly observed that the daily average radiation value given in Figure 3 is directly related to the amount of electricity generated in Figure 4. In this direction, the amount of electricity produced by panel systems increased to 400 kWh in August, when the radiation amount was highest.

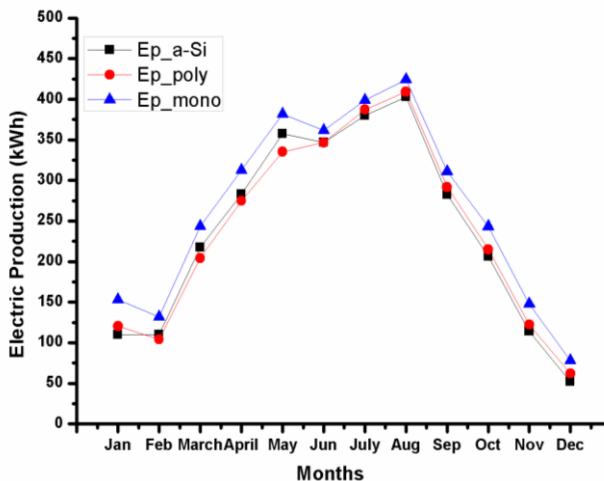


Figure 4. Total energy production from PV panels for each months.

Equation 6 was used to calculate the Performance Rate values of 3 different panel types installed. The results for the Specific Yield Factor ( $Y_R$ ) and Reference Yield ( $Y_f$ ) values required for the calculation of Performance Rate values were not graphically presented. Directly significant PR value results were shared in this section. The PR values calculated for the different panel types by months for 2018 are shown in Figure 5. The PR values of the monocrystalline solar panels were in the range of 0.94-0.70. However, there was a significant decrease in the PR values of monocrystalline solar panels during the summer months when the air temperature was high. Although the high average temperature in August causes a decrease in the PR values of all solar panel types, it can be said that polycrystalline and a-Si thin film solar panels generally have higher PR values in the summer months (Elibol, Özmen, Tutkun, & Köysal, 2017).

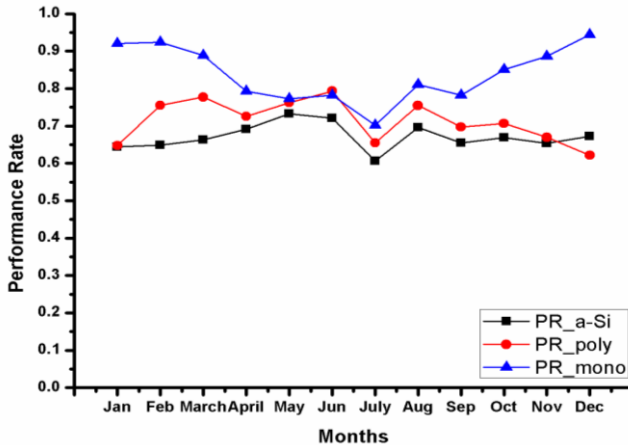


Figure 5. Performance Rate of different PV panels according to months.

Equation 3 was used to calculate the efficiency of solar panels installed at the Düzce University Konuralp campus. The efficiency values for 3 different panel types are calculated monthly and are shown in Figure 6. Efficiency values were affected by monthly average temperature and wind values and showed changes. The average efficiency value of installed monocrystalline panels for 2018 was calculated as 15.53%. Monocrystalline solar panels reached the highest yield in February with 16.48%. On the other hand, the yield value obtained for 2018 for polycrystalline solar panels is 12.52%. Polycrystalline solar panels were found to work at higher efficiency in hot months and the highest efficiency value was obtained in May with 13.48%. The lowest yield for polycrystalline panels was obtained in December, when the average temperature was the lowest with 10.49%. For a-Si thin film solar panels,

the energy conversion efficiency obtained for 2018 was calculated as 5.70%. a-Si thin film solar panels were also higher in the months when the average temperature was higher. On the other hand, it has been determined that panel type a-Si solar panels have the least change in efficiency value according to months.

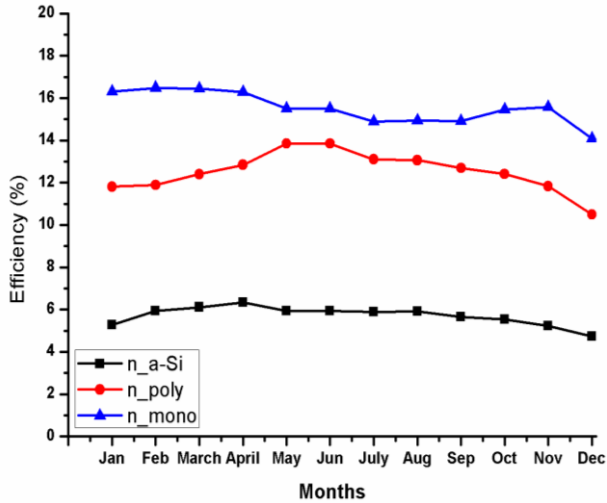


Figure 6. Efficiency of different PV panels according to months.

## 6. Conclusions

In this study, monocrystalline (2.35kW), polycrystalline (2.64kW) and amorphous silicon (2.40kW) placed on the roof of Duzce University Scientific Research and Investigation Research Center (DUBIT) were established in order to investigate the performance of the solar panels under environmental conditions of Düzce. The study showed that monocrystalline solar panels were partially more efficient in the months when the average temperature was lower, whereas polycrystalline and a-Si solar panels were operating in higher yields in the months when the average temperature was higher. In addition, it was found that a-Si thin film solar panels are less affected by the average temperature and operate with more stable efficiency. On the other hand, a-Si solar panels work with 5.70% efficiency while polycrystalline solar panels work with 12.52% efficiency and this value reaches up to 15.53% for monocrystalline solar panels.

## 7. References

- BP. (2018). *Statistical Review of World Energy, 2018. Statistical Review of World Energy, 2018.*
- Cañete, C., Carretero, J., & Sidrach-de-Cardona, M. (2014). Energy performance of different photovoltaic module technologies under outdoor conditions. *Energy*, 65, 295–302.  
doi:10.1016/j.energy.2013.12.013
- Carr, A. J., & Pryor, T. L. (2004). A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates. *Solar Energy*, 76(1–3), 285–294. doi:10.1016/j.solener.2003.07.026
- Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., & Köysal, O. (2017). Outdoor performance analysis of different PV panel types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2016.09.051
- Freitas, A. M., Gomes, R. A. M., Ferreira, R. A. M., & Porto, M. P. (2019). Experimental performance of commercial OPV panels tested outdoor. *Renewable Energy*.  
doi:10.1016/j.renene.2018.12.051
- Gupta, A., Chauhan, Y. K., & Pachauri, R. K. (2016). A comparative investigation of maximum power point tracking methods for solar PV system. *Solar Energy*. doi:10.1016/j.solener.2016.07.001
- Kichou, S., Wolf, P., Silvestre, S., & Chouder, A. (2018). Analysis of the behaviour of cadmium telluride and crystalline silicon photovoltaic modules deployed outdoor under humid continental climate conditions. *Solar Energy*. doi:10.1016/j.solener.2018.07.028
- Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., & Mishra, S. (2010). Renewable energy in India: Current status and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2434–2442. doi:10.1016/j.rser.2010.04.003
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2009.01.022
- Özden, T., Tolgay, D., & Akinoglu, B. G. (2018). *Daily and monthly module temperature variation for 9 different modules*. In *PVCon 2018 - International Conference on Photovoltaic Science and Technologies*. doi:10.1109/PVCon.2018.8523878
- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*. doi:10.1016/j.enconman.2015.06.067
- Sharma, V., Kumar, A., Sastry, O. S., & Chandel, S. S. (2013). Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions. *Energy*, 58, 511–518.  
doi:10.1016/j.energy.2013.05.068
- Thevenard, D., & Pelland, S. (2013). Estimating the uncertainty in long-term photovoltaic yield predictions. *Solar Energy*, 91, 432–445.



doi:10.1016/j.solener.2011.05.006

Turkey's Energy and Natural Resources Ministry. (2018). Retrieved from <https://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Electricity>

W., M. (1998). *Hot climate performance comparison between poly crystalline and amorphous silicon cells connected to an utility mini-grid*. In *Proceeding of Solar 98, 36th Annual Conferance of the Australian and New Zealand Solar Energy Society* (pp. 464–470). Christchurch.

WEO. (2014). *World Energy Outlook*.

# TURKEY'S BETWEEN 2014-2018 YEARS ELECTRICITY PRODUCTION CAPACITY AND ANALYSIS ACCORDING TO RESOURCES

## *Türkiye'nin 2014-2018 Yılları Arasındaki Elektrik Üretimi Kapasitesi ve Kaynaklara Göre Analizi*

Hayrettin GÖKOZAN<sup>1</sup> & Mehmet TAŞTAN<sup>2</sup> & Alper MUTLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar University, Vocational School, Department of Electric and energy, Turgutlu Campus, Manisa, Turkey. hayrettin.gokozan@cbu.edu.tr, alper.mutlu@cbu.edu.tr

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar University, Vocational School, Department of Electronic and automation, Turgutlu Campus, Manisa, Turkey. mehmet.tastan@cbu.edu.tr  
**Corresponding author:** hayrettin.gokozan@cbu.edu.tr

**Abstract:** Energy has emerged with the existence of humanity and is a constantly growing need in our age. Electrical energy is the most demanded type of energy due to its ease of use. The population is growing and developing in countries such as Turkey, demand for electricity is constantly increasing.

In this study, licensed installed power and highest demand amount, distribution of licensed Electricity Generation amount by institutions and resources, Licensed Consumed Electricity Energy Amount, Production Consumption Coverage Ratio, Natural Gas, Imported Coal, Hydroelectric Power Plants and Obtained Energy Efficiency Information on the sectoral consumption analysis was evaluated based on the reports of the Energy Market Regulatory Authority (EMRA) between 2014-2018. In addition, since 2018, covering the next ten years are given to Turkey Electricity Demand Projections estimate mentioned in the report.

**Keywords -** Electricity energy potential, Electricity energy production, Electricity energy consumption.

**Özet:** Enerji, insanlığın varlığı ile ortaya çıkmış ve çağımızda sürekli büyüyen bir ihtiyaçtır. Elektrik enerjisi, kullanım kolaylığı nedeni ile en fazla talep edilen enerji türüdür. Türkiye gibi nüfusu artan ve gelişmekte olan ülkelerde, elektrik enerjisine olan talep, sürekli artmaktadır.

Bu çalışmada, lisanslı kurulu güç ve en yüksek talep miktarı, lisanslı Üretilen Elektrik Enerjisi miktarının kurum ve kaynaklara göre dağılımı, Lisanslı Tüketilen Elektrik Enerjisi Miktarı, Üretim Tüketim Kapsama Oranı, Doğal Gaz, İthal Kömür, Hidroelektrik Santraller ve Elde Edilen Enerji Verimliliği Sektör bazında tüketim analizine ilişkin bilgiler, 2014-2018 yılları arasında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) raporlarına dayanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, 2018 yılından bu yana önümüzdeki on yılı

kapsayan Türkiye Elektrik Talep Projeksiyonları raporunda belirtilen tahminlere yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** Elektrik Enerji Potansiyeli, Elektrik Enerji Üretimi, Elektrik Enerji Tüketimi.

## 1 INTRODUCTION

Energy is a fundamental source of life that has continued since the existence of humanity and is a serious need for countries to achieve sustainable growth and development [1]. Electrical energy is very preferred type of energy in terms of ease of use. It is thought that about 15% of the world's population has not yet reached electricity.

Turkey, the rate of increase in energy demand between the EU and OECD countries ranked first and second after China in the world is located. In Turkey, more than 75% of the energy is imported. Last 10 years, Turkey has paid an annual average of \$ 55 billion for energy imports [2].

## 2 THE ELECTRIC ENERGY PROFILE OF TURKEY

Electricity in Turkey for the first time in 1902 began to be produced by a 2 kW hydroelectric plant in Tarsus [3]. Since then, a wide range of private and public organizations have contributed to electricity production.

In 1935, Electrical Works Survey Administration (EIEI) was established to work in the field of research in the electricity sector. The first district thermal power plant in Zonguldak Çatalağzı started operation in 1948.

In 1970, Turkey's electricity production, responsible for the transmission and distribution, with legal personality, Turkey Electricity Authority (TEA) was established. Until the establishment of TEK, electricity generation, transmission and distribution have been made by EİEİ, Bank of Cities, State Hydraulic Works (DSİ), Etibank, private privileged companies, municipalities and autoproducer industrial institutions [4]. Today electricity production in Turkey, Energy and Natural Resources Ministry and the Energy Market Regulatory Board in the coordination and supervision is carried out by the following organizations [4].

- Turkey Electricity Corporation responsible for production and transmission (TEAŞ)
- Turkey Electricity Distribution Company responsible for distribution (TEDAŞ)
- Privileged companies responsible for production and transmission
- Privileged companies responsible for distribution
- Production companies that produce with Build Operate Transfer or Build Operate model
- Private companies whose operating rights are transferred

- Autoproducer manufacturers

### **3 LICENSED ELECTRICITY PRODUCTION AND CONSUMPTION**

Turkey is a country which is capable of providing electricity to every official residential consumers. Installed power capacity has doubled in the last decade (from 2006 to 2016) from 40.56 GW to 78.49 GW [5]. Electricity production by years is evaluated below.

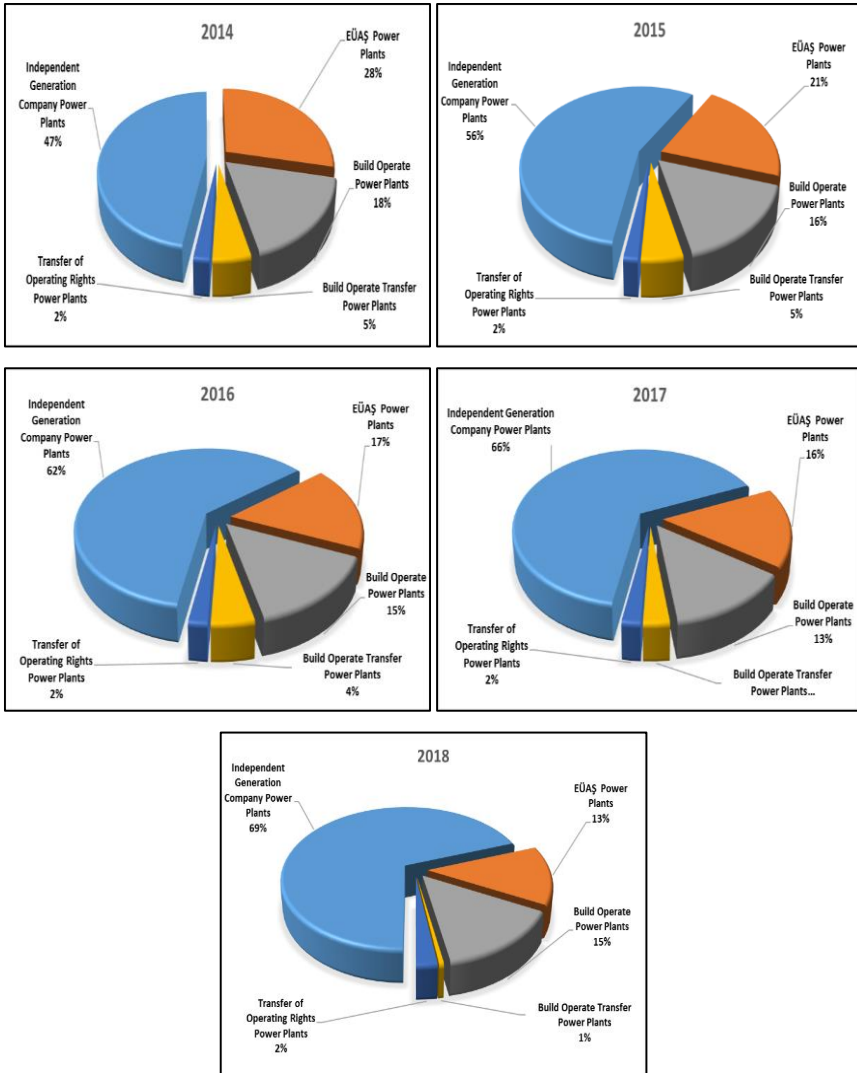
#### **3.1 Electricity Production**

In 2014, electricity production amount increased by 4.06% compared to 2013 and became 251.960 GWh. Consumption amount increased by 3.58% compared to 2013 and reached 257,200 GWh. In 2014, 48% of the electricity generation was obtained from natural gas, 16% from hydroelectricity, 16% from coal and lignite, 14% from imported coal, 3% from wind, and the rest from other sources [6].

In 2015, electricity production amount increased by 3.07% compared to 2014 and was 259.690 GWh. Consumption amount increased by 2.69% compared to 2014 and reached 264.140 GWh. In this year, 37.81% of the electricity generation amount was from natural gas, 25.76% from hydroelectric power, 12.83% from coal and lignite, 15.22% from imported coal, 4.45% from wind the rest is obtained from other sources [7].

In 2016, the amount of electricity production increased by 4.12% compared to 2015 and was 272.560 GWh. Consumption amount increased by 4.44% compared to 2015 and reached 277.520 GWh. In 2016, 32.38% of the electricity generation amount was natural gas, 24.7% was from hydroelectricity, 15.35% was from coal and lignite, 17.52% from imported coal, 5.69% from wind, the rest was obtained from other sources [8].

In 2017, licensed electricity production amounted to 292.574.58 GWh, increasing by 7.34% compared to 2016. Consumption amount increased by 5.22% compared to 2016 and reached 292.003.54 GWh. In this year, the share of natural gas fired power plants in licensed electric power generation increased to 37.18%, the share of wind power plants increased to 6.10% and the share of geothermal power plants increased to 2.04%. On the other hand, the share of hydroelectric power plants was 19.96%, the share of domestic coal (lignite, hard coal and asphaltite) plants was 15.86% and the share of imported coal plants was 17.49% [9].

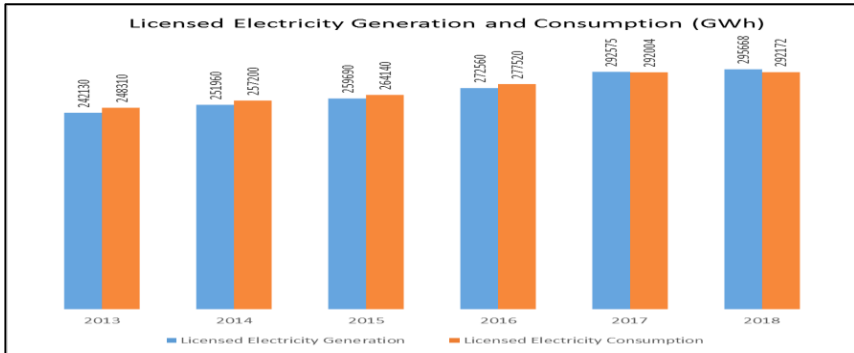


**Figure 1.** Distribution of licensed electricity generation by corporation (%) for 2014-2018 years

In 2018, the amount of licensed electricity production increased by 0.97% to 295,442.15 GWh compared to 2017. Electricity consumption increased by 3.69% compared to 2017 and reached 302,772.30 GWh. In 2018, the share of natural gas fired power plants is 30.88%, the share of hydroelectric power plants is 20.28%, the share of wind power plants is 6.73%, the share of geothermal power plants is 2.58%, the share of domestic coal (lignite, coal and asphaltite) plants is 17.06%, the share of imported coal plants is 21.31% [10].

The production of licensed electric energy increased by 17% between 2014 and 2018. The distribution of licensed electricity generation for the years 2014-2018 on a company basis (%) is shown in figure 1. Independent Production Company While the production in the Power Plants increased, the production in the EÜAŞ Power Plants decreased in this period.

While licensed electricity consumption was 248310 GWh in 2013, this value reached 292172 GWh in 2018. Figure 2 shows this change.

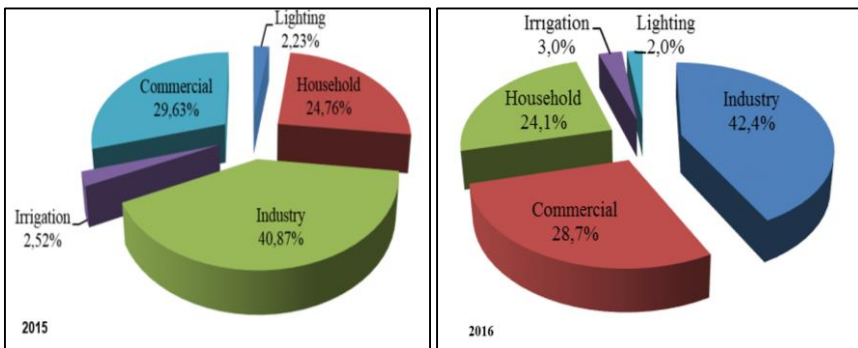


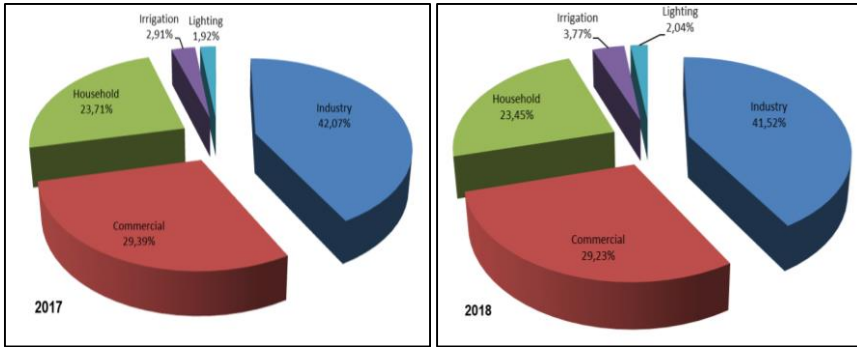
**Figure 2.** Licensed electricity generation and consumption (GWh) for 2013-2018 years

According to TEIAS data, electricity production capacity based on domestic coal increased by 1,109.3 MW in the first six months of 2019. In this period, solar-based power increased by 388.2 MW, while the increase in wind power was 210.6 MW [11].

### 3.2 Electricity Consumption

The distribution of invoiced consumption by consumer type is shown in Figure 3. Industrial consumption ranks first. Consumption of the commercial sector was second and household consumption was third. Total electricity consumption used in lighting and agricultural irrigation is in the last place.



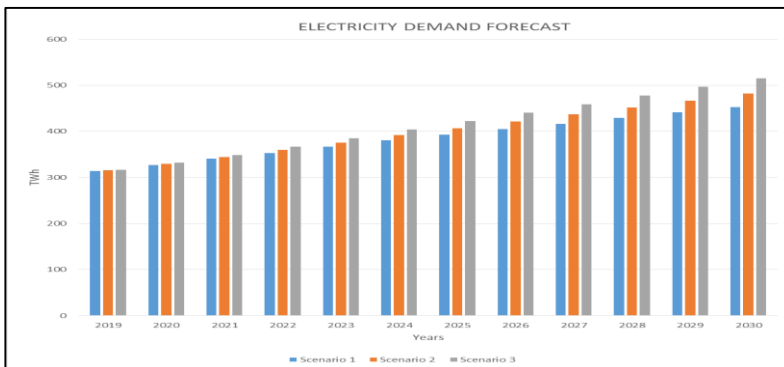


**Figure 3.** Distribution of Invoiced Consumption by Consumer Type in 2015-2018 (%)

#### 4 FORECASTS

In 2018 the Ministry of Energy and Natural Resources, Turkey covering the next two decades Electricity Demand Projections issued its report [12]. In this estimation study carried out for the next 20 years period, data on economic growth rate, population, number of households, contribution of transportation sector to electricity consumption, internal consumption and network losses, efficiency, as well as international energy efficiency of countries and countries Energy data from the agency's database and sectoral data in the World Bank database were used [12].

Models used in the study; Econometric Model, Arima Model, Comparison Model etc. Models. These models were run with 3 scenarios (Scenario 1- Low Scenario, Scenario 2- Reference Scenario, Scenario 3- High Scenario) and the results obtained are shown with Figure 4. Annual average electricity demand growth rate for the next 20 years, 2.90% for Scenario 1, 3.36% for Scenario 2 and Scenario 3 is calculated as 3.84% [12].



**Figure 4.** Electrical Energy Demand Projection Results (Annual Demand)

## 5 CONCLUSION

Factors affecting electricity generation and consumption are Economic Growth Rate, Population Growth, Number of Households, increasing demand for electrical energy as a result of technological developments, Transportation Sector, Domestic Consumption, Network Losses and energy efficiency.

In this study, electricity production and consumption values between 2014 and 2018 were compared. As a result of technological development and population growth, demand for electrical energy has also increased. This value is estimated to be around 500 TWh in 2030, while the average for 2019 is 315 TWh.

The results show that while the share of the private sector in electricity generation increases, the share of the state decreases. On the other hand, there is no significant difference in electricity consumption between sectors.

## REFERENCES

- [1] Gökozan, H., Taşkın, S., ELECO '2012 Electrical - Electronics and Computer Engineering Symposium, “Multifunctional Power Quality Monitoring and Data Acquisition System”, 29 Nov.- 01 Dec. 2012, Bursa.
- [2] Özalp, M., “Turkey’s Energy Security of Supply and Demand in the Global Scale” *Electronic Turkish Studies*. (2019), Vol. 14 Number 1, Page(s) 537-552.
- [3] Arslan, O., “A Study on Tarsus Electrical Infrastructure History” *Journal of History Studies XXXII/ 1*, (2017), Page(s) 1-16, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/323747>
- [4] Dolun, L., *The Report of Electricity Production and Resources used in Turkey*, Development Bank of Turkey, December 2002, ANKARA.
- [5] Onat, N., “Electricity Theft Problem and Effects of Privatization Policies on Distribution Losses of Turkey”, *Celal Bayar University Journal of Science* Volume 14, Issue 2, (2018), p 163-176 DOI: 10.18466/cbayarfbe.387054
- [6] Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority *Electricity Market Development Report* 2014, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>, [PortalAdmin\\_Uploads\\_Content\\_FastAccess\\_Elk\\_GelisimRaporu20149b71f3ad](#)



- [7] Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority Electricity Market Development Report 2015, [https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.\\_\\_\\_\\_PortalAdmin\\_Uploads\\_Content\\_FastAccess\\_Turkishelectricitymarketsectorreport20157bbc0670](https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.____PortalAdmin_Uploads_Content_FastAccess_Turkishelectricitymarketsectorreport20157bbc0670)
- [8] Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority Electricity Market Development Report 2016, [https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.\\_\\_\\_\\_PortalAdmin\\_Uploads\\_Content\\_FastAccess\\_Turkishelectricitymarketsectorreport2016da0382bc](https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.____PortalAdmin_Uploads_Content_FastAccess_Turkishelectricitymarketsectorreport2016da0382bc)
- [9] Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority Electricity Market Development Report 2017, [https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.\\_\\_\\_\\_PortalAdmin\\_Uploads\\_Content\\_FastAccess\\_6583678551121](https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.____PortalAdmin_Uploads_Content_FastAccess_6583678551121)
- [10] Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority Electricity Market Development Report 2018, [https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.\\_\\_\\_\\_PortalAdmin\\_Uploads\\_Content\\_FastAccess\\_5002a4b097029](https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu.____PortalAdmin_Uploads_Content_FastAccess_5002a4b097029)
- [11] <https://yesilekonomi.com/turkiyenin-kurulu-gucu-90-gwi-asti/>  
Access Date: 08.07.2019
- [12] <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FE%C4%B0GM%20Ana%20Rapor%2FT%20C3%BCrkiye%20Elektrik%20Enerjisi%20Talep%20Projeksiyonu%20Raporu.pdf>

**INDUSTRIAL ENGINEERING / ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

# VERİ MADENCİLİĞİ ALANINDA YAPILAN TEZ ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

Selin YALÇIN\* & Sabahattin Kerem AYTULUN\*\*

\*Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, selinyalcin@beykent.edu.tr

\*\*Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, keremaytulun@beykent.edu.tr

**Özet:** Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle büyük miktardaki verinin incelenmesini ve içlerinden gizli kalmış bilgilerin açığa çıkarılmasını sağlayan önemli yöntemlerden biri de veri madenciliğidir. Veri madenciliği, büyük miktardaki verilerin çok net olmayan, önceden bilinmeyen, birbirleriyle korelasyonundan ortaya çıkan faydalı bilgilerin keşfedilmesini sağlayarak gelirin artırılmasını aynı zamanda maliyetlerin de indirgenmesini sağlamaktadır. Faydalı bilgilerin keşfedilmesi hedeflerimiz doğrultusunda gelecek hakkında tahmin yapmamıza olanak tanımaktadır. Bu sebeple, 1999-2019 yılları arasında Türkiye’de veri madenciliği alanında yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları birliktelik kurallarıyla incelenmiştir. Çalışmalar incelenirken künye bilgileri temel alınmıştır. İncelenen çalışmalar sonucunda veri madenciliği alanında yapılan tezlerin büyük çoğunluğunun yüksek lisans tezi olduğu, yıl bazında ise veri madenciliği alanında yapılan çalışmalarının giderek arttığı görülmektedir. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Anabilim Dalları ile Sosyal Bilimler Enstitüsüne bağlı Anabilim Dallarında yapılan tez çalışmaları, devlet ve vakıf üniversitelerinde yapılan tez çalışmaları karşılaştırılarak incelendiğinde, sıklıkla kullanılan yöntemler bulunmuş ve çalışmaların hangi alanlarda yoğunlaştığı görülmüştür. Böylelikle konuların çalışılma oranları tespit edilerek, desteklenmesi gereken konuların ortaya çıkarılmasına yardımcı olunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Madenciliği, Birliktelik Kuralları, Yüksek Lisans Tezi, Doktora Tezi

## Giriş

Üniversitelerin en önemli görevlerinden biri bilimsel bilgilerin açığa çıkarılmasını ve paylaşılmasını sağlamaktır. Üniversiteler bu görevlerini lisansüstü eğitimlerde yerine getirmektedir (Alkan, 2014). Lisansüstü tez çalışmaları üniversitelerin bilim yuvası olma özelliğinin devam edebilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Lisansüstü tez çalışmalarında hem teorik hem de uygulama yapılmaktadır (Baş, Mısırdalı Yangil ve Aygün, 2014). Lisansüstü tezler kendi alanlarında birçok bilgiyi barındırmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak yeni bilgilerin üretilmesi sağlanmaktadır (İnce, Gül ve Bozyiğit, 2017). Yazılım ve donanım

alanındaki gelişmeler ve bu paralelde yeni karar destek sistemlerinin gelişmesiyle büyük verinin analizi daha etkili yapılmaya başlamıştır. Bu konuda, veri madenciliği algoritmalarına her zaman daha fazla öncelik verilmiştir. Veri madenciliği, büyük miktardaki verilerin çok net olmayan, önceden bilinmeyen, birbirleriyle korelasyonundan ortaya çıkan faydalı bilgilerin keşfedilmesini sağlayarak önemli bir karar desteği oluşturmakta ve otonom sistemlerin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Faydalı bilgilerin keşfedilmesi hedeflerimiz doğrultusunda gelecek hakkında tahmin yapmamıza olanak tanımaktadır. Yılmazel, 2019 yılında büyük veri alanında 375 lisansüstü tez çalışmasını inceleyerek bibliyometrik analiz gerçekleştirmiştir. Fidan ve Ağırbaş, 2018 yılında sağlık kurumunda muhasebe ve finansman alanında yapılan 219 lisansüstü tez çalışmasını incelemişlerdir. Baş, Mısırdalı Yangil ve Aygün, 2014 yılında Türkiye’de entelektüel sermaye alanında yapılmış 63 lisansüstü tez çalışmasını içerik analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Alkan, 2014 yılında Türkiye’de muhasebe alanında yapılan 656 lisansüstü çalışması içerik analizi yöntemiyle incelemiştir. İnce, Gül ve Bozyiğit, 2017 yılında turizm pazarlaması konusunda 177 yüksek lisans tez çalışmasını incelemişlerdir. Gerekli literatür taraması yapıldıktan sonra veri madenciliği alanında yapılan lisansüstü tez çalışmalarının incelenmesine karar verilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü ise veri madenciliği yöntemlerinden olan birliktelik kuralları ile incelemenin yapılmasıdır.

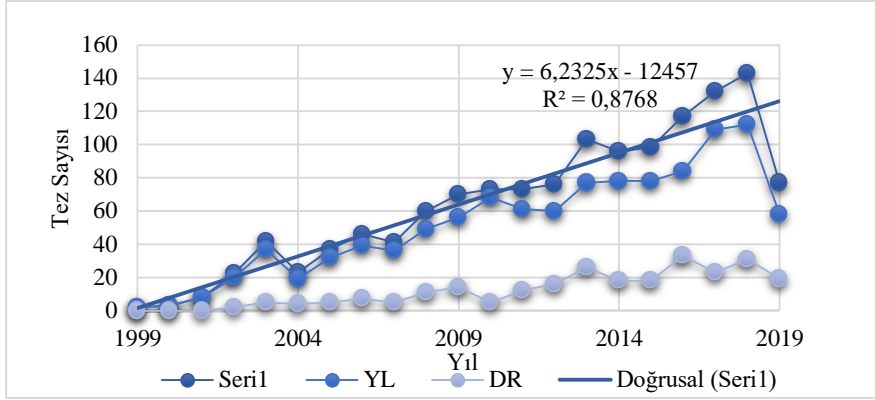
## **Yöntem**

Veri madenciliği algoritmaları; sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik kuralları olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Bu çalışmada birliktelik kuralları kullanılmıştır. Birliktelik kuralları, büyük veri tabanlarındaki gizli kalmış ilişkileri ortaya çıkarmaktadır. Her bir verinin diğer veriler ile olan ilişkisi ortaya çıkarmaktadır. Birliktelik kuralları müşteri davranışlarını tanımlama açısından da oldukça önemlidir.

## **Uygulama**

Veri madenciliği alanında Türkiye’de 1999-2019 (Eylül sonu) yılları arasında yapılan 1342 yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları incelenmiştir. Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının başlığı, özeti, konusu, anahtar kelimesi, hangi yıl yapıldığı Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden (YÖKTEZ) alınmış ve RapidMiner programında birliktelik kuralları kullanılarak incelenmiştir. Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının yıllara göre dağılımı Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’de veri madenciliği alanında yapılan yüksek lisans ve doktora çalışmalarının yıllara göre giderek arttığı görülmektedir.

**Tablo 1.** YL ve DR tez çalışmalarının yıllara göre dağılımı



Minitab programında yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının yıllara dağılımı Runs testi ile incelenmiştir. Minitab çıktısı Tablo 2’de gösterilmiştir. Minitab çıktısına göre, p değerinin 0,005’ten küçük olması sebebiyle sıfır hipotezi reddedilerek alternatif hipotez kabul edilmiştir. Alternatif hipoteze göre seri trend ve/veya otokorelasyonludur.

**Tablo 2.** Minitab çıktısı

N	K	Number of Observations	
		≤ K	> K
21	63,9048	10	11

*K = sample mean*

**Test**

Null hypothesis                      H<sub>0</sub>: The order of the data is random

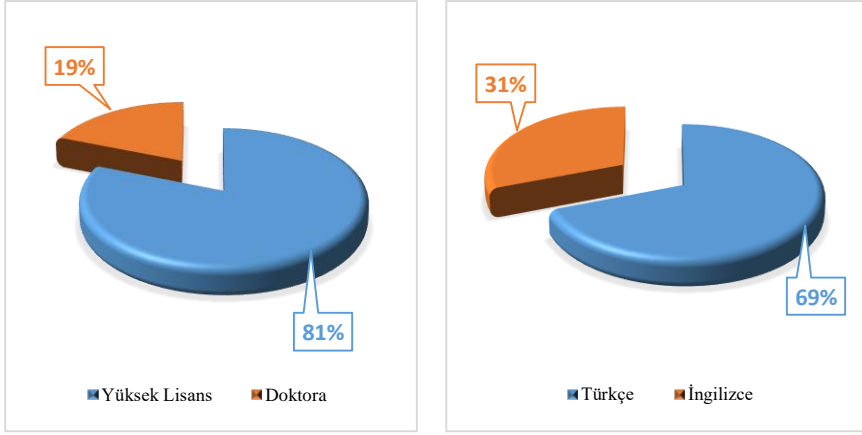
Alternative hypothesis              H<sub>1</sub>: The order of the data is not random

Number of Runs

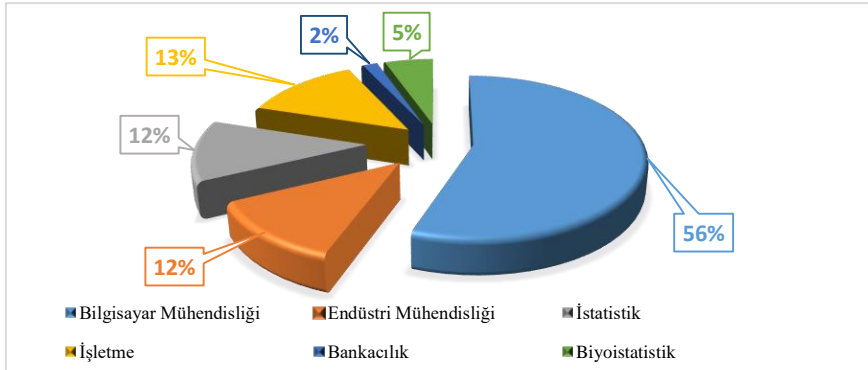
Observed	Expected	P-Value
2	11,48	0,000

Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının yüzde dağılımı Grafik 1’de gösterilmiştir. Grafik 1’de bu alanda yapılan çalışmaların çoğunluğunun yüksek lisans tez çalışmaları olduğu göze çarpmaktadır. Veri madenciliği alanında doktora çalışmalarının azlığı yapılan doktora çalışmalarını oldukça değerli kılmaktadır. Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının yazıldığı dile göre yüzde dağılımı Grafik 2’de alanlara göre dağılımı ise Grafik 3’de gösterilmiştir. Grafik 2’de veri madenciliği alanında yapılan tez çalışmalarının büyük çoğunluğunun Türkçe olduğu görülmektedir. Grafik 3’de tez çalışmaları konu alanlarına göre incelendiğinde büyük çoğunluğunun mühendislik alanında olduğu sonucuna varılmaktadır.

**Grafik 1.** Tezlerin yüzde dağılımı **Grafik 2.** Tezlerin yazım dili dağılımı

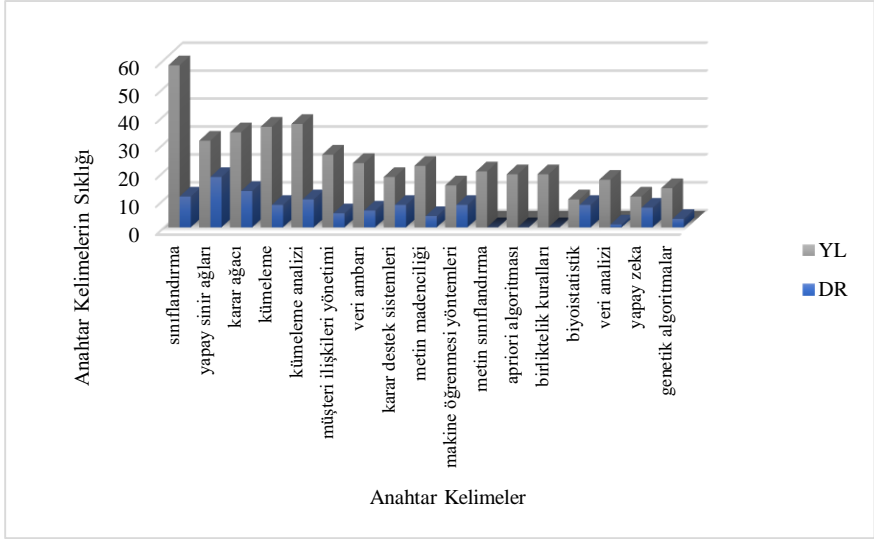


**Grafik 3.** YL ve DR tezlerinin alanlara göre dağılımı



Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının anahtar kelimelere göre birliktelik kuralları ile incelenmesi sonucu ortaya çıkan sonuçlar Grafik 4'de gösterilmiştir. Grafik 4'de yüksek lisans tez çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden olan kümeleme ve sınıflandırmanın çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir. Doktora tez çalışmalarında ise kümeleme yönteminin daha çok kullanılmasının yanında yapay sinir ağları ile yapılan çalışmaların çokluğu da göze çarpmaktadır. Tablo 3'de güven değerine göre sınıflandırma ve kümeleme analizi anahtar kelimelerinin birlikte kullanıldığı tezlerde yapay sinir ağlarının uygulandığı, sınıflandırma ve kümeleme anahtar kelimelerinin birlikte kullanıldığı tezlerde karar ağacı yönteminin uygulandığı görülmektedir. Sınıflandırma ve metin sınıflandırma anahtar kelimelerinin birlikte kullanıldığı tezlerde metin madenciliği yapıldığı görülmektedir.

**Grafik 4.** YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı



**Tablo 3.** YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları

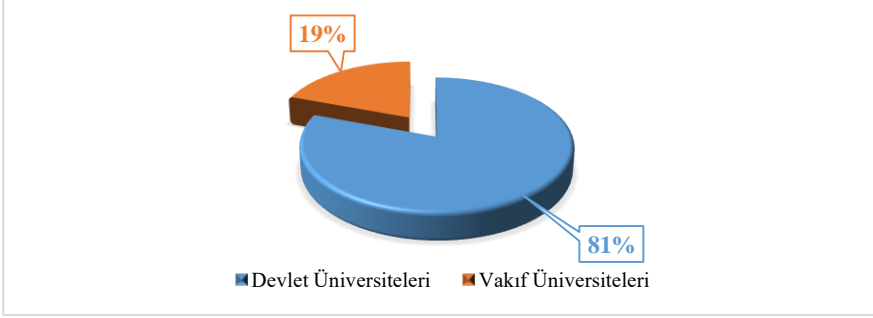
Kabul	Sonuç	Destek	Güven
sınıflandırma, kümeleme analizi	yapay sinir ağları	0,0011765	1
sınıflandırma, kümeleme analizi	karar ağacı	0,0011765	1
sınıflandırma, metin sınıflandırma	metin madenciliği	0,0011765	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri	0,0011765	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları	0,0011765	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	biyoistatistik	0,0011765	1
yapay sinir ağları, yapay zeka	metin sınıflandırma	0,0011765	1
kümeleme, karar destek sistemleri	karar ağacı	0,0011765	1
karar ağacı, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri	0,0011765	1
kümeleme, veri tabanı	kümeleme analizi	0,0011765	1
kümeleme, biyoistatistik	kümeleme analizi	0,0011765	1
kümeleme analizi, veri ambarı	veri tabanı	0,0011765	1
kümeleme analizi, veri analizi	genetik algoritmalar	0,0011765	1
kümeleme analizi, genetik algoritmalar	veri analizi	0,0011765	1
veri analizi, genetik algoritmalar	kümeleme analizi	0,0011765	1
veri tabanı, karar destek sistemleri	veri ambarı	0,0011765	1
veri tabanı, apriori algoritması	birlikte kullanım kuralları	0,0011765	1
veri ambarı, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0011765	1
veri ambarı, metin sınıflandırma	apriori algoritması	0,0011765	1
veri ambarı, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0011765	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	makine öğrenmesi yöntemleri	0,0011765	1
metin madenciliği, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0011765	1

metin sınıflandırma, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0011765	1
sınıflandırma, kümeleme analizi	yapay sinir ağları, karar ağacı	0,0011765	1
sınıflandırma, yapay sinir ağları, kümeleme analizi	karar ağacı	0,0011765	1
sınıflandırma, karar ağacı, kümeleme analizi	yapay sinir ağları	0,0011765	1
yapay sinir ağları, karar ağacı, kümeleme analizi	sınıflandırma	0,0011765	1
sınıflandırma, yapay sinir ağları, biyoistatistik	karar ağacı	0,0011765	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri, biyoistatistik	0,0011765	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri	biyoistatistik	0,0011765	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	0,0011765	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, biyoistatistik	makine öğrenmesi yöntemleri	0,0011765	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri, biyoistatistik	karar destek sistemleri	0,0011765	1
karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları	0,0011765	1
veri ambarı, metin madenciliği	metin sınıflandırma, apriori algoritması	0,0011765	1
veri ambarı, metin sınıflandırma	metin madenciliği, apriori algoritması	0,0011765	1
veri ambarı, metin madenciliği, metin sınıflandırma	apriori algoritması	0,0011765	1
veri ambarı, apriori algoritması	metin madenciliği, metin sınıflandırma	0,0011765	1
metin madenciliği, apriori algoritması	veri ambarı, metin sınıflandırma	0,0011765	1
veri ambarı, metin madenciliği, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0011765	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması	veri ambarı, metin madenciliği	0,0011765	1
veri ambarı, metin sınıflandırma, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0011765	1
metin madenciliği, metin sınıflandırma, apriori algoritması	veri ambarı	0,0011765	1

Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının devlet ve vakıf üniversitelerine göre dağılımı Grafik 5’de gösterilmiştir. Grafik 5’de veri madenciliği alanında yapılan tez çalışmalarının çoğunluğunun devlet üniversitelerinde yapıldığı görülmektedir. Yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları devlet ve vakıf üniversitelerine göre iki gruba ayrılarak birliktelik kuralları ile incelenmiştir. Devlet üniversitelerinde yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları incelenerek anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı Grafik 6’da, anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları ise Tablo 4’de verilmiştir. Vakıf üniversitelerinde yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları da incelenerek anahtar kelime sıklığına göre dağılımı Grafik 7’de, anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları ise Tablo 5’de verilmiştir.

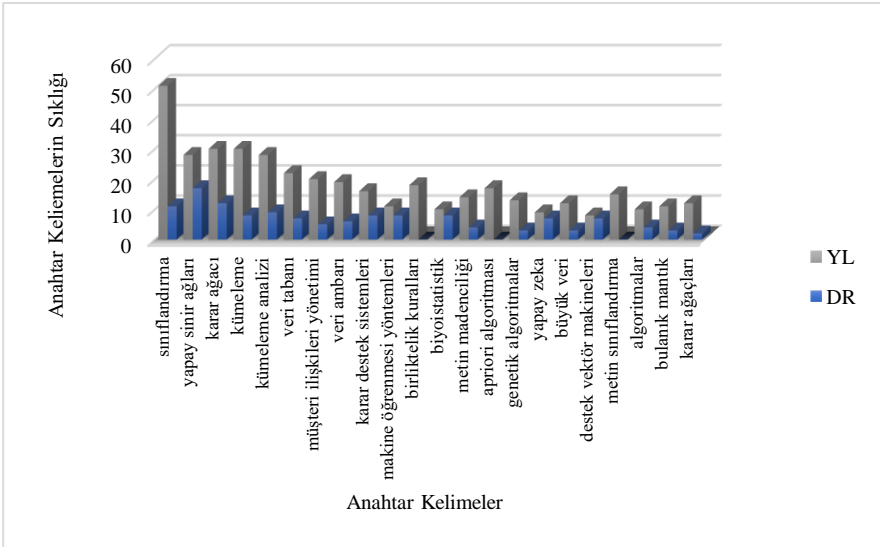


**Grafik 5.** Devlet ve vakıf üniversitelerinde yapılan YL ve DR tezlerinin dağılımı



Grafik 6’da yüksek lisans tez çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden olan sınıflandırma, kümeleme ve karar ağaçlarının çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir. Doktora tez çalışmalarında ise yapay sinir ağları, karar ağacı ve kümeleme yöntemlerinin kullanımının çoğunlukta olduğu göze çarpmaktadır. Tablo 4’ de güven değerine göre sınıflandırma ve kümeleme anahtar kelimelerinin birlikte kullanıldığı tezlerde yapay sinir ağlarının uygulandığı, sınıflandırma ve kümeleme anahtar kelimelerinin birlikte kullanıldığı tezlerde karar ağacı yönteminin uygulandığı görülmektedir.

**Grafik 6.** Devlet üniversitelerinde yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı



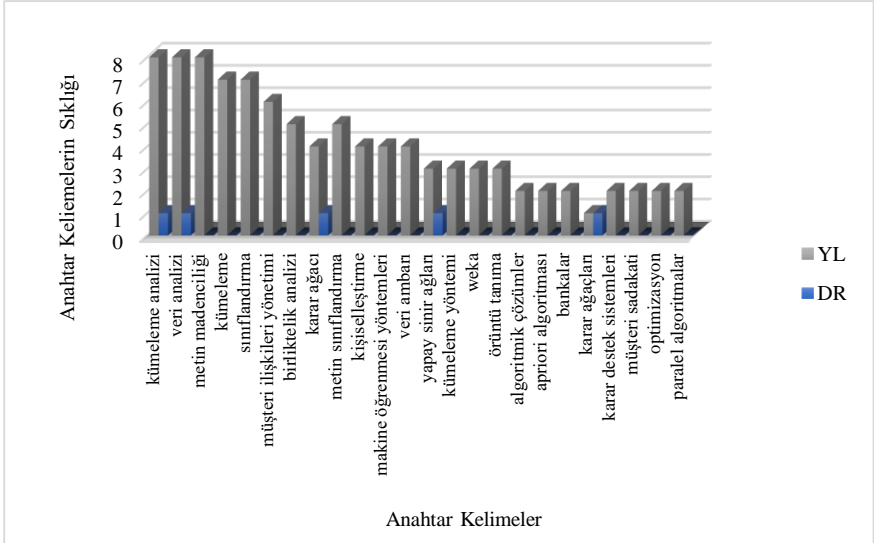
**Tablo 4.** Devlet üniversitelerinde yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları

Kabul	Sonuç	Destek	Güven
sınıflandırma, kümeleme analizi	yapay sinir ağları	0,001418	1
sınıflandırma, kümeleme analizi	karar ağacı	0,001418	1
sınıflandırma, büyük veri	biyoistatistik	0,001418	1
biyoistatistik, büyük veri	sınıflandırma	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	biyoistatistik	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	destek vektör makineleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, yapay zeka	metin sınıflandırma	0,001418	1
genetik algoritmalar, algoritmalar	yapay sinir ağları	0,001418	1
destek vektör makineleri, algoritmalar	yapay sinir ağları	0,001418	1
kümeleme, karar destek sistemleri	karar ağacı	0,001418	1
kümeleme analizi, karar ağaçları	karar ağacı	0,001418	1
karar ağacı, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri	0,001418	1
kümeleme, veri tabanı	kümeleme analizi	0,001418	1
kümeleme, biyoistatistik	kümeleme analizi	0,001418	1
kümeleme analizi, veri ambarı	veri tabanı	0,001418	1
kümeleme analizi, algoritmalar	veri tabanı	0,001418	1
veri tabanı, karar destek sistemleri	veri ambarı	0,001418	1
veri tabanı, birliktelik kuralları	apriori algoritması	0,001418	1
veri tabanı, apriori algoritması	birliktelik kuralları	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	makine öğrenmesi yöntemleri	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	destek vektör makineleri	0,001418	1
makine öğrenmesi yöntemleri, algoritmalar	biyoistatistik	0,001418	1
biyoistatistik, algoritmalar	makine öğrenmesi yöntemleri	0,001418	1
makine öğrenmesi yöntemleri, yapay zeka	destek vektör makineleri	0,001418	1
yapay zeka, karar ağaçları	destek vektör makineleri	0,001418	1
destek vektör makineleri, karar ağaçları	yapay zeka	0,001418	1
sınıflandırma, kümeleme analizi	yapay sinir ağları, karar ağacı	0,001418	1
sınıflandırma, yapay sinir ağları, kümeleme analizi	karar ağacı	0,001418	1
sınıflandırma, karar ağacı, kümeleme analizi	yapay sinir ağları	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar ağacı, kümeleme analizi	sınıflandırma	0,001418	1
sınıflandırma, yapay sinir ağları, biyoistatistik	karar ağacı	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri, biyoistatistik	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri	biyoistatistik	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, biyoistatistik	makine öğrenmesi yöntemleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri, biyoistatistik	karar destek sistemleri	0,001418	1
karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri, destek vektör makineleri	0,001418	1

yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri	destek vektör makineleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, destek vektör makineleri	makine öğrenmesi yöntemleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri, destek vektör makineleri	karar destek sistemleri	0,001418	1
karar destek sistemleri, makine öğrenmesi yöntemleri, destek vektör makineleri	yapay sinir ağları	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik	yapay sinir ağları, destek vektör makineleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, biyoistatistik	destek vektör makineleri	0,001418	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, destek vektör makineleri	biyoistatistik	0,001418	1
yapay sinir ağları, biyoistatistik, destek vektör makineleri	karar destek sistemleri	0,001418	1
karar destek sistemleri, biyoistatistik, destek vektör makineleri	yapay sinir ağları	0,001418	1
yapay sinir ağları, makine öğrenmesi yöntemleri	biyoistatistik, destek vektör makineleri	0,001418	1

Grafik 7’de yüksek lisans tez çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden olan kümeleme, sınıflandırmanın çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanında metin madenciliği de yapılmıştır. Doktora tez çalışmalarında ise kümeleme, karar ağacı ve yapay sinir ağları yöntemlerinin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Tablo 5’ de güven değerine göre metin sınıflandırma anahtar kelimesinin geçtiği tezlerde metin madenciliğinin yapıldığı yine aynı grafikte doğal dil işleme anahtar kelimesinin geçtiği tezlerde metin madenciliğinin yapıldığı görülmektedir. Müşteri sadakati anahtar kelimesinin geçtiği tezlerde tezin bankacılık alanında yapıldığı görülmektedir.

**Grafik 7.** Vakıf üniversitelerinde yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı

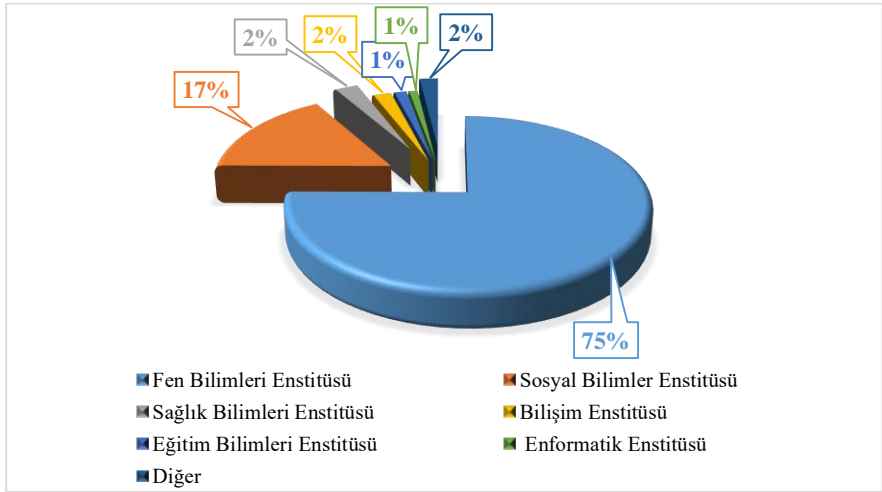


**Tablo 5.** Vakıf üniversitelerinde yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları

Kabul	Sonuç	Destek	Güven
metin sınıflandırma	metin madenciliği	0,0275862	0,8
doğal dil işleme	metin madenciliği	0,0137931	1
müşteri sadakati	bankalar	0,0137931	1
bankalar	müşteri sadakati	0,0137931	1
veri analizi, veri tabanı	veritabanı	0,0068966	1
veri analizi, veritabanı	veri tabanı	0,0068966	1
veri tabanı, veritabanı	veri analizi	0,0068966	1
kümeleme analizi, kümeleme	kümeleme yöntemi	0,0068966	1
kümeleme, kümeleme yöntemi	kümeleme analizi	0,0068966	1
kümeleme analizi, örüntü tanıma	kümeleme yöntemi	0,0068966	1
örüntü tanıma, kümeleme yöntemi	kümeleme analizi	0,0068966	1
metin madenciliği, sınıflandırma	metin sınıflandırma	0,0068966	1
sınıflandırma, metin sınıflandırma	metin madenciliği	0,0068966	1
metin madenciliği, sınıflandırma	birlikte analiz	0,0068966	1
metin madenciliği, birlikte analiz	sınıflandırma	0,0068966	1
sınıflandırma, birlikte analiz	metin madenciliği	0,0068966	1
metin madenciliği, veri ambarı	metin sınıflandırma	0,0068966	1
metin sınıflandırma, veri ambarı	metin madenciliği	0,0068966	1
metin madenciliği, birlikte analiz	metin sınıflandırma	0,0068966	1
metin sınıflandırma, birlikte analiz	metin madenciliği	0,0068966	1
metin sınıflandırma, doğal dil işleme	metin madenciliği	0,0068966	1
metin madenciliği, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0068966	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0068966	1
metin madenciliği, veri ambarı	apriori algoritması	0,0068966	1
metin madenciliği, apriori algoritması	veri ambarı	0,0068966	1
veri ambarı, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0068966	1
sınıflandırma, metin sınıflandırma	birlikte analiz	0,0068966	1
sınıflandırma, birlikte analiz	metin sınıflandırma	0,0068966	1
metin sınıflandırma, birlikte analiz	sınıflandırma	0,0068966	1
müşteri ilişkileri yönetimi, pazarlama stratejileri	pazarlama	0,0068966	1
müşteri ilişkileri yönetimi, pazarlama	pazarlama stratejileri	0,0068966	1
pazarlama stratejileri, pazarlama	müşteri ilişkileri yönetimi	0,0068966	1
müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri sadakati	bankalar	0,0068966	1
müşteri ilişkileri yönetimi, bankalar	müşteri sadakati	0,0068966	1
metin sınıflandırma, veri ambarı	apriori algoritması	0,0068966	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması	veri ambarı	0,0068966	1
veri ambarı, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0068966	1
makine öğrenmesi yöntemleri, örüntü tanıma	algoritmik çözümler	0,0068966	1
makine öğrenmesi yöntemleri, algoritmik çözümler	örüntü tanıma	0,0068966	1
örüntü tanıma, algoritmik çözümler	makine öğrenmesi yöntemleri	0,0068966	1

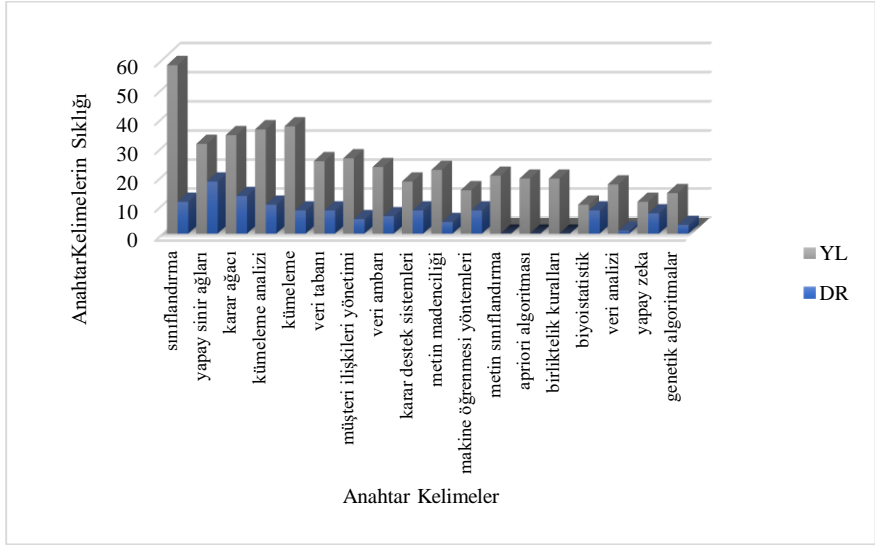
Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının yapıldığı enstitüye göre dağılımı Grafik 8’de gösterilmiştir. Grafik 8’de veri madenciliği alanında yapılan tez çalışmalarının çoğunluğunun fen bilimleri enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapıldığı görülmektedir. Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarının anahtar kelimelere en çok çalışma yapılan iki enstitü olan fen bilimleri ve sosyal bilimler enstitüsü iki ayrı grup olarak birliktelik kuralları ile incelenmiştir. Fen bilimleri enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları incelenmiş ve anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı Grafik 9’da, anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları ise Tablo 6’da verilmiştir. Sosyal bilimler enstitüsüne bağlı yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları da incelenmiş ve anahtar kelime sıklığına göre dağılımı Grafik 10’da, anahtar kelimelerin birlikte kullanım oranları ise Tablo 7’de verilmiştir.

**Grafik 8.** YL ve DR tezlerinin yapıldığı enstitü anabilim dallarına göre dağılımı



Grafik 9’da yüksek lisans tez çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden olan sınıflandırma, kümeleme yöntemlerinin çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir. Doktora tez çalışmalarında ise yapay sinir ağları, kümeleme ve karar ağacı yöntemlerinin kullanımının çoğunlukta olduğu göze çarpmaktadır. Tablo 6’da güven değerine göre sınıflandırma ve metin sınıflandırma anahtar kelimelerinin kullanıldığı tezlerde metin madenciliğinin yapıldığı, kümeleme ve veri tabanı anahtar kelimelerinin kullanıldığı tezlerde kümeleme analizinin yapıldığı, kümeleme ve karar destek sistemleri anahtar kelimelerinin kullanıldığı tezlerde karar ağacı yönteminin yapıldığı görülmektedir.

**Grafik 9.** Fen bilimleri enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı

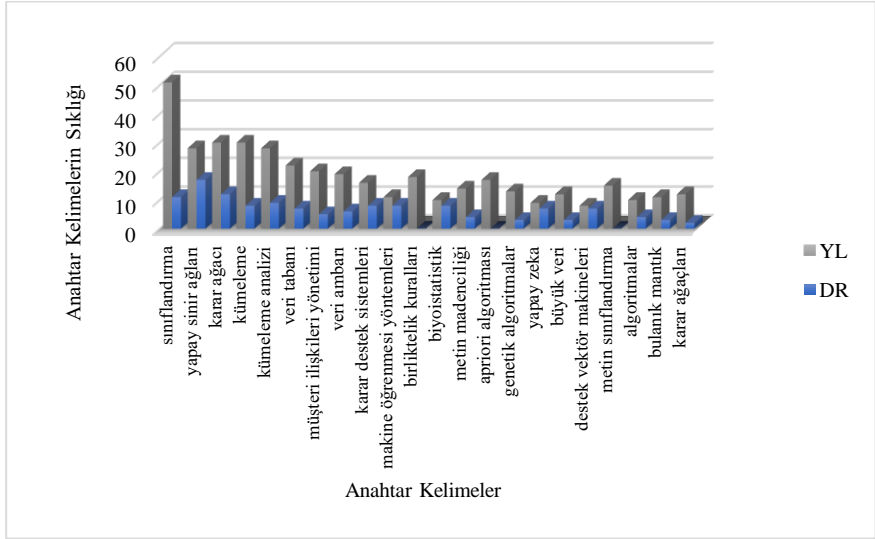


**Tablo 6.** Fen bilimleri enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan YL ve DR tezlerin anahtar kelimelerinin birlikte kullanılma oranları

Kabul	Sonuç	Destek	Güven
sınıflandırma, metin sınıflandırma	metin madenciliği	0,0017422	1
kümeleme, veri tabanı	kümeleme analizi	0,0017422	1
kümeleme analizi, veri tabanı	kümeleme	0,0017422	1
kümeleme, karar destek sistemleri	karar ağacı	0,0017422	1
yapay sinir ağları, karar destek sistemleri	karar ağacı	0,0017422	1
yapay sinir ağları, yapay zeka	metin sınıflandırma	0,0017422	1
kümeleme analizi, veri analizi	genetik algoritmalar	0,0017422	1
kümeleme analizi, genetik algoritmalar	veri analizi	0,0017422	1
veri analizi, genetik algoritmalar	kümeleme analizi	0,0017422	1
karar ağacı, makine öğrenmesi yöntemleri	karar destek sistemleri	0,0017422	1
makine öğrenmesi yöntemleri, karar destek sistemleri	karar ağacı	0,0017422	1
metin madenciliği, apriori algoritması	metin sınıflandırma	0,0017422	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması	metin madenciliği	0,0017422	1
metin madenciliği, apriori algoritması	veri ambarı	0,0017422	1
metin madenciliği, veri ambarı	apriori algoritması	0,0017422	1
apriori algoritması, veri ambarı	metin madenciliği	0,0017422	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması	metin madenciliği, veri ambarı	0,0017422	1
metin madenciliği, metin sınıflandırma, veri ambarı	apriori algoritması	0,0017422	1
apriori algoritması, veri ambarı	metin madenciliği, metin sınıflandırma	0,0017422	1
metin madenciliği, apriori algoritması, veri ambarı	metin sınıflandırma	0,0017422	1
metin sınıflandırma, apriori algoritması, veri ambarı	metin madenciliği	0,0017422	1

Grafik 10’da sosyal bilimler enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yüksek lisans tez çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden olan sınıflandırma, kümeleme ve karar ağacı yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Doktora tez çalışmalarında ise yapay sinir ağları, kümeleme ve karar ağacı yöntemlerinin kullanımının çoğunlukta olduğu göze çarpmaktadır. Bunun yanında ise tez konusunun müşteri ilişkileri yönetimi üzerine de yapıldığı görülmektedir. Tablo 7’ de güven değerine göre yönetim anahtar kelimelerinin kullanıldığı tezlerde müşteri ilişkileri yönetimi konusunun üzerinde çalışıldığı görülmektedir.

**Grafik 10.** Sosyal bilimler enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin sıklığına göre dağılımı



**Tablo 7.** Sosyal bilimler enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan YL ve DR tezlerinde anahtar kelimelerin birlikte kullanılma oranları

Kabul	Sonuç	Destek	Güven
yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi	0,031088	0,857143
yönetim	müşteri ilişkileri	0,031088	0,857143
yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri ilişkileri	0,031088	0,857143
müşteri ilişkileri yönetimi, yönetim	müşteri ilişkileri	0,031088	1,000000
müşteri ilişkileri, yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi	0,031088	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, müşteriler	müşteri ilişkileri	0,025907	0,833333
müşteri ilişkileri, müşteriler	müşteri ilişkileri yönetimi	0,025907	1,000000
müşteri ilişkileri, müşteriler	yönetim	0,020725	0,800000
müşteri ilişkileri, müşteriler	müşteri ilişkileri yönetimi, yönetim	0,020725	0,800000
müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri ilişkileri, müşteriler	yönetim	0,020725	0,800000
müşteriler, yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi	0,020725	1,000000

müşteriler, yönetim	müşteri ilişkileri	0,020725	1,000000
müşteriler, yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri ilişkileri	0,020725	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, müşteriler, yönetim	müşteri ilişkileri	0,020725	1,000000
müşteri ilişkileri, müşteriler, yönetim	müşteri ilişkileri yönetimi	0,020725	1,000000
bankacılık sektörü	bankalar	0,015544	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, işletmeler	müşteri ilişkileri	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, oteller	müşteri ilişkileri	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri, oteller	müşteri ilişkileri yönetimi	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, iletişim	müşteri ilişkileri	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri, iletişim	müşteri ilişkileri yönetimi	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, işletmeler	müşteriler	0,010363	1,000000
müşteriler, işletmeler	müşteri ilişkileri yönetimi	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, bankalar	bankacılık sektörü	0,010363	1,000000
müşteri ilişkileri yönetimi, bankacılık sektörü	bankalar	0,010363	1,000000
veri ambarı, sağlık sektörü	veri tabanı	0,010363	1,000000
algoritmalar, veri tabanı sistemleri	veri tabanı	0,010363	1,000000
veri ambarı, karar verme	karar destek sistemleri	0,010363	1,000000
müşteriler, işletmeler	müşteri ilişkileri	0,010363	1,000000
sınıflandırma, tahmin	tahmin yöntemleri	0,010363	1,000000
müşteriler, bankacılık	bankalar	0,010363	1,000000
perakende sektörü, pazarlama	satış	0,010363	1,000000
perakende sektörü, satış	pazarlama	0,010363	1,000000
pazarlama, satış	perakende sektörü	0,010363	1,000000
mesaj, duygu analizi	sosyal medya	0,010363	1,000000
sağlık sektörü, veri	bilgi	0,010363	1,000000
sağlık sektörü, bilgi	veri	0,010363	1,000000
imkb, tahmin yöntemleri	hisse senetleri	0,010363	1,000000
hisse senetleri, tahmin yöntemleri	imkb	0,010363	1,000000

## Sonuç ve Öneriler

### Sonuç

Veri madenciliği alanında yapılan lisansüstü tez çalışmalarının çoğunluğunun yüksek lisans tez çalışmaları olduğu, doktora çalışmalarının sınırlı sayıda yapıldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebinin doktora çalışmalarının doktora tezi şartlarını yerine getirilmesi amacıyla, yeni uygulama alanı, yeni algoritma geliştirme, yeni yazılım paketi hazırlama gibi üst düzey çalışmalarının ülkemizde sınırlı sayıda yapılması olduğu düşünülmektedir. Yüksek lisans tezlerinde kümeleme ve sınıflandırma yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı, doktora tezlerinde ise kümeleme yöntemi ve yapay sinir ağları ile yapılan çalışmaların çok olduğu görülmüştür. Fen bilimleri enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yapılan yüksek lisans tez çalışmalarında sınıflandırma, kümeleme yöntemlerinin



sıklıkla kullanıldığı, doktora tez çalışmalarında ise yapay sinir ağları, kümeleme ve karar ağacı yöntemlerinin uygulandığı görülmüştür. Sosyal bilimler enstitüsüne bağlı anabilim dallarında yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarında müşteri ilişkileri yönetimi konusu çalışılmıştır.

## Öneriler

İlerideki çalışmalarda lisansüstü tezlerinin danışman unvanlarının dağılımlarına, tez içeriklerinin daha ayrıntılı incelenmesi gibi konu kapsamının genişletilmesi önerilmektedir. Ayrıca doktora seviyesinde yapılan çalışmaların artmasına imkân sağlamak ve hem yüksek lisans hem de doktora tezlerinin nitelik ve nicelik olarak iyileştirilmesi adına, farklı alanlarda farklı disiplinlerde de veri madenciliğinin müfredata alınması hatta yüksek lisans/doktora programlarında özel bir program olarak açılması uygun olabilecektir. Bu sayede ulusal/uluslararası literatüre destek sağlayacak önemli gelişmelerin öz kaynaklarımız ile yapılmasının önü açılmış olabilecektir. Veri madenciliğinde yaşanan en büyük sıkıntı verinin teminidir. Bu kapsamda özellikle sağlık alanında yapılacak çalışmaları desteklemek adına, hiçbir özel kişi bilgisine yer verilmeden, büyük verilerin analizine imkân sağlayacak veri bankalarının kurulmasının da mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

## Kaynaklar

- Alkan, G. (2014). Türkiye’de Muhasebe Alanında Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmaları Üzerine Bir Araştırma (1984-2012). *Muhasebe ve Finansman Dergisi* (61), 41-52.
- Baş, M., Mısırdalı Yangil , F., ve Aygün, S. (2014). Entelektüel Sermaye Alanında Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmalarına Yönelik Bir İçerik Analizi: 2002-2012 Dönemi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(23).
- Fidan, C., ve Ağırbaş , İ. (2018). Türkiye’de Sağlık Kurumlarında Muhasebe ve Finansman Alanında Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmalarının İncelenmesi: 1992-2018 Dönemi. 2. *Uluslararası 12. Ulusal Sağlık ve Hastane İdaresi Kongresi*, 985-995.
- İnce, M., Gül, H., ve Bozyiğit, S. (2017). Türkiye’de Turizm Pazarlaması Konusunda Yazılan Lisansüstü Tezlerin İçerik Analizi Yöntemiyle İncelenmesi: 1990-2016. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(5), 113-130.
- Yılmazel, Ö. (2019). Yök Ulusal Tez Merkezi’nde Büyük Veri Alanında Kayıtlı Bulunan Lisansüstü Tezlerinin Analizi. *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, (41), 225-240.

**ENERGY SYSTEMS ENGINEERING / ENERJİ SİSTEMLERİ  
MÜHENDİSLİĞİ**

# GÜÇ ÜRETEN UÇURTMALAR

**Gamze Derya SANCAK\* & Numan Sabit ÇETİN\*\***

\* *gamze.derya.sancak@gmail.com*, \*\* *ncetin@rocketmail.com*

*Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü*

*Bornova İzmir*

**Özet:**Dünyada yenilenebilir enerji kullanımı, fosil yakıtların sonlu olduğu düşünüldüğünde mutlak bir zorunluluğu beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu kaynakların kullanımı ve teknolojileri ile alakalı sürekli yenilikler gündemdedir. Bu kaynaklardan biri olan rüzgar kaynağının kullanımı ve teknolojik gelişmeleri hızla devam etmektedir. Karasal ve denizsel alanların kullanım alanları giderek daralmaktadır ve bu tesislerin maliyetleri fazla olduğundan, günümüzde küçük güçlü rüzgar türbin teknolojileri üzerinde durulmaktadır. Bu aşamada rüzgar endüstrisinde yeni yöntemler geliştirilip, rekabetçi koşullar oluşturulması muhtemeldir. Bu çalışmada, bu yöntemlerden biri olan “crosswind kite power” (güç üreten uçurtma) teknolojisinin genel olarak sistemin çalışma mantığından bahsedilip, prensip şeması basit anlamda aktarılacaktır. Sistemin matematiksel modellemesi ve simülasyon sonuçları hakkında bilgi verilecektir. Endüstride kullanılan modern rüzgar türbinleri ile güç üreten uçurtma sistemleri temel olarak karşılaştırılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** küçük güçlü rüzgar türbini, türbin teknolojileri, rüzgar enerjisi , rüzgar gücü , uçurtma gücü

## 1. Giriş

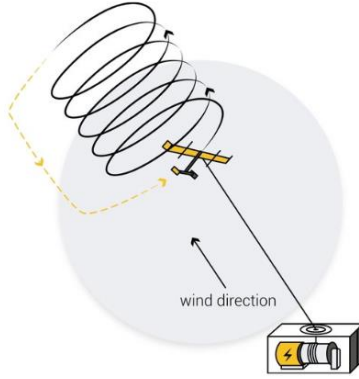
Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin kullanımı ve bu enerjinin çevrimini sağlayan rüzgar türbinleri de hem karasal hem denizsel kullanım alanlarında olarak her geçen gün gelişmekte; yeni türbin teknolojileri ile karşılaşılacaktır. Gelişmekte olan bu mevcut teknolojilerde, gerek kullanım kapasitelerinin doruğa ulaşması gerekse rüzgar kararsızlıkları, tesis yatırım maliyetleri ve enerji hattı kayıpları göz önüne alındığında geleneksel sistemlerin kullanım alanları ve yöntemlerinin yerini başka teknolojilerin alacağı ön görülmektedir. Bu gibi sebepler düşünüldüğünde, sürdürülebilir enerji eldesi ve piyasada rekabet oluşturabilmek için farklı arayışlar mevcuttur.

Bu farklı teknolojilerden biri de “crosswind kite power” olarak adlandırılan Türkçe’ye “Çapraz rüzgarlı uçurtma gücü” olarak çevrilebilen sistemdir. Bu sistemin çalışmasının incelenmesinde, Maia, 2014 [1] , Fechner, 2016 [2] master ve doktora tezleri ile sistemlerin teknoloji geliştiricilerine yönelik bilgilerden faydalanılmaktadır.

## 2. Uçurtma Gücü Sistemleri

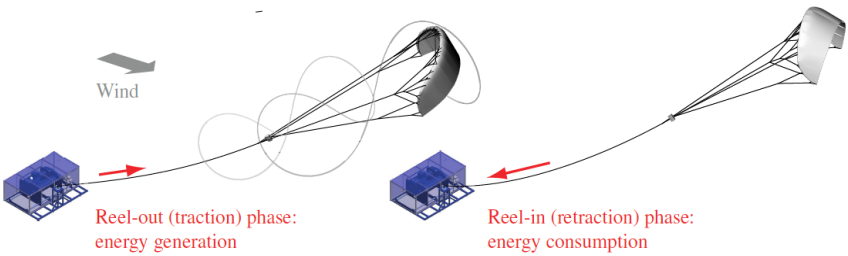
### 2.1. Sistemin Temel Çalışma Prensibi

Bu sistemlerde, geleneksel rüzgar türbinlerinin erişemediği yüksekliklerde esen rüzgarlardan faydalanmaya müsait uçan hafif şişirilebilir uçurtma veya kanatlı uçaklar kullanılmaktadır. Bu sistemlerin güç üretmek için kullanımı 1970'li yılların ortalarında başlamış, günümüze yakın tarihlerde ivme kazanmıştır.



Şekil 1. Sistemin temel bileşenleri

Sistem; temel anlamda şişirilebilir kanat veya kanatlı uçak ve çekiş ipi güçlü fakat esnek, hafif malzemeler ile zeminde konumlandırılan servis seviyesini kolaylaştıran, yapısal kuvvetleri aza indiren jeneratörden oluşmaktadır. Şekil 1’de temel bileşenler görülmektedir. Bu, çok hareketli bir rüzgar enerjisi sistemi için ideal bir temel olarak düşünülmektedir. [3]



Şekil 2. Uçurtma sisteminin çalışma prensibi

Şekil 2’de uçurtma sisteminin çalışma prensibi açıklanmaktadır. [4] Sistem, iki fazda çalışmaktadır:

Birinci fazda, uçurtma, bir rüzgar türbini kanadının ucunun yapacağı yola benzer şekilde önceden tanımlanmış bir yönde uçacak şekilde, yüksek bir uçuş hızı ile yükselmektedir. Bu aşamada güçlü aerodinamik kaldırma kuvvetleri uçurtmanın kanadı tarafından üretilmekte ve kablo maksimum uzunluğa ulaşırken üzerinde bir gerginlik oluşturmaktadır; kablo zeminde makara sistemine bağlıdır, makara-jeneratör sistemi yardımı ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmektedir.

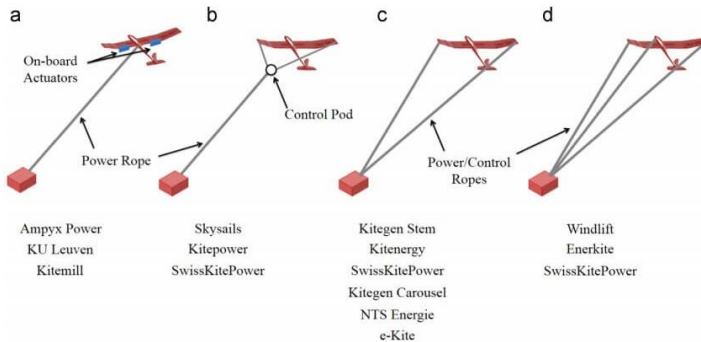
İkinci fazda ise, makara-jeneratör sistemi modülü vinç mantığında çalışarak uçurtma, başlangıç konumuna geri çekilmektedir. Bu sırada, minimum miktarda enerji tüketimi olduğu belirtilmektedir.

Temelde, aerodinamik direncin en aza indirilmesi için kanat manevralar yaparak uçuş düzeninden çıkmakta ve başlangıç noktasına geri dönmekte olan bu sistemin döngüsü esnasında net enerji kazancı sağlanmaktadır. [5]

Çeşitli teknoloji geliştiricileri tarafından, uçurtmanın uçuş kontrolü için uzaktan kumandalı bir birim kullanılmaktadır. Geleneksel rüzgar türbinlerinin yaklaşık olarak ulaşabildiği 200 m sınırının çok ötesindeki yüksekliklere erişebilmektedir. Bu yüksekliklerde rüzgar daha kuvvetli ve daha sabit olup, sistemin kapasite faktörlerini yaklaşık %60'a yükselttiğinden bahsedilmektedir. Geleneksel rüzgar türbinleri ise şu anda % 20-35 değerlerine ulaşmaktadır. [6]

Günümüzdeki çalışmaların sahip olduğu temel çalışma prensibi aynı olsa da çeşitli farkları olduğu görülmektedir. Bu farklar, tasarım ve kontrol sistemlerinden ileri gelmektedir.

Aşağıdaki şekil firmaların kullandığı farklı kontrol konseptlerini basitçe göstermektedir. [7]



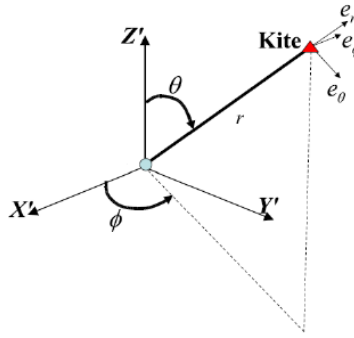
**Şekil 3.** Uçurtma tabanlı sistemler için kontrol konseptleri

## 2.2. Matematiksel Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları

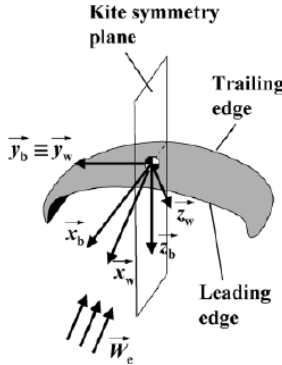
Bu çalışmada sistemin matematiksel modellenmesi ve simülasyon sonuçları ayrıntılarına değinilmeden temel şemalar aktarılacaktır. Sistemlerin kontrol konseptlerine göre farklı model ve simülasyon sonuçları oluşabilecektir.

Şekil 4 ve Şekil 5'te [8] Maia, 2014 [1] çalışma sonuçlarına yer verilmiştir. Şekil 4'te uçurtma modeli için oluşturulmuş temel model diyagramı görülmektedir.

Şekil 5'te ise, uçurtma ağırlık merkezine göre rüzgar koordinat sistemi ve uçurtma üzerinde etkin olan rüzgar vektörleri belirtilmektedir.



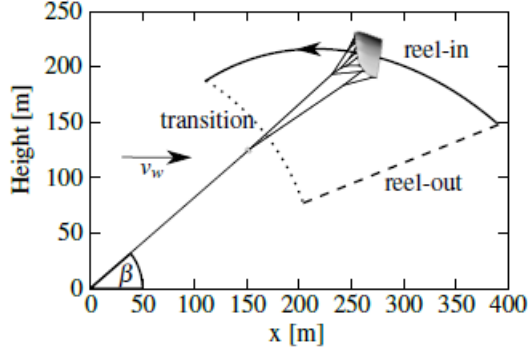
Şekil 4. Uçurtma model diyagramı



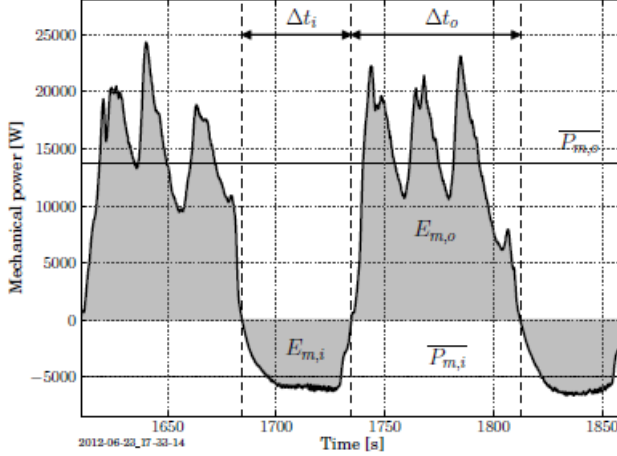
Şekil 5. Uçurtma rüzgar akışı koordinat gösterimi

Şekil 6'da ve Şekil 7'de Fechner, 2016 [2] çalışmasına ait sistem modelleme simülasyonları yer almaktadır. Şekil 6'daki [9] Simülasyon 29,5 m<sup>2</sup> uçurtma yörüngesinde 7 m/s rüzgar hızında 2D modellenmiş bir

çapraz rüzgarlı uçurtma gücü sistemine aittir. Şekil 7’de [10] yer alan simülasyon ise , 23 Haziran 2013’te ölçülen, 14 m<sup>2</sup> uçurtma kullanan bir sistemin mekanik güç ve enerji döngüsünü göstermektedir. Bu tür modeller, sistemin kararlılıkları, verimi, farklı yüksekliklerdeki hava yoğunluklarının etkisi gibi parametrelerin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 6. 29,5 m<sup>2</sup> uçurtma yörüngesinde 7 m/s rüzgar hızında 2D modellenmiş bir simülasyonu



Şekil 7. 14 m<sup>2</sup> uçurtma kullanan bir sistemin mekanik güç ve enerji döngüsü

### 3. Sonuç ve Öneriler

Geliştirilmekte olan bu sistem araştırma sonuçlarına göre, daha düşük veya daha yüksek rüzgar hızlarında çalışabilmesi, rüzgar hızının değişkenliklerinden daha az etkilenmesi, şebekeden bağımsız çalışabilir olması, maliyetlerin düşük olması, taşınabilir hareketli sistemler olması

sebepleriyle sürdürülebilir enerji ve hibrit enerji teknolojileri için hem karada hem denizde kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Elektrik enerjisi için gerekli rüzgar enerjisi, rüzgâr hızının yüksek olduğu yüksek rakımlara ulaşarak kullanılması ve maliyetlerinin daha düşük olması dolayısıyla elektrik enerjisi veriminin, benzer kapasitelerde olan rüzgar türbinlerine göre daha yüksek olacağı düşünülebilir.

Geleneksel rüzgar türbinlerine göre daha az ses ve görsel etkiye sahip, yarasa ve kuşlar için daha az tehlikeli, sürdürülebilirliğin daha etkin olduğu, taşınabilir bir sistem olması dolayısıyla uzak yerleşimler, sistemler için uygun, açık denizlerde dahi kullanıma elverişli uygulamalar olması gibi çeşitli sebepler ile bu sistemler Avrupa ve çeşitli Dünya ülkelerinde giderek yaygınlaşmaktadır. Tüm bu sebepler ve ekonomik şartlar göz önüne alındığında Türkiye’de de tercih edilebilir sistemler haline gelmesi ve teknolojinin uygulanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

### **Referanslar**

- [1] Tiago Costa Moreira Maia, Optimal Control of Power Kites for Wind Power Production, Univesity of Porto, Master’s thesis, 2014.
- [2] Uwe Fechner, A Methodology for the Design of Kite-Power Control Systems, University of Hagen, PhD Thesis, 2016.
- [3] <http://www.e-kite.com/technology>
- [4] Dvorak Paul, Power from parachutes, wings, kites, and more: A review of the Technologies, Windpower Engineering & Development, 2018.
- [5] Mojtaba Kheiri,Frédéric Bourgault,Vahid Saberi Nasrabad,Samson Victor, On the aerodynamic performance of crosswind kite power systems, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2018
- [6] <http://www.kitepower.eu/technology.html>
- [7] Antonello Cherubini,Andrea Papini,Rocco Vertechy,Marco Fontana, Airborne Wind Energy Systems: A review of the Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015
- [8] Tiago Costa Moreira Maia, Optimal Control of Power Kites for Wind Power Production, Univesity of Porto, Master’s thesis, 2014, s:13-17.
- [9] Uwe Fechner, A Methodology for the Design of Kite-Power Control Systems, University of Hagen, PhD Thesis, 2016, s:29-31 .



# DEĞİŞKEN HIZLI RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE GÜÇ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN KONTROLÜ VE AZALTILMASI

Alireza ZERAATİBONAB\* & Numan Sabit ÇETİN\*\*

Ali Murat ATEŞ\*\*\*

\*Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, alireza.zeraati@gmail.com<sup>[1]</sup>

\*\*Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, numan.sabit.cetin@ege.edu.tr

\*\*\*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, muratates1@gmail.com

**Özet:** Günümüzde şebekeye bağlı rüzgâr türbinlerinin artması ile birlikte, güç kalitesine dikkat edilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Güç kalitesinin en önemli problemleri flicker etkisi ve harmonikler'dir. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinlerinin flicker etkileri ve güç dalgalanmaları çok çeşitli parametrelerden etkilenmektedir, örneğin Rüzgar türbinlerinin ilk çalışması (start-up) gibi anahtarlama işlemleri ve sürekli çalışması esnasındaki aktif ve/veya reaktif güçteki dalgalanmalar, rüzgar hızı ve yön değişimi (wind shear), Kule gölge etkisi (tower shadow), Rüzgar Türbülansı, kule salınımı, dişli kutusundaki problemler ve rüzgar hızındaki dalgalanmalar nedeniyle meydana gelir. Meydana gelen bu dalgalanmaların şebeke üzerindeki etkisi, şebekenin kısa devre gücüne ve şebeke empedans açısına bağlıdır. Bu çalışmada, maksimum güç noktası takibi (MPPT) iki yöntem ile, kanat uç hız oranı (TSR) ve Optimal tork kontrolü (OTC) performansları güç dalgalanmaları üzerinde incelenmiştir. Şebekeye bağlı bir rüzgar türbininin tüm aerodinamik, mekanik ve elektriksel özellikleri FAST ve MATLAB/SIMULINK kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon sonuçları, güç dalgalanmalarının iyileştirilmesinde önerilen yöntemin doğruluğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Değişken hızlı rüzgar türbini, çift beslemeli indüksiyon jeneratör, güç kalitesi, flicker, MPTT,

## 1. Giriş

Son yıllarda, dünya genelinde artan enerji ihtiyacı ve enerji kıtlığına olan ihtiyaç nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek için çaba harcanmıştır. Fosil yakıtlarla ekonomik bakımdan karşılaştırılabilir olan tek yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisidir. Bunun nedeni, alınan enerjinin mekanik olması ve minimum kayıplarla kolayca elektriksel enerjiye dönüştürülebilmesidir. Aynı zamanda çevre açısından en temiz enerji türlerinden biridir ve yükün yanına kurulursa yüksek gerilim hatları gerektirmez. Ek olarak, şebekeye bağlı rüzgâr türbinlerin

artması ile, güç kalitesi konusuna dikkat etmek önemli bir konu haline gelmiştir ve flicker etkisi elektrik şebekelerinde güç kalitesinin önemli faktörlerinden biri olmuştur. Bu olay, elektrik şebekelerinde 0,9 ila 1,1 periyot arasında değişen alternatif veya doğru akım voltaj dalgalanmalarını ifade eder ve bu dalgalanmaların frekansı yaklaşık sıfır ile 30 Hz arasındadır ve elektrik ekipmanlarına hasar vererek tüketici memnuniyetsizliğine yol açabilir. Rüzgâr santrallerinde genel olarak çift beslemeli endüksiyon jeneratörleri kullanıldığından, değişken hızlı çift beslemeli endüksiyon jeneratörleri rüzgâr türbinlerinde güç dalgalanmalarının oluşmasında ve kontrol edilmesinde etkili faktörlerin araştırılması çok önemlidir.

Voltaj dalgalanmalarının etkisi şebekeye bağlı rüzgâr türbinleri tarafından, çıkış gücündeki dalgalanmalar nedeniyle sürekli çalışma sırasında gerçekleşir. Güç dalgalanmaları, rüzgâr karakteristikleri (ortalama rüzgar hızı, türbülans yoğunluğu, rüzgar kesme etkileri ve kule gölge etkisi) ve şebeke koşulları (SCR kısa devre kapasite oranı ve şebeke empedans açısı) gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca kullanılan rüzgar türbin tipi voltaj dalgalanması üzerinde etkilidir, değişken hızlı rüzgar türbinleri, gerilim dalgalanması açısından sabit hızlı rüzgar türbinlerinden daha iyi performans göstermektedir (Sun, Chen ve Blaabjerg, 2005). Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde flicker etkisi ve güç dalgalanmalarının ölçümü, analizi ve azaltılması üzerine önemli araştırmalar yapılmıştır. Flicker ve güç dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan en yaygın yöntemler, şebeke empedans açılarını ve güç faktörünü kontrol ederek yapılmaktadır. (Zhang, Chen ve Cheng, 2014) 'da güç dalgalanmalarını azaltmak için jeneratör tork kontrol yöntemi kullanılmıştır. Burada rotor tarafına dönüştürücünün akım devresine bir BRF filtresi ekleyerek elektrik dalgalanmaları azaltılabilir. Güç faktörü açılarını ve şebekenin empedansını kontrol ederek, voltaj dalgalanmaları ve sonuç olarak, flicker etkisi (Kim, Won, 2009) 'de azaltılmıştır. Bununla birlikte, bu yöntem, küçük bir empedans açısı olan dağıtım şebekelerinde sınırlamalarla karşılaşır. Rüzgar hızı yüksek ve empedans açısı küçük olduğunda flicker etkisi azaltmak için gereken reaktif güç miktarı yüksektir, bu da şebeke tarafı dönüştürücüsü için reaktif güç üretmesini zorlaştırır. ( Zhang, Chen ve Cheng, 2014)'de, jeneratörün aktif gücüne ve türbin açısına göre, her bıçak için küçük bir adım artışı yaratan ve güç dalgalanmalarını azaltan bağımsız bir adım kontrol yöntemi önerilmektedir.

Reaktif güç üretebilen veya absorbe eden FACT cihazlardan biri STATCOM'dur. STATCOM kullanılması, bağlantı noktasındaki voltaj dalgalanmalarını azaltabilir ve rüzgar türbininin o noktasındaki terminal

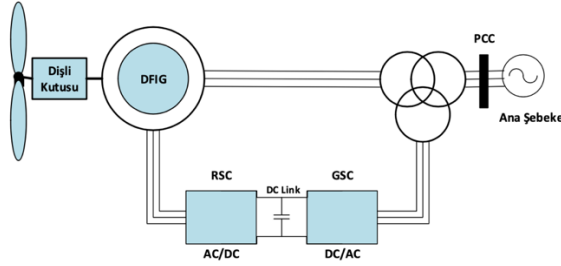
voltajını ayarlayabilir (Sun, Chen ve Blaabjerg, 2004). flicker etkisini azaltmak için back to back dönüştürücünün DC-link voltajını değiştirerek aktif gücü kontrol etme yöntemidir ( Hu, Chen ve Wang, 2009). Bu yöntemde Jeneratörün aktif güç dalgalanmalarını ve flicker etkisini azaltmak için kullanılan enerji depolama sistemi (süper kapasitör) söz konusudur. Bunun kontrol sistemi aşırı karma ve maliyeti de oldukça yüksektir.

Bu makalede, güç dalgalanmalarını ortadan kaldırmak için bir geçiş filtresi kullanılmıştır ve filtrenin ilk defa farklı yerlere yerleştirilmesiyle, sistemin yanıtları güç dalgalanmaları ve voltaj değişimleri açısından karşılaştırılmıştır. Ek olarak, bu makalede birkaç simülasyonu sunarak rüzgar hızı, kısa devre gücü ve şebeke empedans açısının güç dalgalanmaları ve voltaj değişimleri üzerindeki etkisini araştırmakta ve karşılaştırmaktadır. Daha sonra, rüzgar türbini elektriksel, mekanik ve aerodinamik modelleri ikinci bölümde kısaca açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, çift beslemeli endüksiyon jeneratörü kontrolü, aerodinamik güç kontrolü ve maksimum güç noktası izleme yöntemleri için kontrol yöntemleri tanıtılmıştır. Güç dalgalanmaları nedenleri dördüncü bölümde tartışılmıştır ve uygun filtre, güç dalgalanmaları azaltmak için tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçları ve önerilen kontrol yönteminin güç dalgalanmalarını azaltmadaki etkinliği Bölüm 5'te sunulmuştur ve son olarak altıncı bölümde çalışmanın sonucu sunulmuştur.

## **2. Değişken Hızlı Rüzgar Türbini Modeli**

Bu türbinler, bir elektronik güç dönüştürücü aracılığıyla şebekeye bağlanan indüksiyon veya senkron jeneratörlere sahip türbinlerdir. Elektrik sistemleri sabit hızlı rüzgar türbinlerinden çok daha karmaşıktır. Bu modelde, jeneratör ve dolayısıyla rotorun hızı elektronik güç dönüştürücü tarafından kontrol edilir. Çift beslemeli endüksiyon jeneratörlerle (DFIG) sahip değişken hızlı rüzgar türbinleri, düşük maliyeti ve kayıpları nedeniyle yüksek güçlü uygulamalar için kullanılan en yaygın türbin modelleridir. DFIG'li rüzgar türbininin ana bileşenlerinin basit şeması, Şekil 1'de gösterilmiştir (Chwa, Lee, 2010).

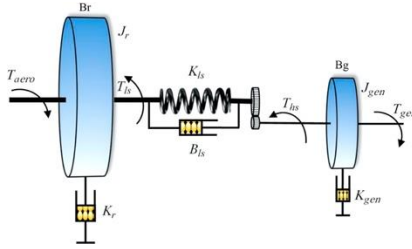
Çift beslemeli indüksiyon jeneratörü, stator bobini doğrudan üç fazlı şebekeye bağlı olan rotor indüksiyonlu bir endüksiyon makinesidir ve rotor bobini, sürgülü ve fırça halkaları vasıtasıyla güç dönüştürücüsüne bağlanmaktadır. Gücün elektronik dönüştürücüsü toplam gücün yalnızca bir kısmını (nominal gücün yaklaşık %20-30'u) geçirdiğinden, sistemin kayıpları ve maliyetini azaltmış olur.



Şekil 1: DFIG rüzgar türbini sistemi

## 2.1. DFIG'in Rüzgar Türbini Mekanik Modeli

Türbin ve jeneratörün ataletine kıyasla dişli kutusunun ataleti çok küçük ve ihmal edilebilir. bu nedenle ortaya çıkan model, iki kütleli bir modeldir (Şekil 2). Mekanik denklemler aşağıdaki gibidir (Jabbari, Yoon, 2016).



Şekil 2: DFIG rüzgar türbini mekanik modeli

$$(1) \quad J_r \dot{W}_r = T_a - K_r W_r - B_r \theta_r - T_{ls}$$

$$J_g \dot{W}_g = T_{hs} - K_g W_g - B_g \theta_g - T_{em}$$

$W_r$  rotorun açısal hızı,  $J_r$  ve  $J_g$ , sırasıyla türbin ve jeneratör ataleti,  $W_g$  jeneratör hızı,  $B_r$  ve  $B_g$  aksis sertlik faktörleri,  $K_r$  ve  $K_g$  Sönümlenme katsayıları,  $\theta_g$  ve  $\theta_r$  açılı sapma,  $T_a$ ,  $T_{ls}$ ,  $T_{hs}$  ve  $T_{em}$  sırasıyla aerodinamik tork, yüksek hızlı tork, düşük hızlı tork, elektromanyetik torktur. Mekanik verilerin modellenmesi için, bütün türbin ve jeneratör, sert bir nesne olarak düşünülebilir. Bu durumda, türbin ile jeneratörün hızını eşit olarak ele alan bir tek kütleli model elde edilmiş olacaktır. Böylece (1) şöyle basitleştirilmiştir:

$$(2) \quad J_t \dot{W}_r = T_a - K_t W_t - B_t \theta_r - T_t$$

$$J_t = J_r + n_g^2 J_g \quad \text{ve} \quad B_t = B_r + n_g^2 B_g$$

$$K_t = K_r + n_g^2 K_g \quad \text{ve} \quad T_t = n_g K_g$$

$$(3) \quad n_g = \frac{T_{ls}}{T_{hs}} = \frac{W_g}{W_r}$$

$B_t$ ,  $n_g$ ,  $K_t$  ve  $T_t$  sırasıyla dişli kutusu oranı, eşdeğer sertlik faktörü, eşdeğer zayıflama faktörü ve eşdeğer torktur.

## 2.2. Rüzgar Türbininin Aerodinamik Modeli

(4)'e göre türbinin mekanik güç çıkışı, rüzgâr hızına ve hava yoğunluğuna ek olarak, bıçakların süpürdüğü alanın yarıçapı, adım açısı ve türbinin dönme hızına bağlıdır (Fateh, White ve Gruenbacher, 2015).

$$(4) \quad P_m = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 C_p(\lambda, \beta)$$

$V_w$  rüzgar hızı,  $\beta$  adım açısı,  $A$  türbinin süpürme alanı,  $\rho$  hava yoğunluğu,  $\lambda$  kanadın hız oranıdır. Bu denklemden,  $C_p(\lambda, \beta)$  güç faktörü olarak adlandırılır ve mekanik enerjiye dönüştürülebilen rüzgar enerjisi yüzdesidir. Türbin güç faktörünün ( $C_{pmax}$ ) maksimum değeri teorik olarak 0,593 olarak hesaplanır. Ancak pratikte 0,4 ile 0,45 arasında elde edilir. Bu, Alman fizikçi Albert Betz tarafından 1919'da ortaya konulmuş Betz sınırı olarak bilinir. Güç faktörü, adım açısı ve kanadın hız oranının bir fonksiyonudur. Aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [16]:

$$(5) \quad C_p(\lambda, \beta) = \left( 0.22 \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{\lambda_i}}$$

$$(6) \quad \lambda = \frac{V_t}{V_w} = \frac{RW_t}{V_w}$$

$$(7) \quad \lambda = \left( \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.053}{\beta^3 + 1} \right)^{-1}$$

$R$  türbinin rotor yarıçapı,  $W_t$  türbin ekseninin dönme hızı ve  $V_t$  kanadın doğrusal hızıdır.

Bu makalede rüzgar türbini sisteminin farklı parçalarını simüle etmek için FAST ve Matlab/Simulink yazılımları kullanılmıştır. FAST rüzgar türbininin aerodinamik ve mekanik parçalarını, DFIG, dönüştürücü, kontrolörler ve şebeke gibi diğer bölümler ise Matlab/Simulink ile simülasyon yapılmıştır.

## 3. Kontrol Sistemi

### 3.1. Çift Beslemeli İndüksiyon Jeneratör Kontrolü

DFIG rüzgar türbinlerinin performansı tamamen rotor ve şebeke tarafı dönüştürücüler için kullanılan kontrol sistemlerine bağlıdır. En yaygın

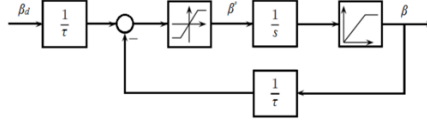
DFIG kontrol algoritması, oransal-integral kontrolörlü vektörel kontrolüdür. Avantajları çıkış gücünün az dalgalanması ve düşük anahtarlama frekansısıdır. Dezavantajları ise, parametrelerin senkronize çerçeveye aktarılma gereği, indüktans ve makine direnci ve PWM yöntemini kullanarak çevrimiçi hesaplanmalar gibi değişen makine parametrelerine ve oransal integral kontrolör kazancının ayarlanmasıdır ( Yang, Wang, Yao ve Wu, 2016).

1985 yılında, doğrudan tork kontrol yöntemi, vektörel kontrol yöntemine bir alternatif olarak sunuldu. Doğrudan tork kontrol yönteminin avantajları arasında hızlı dinamik yanıt, değişen makine parametrelerine dayanıklı, kolay hesaplama ve basit uygulama sayılabilir. Dezavantajları ise stabil koşullarda tork ve çıkış gücünde önemli dalgalanmalar ve değişken anahtarlama frekansı sayılabilir. Doğrudan tork kontrolü prensiplerine dayanarak, doğrudan güç kontrolü yöntemi önerilmiştir. Aktif ve reaktif güçler Look up tablosundan uygun voltaj vektörü seçilerek kontrol edilmektedir. Makinenin değişen parametrelerine duyarlı değildir. Ancak, aktif ve reaktif güç dalgalanmaları, gürültü, ses ve değişken anahtarlama frekansı gibi dezavantajları da vardır (Hu, Zhu, 2010). (Mohammadi, Afsharnia, 2014) 'de, vektör kontrol ile doğrudan güç kontrol yöntemlerinin birleştirilmesi ile CVDPC yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem her iki yöntemin değişen makine parametrelerine duyarlı olmama, daha az hesaplama, daha basit uygulama ve daha az harmonik gibi avantajları vardır. DFIG kontrolü için (Tremblay, Atayde ve Chandra 2011)'da vektör kontrolü, doğrudan tork kontrolü ve doğrudan güç kontrolü gibi tanıtılan üç kontrol yöntemi karşılaştırılmıştır. Genel olarak, değişken hızlı rüzgâr türbinleri doğrusal olmayan bir sistemdir ve sistemin doğrusal olmamasına karşı çıkmak için değişen parametrelere karşı hassas olmayan ve aynı zamanda hızlı dinamik yanıtı olan kayan mod kontrolü gibi doğrusal olmayan kontrol yöntemleri kullanılabilir. Ancak en büyük dezavantajı, kontrol çıkışında istenmeyen seslerin ortaya çıkmasıdır.

Bu makalede, ( Sun, 2004)' de detaylı bir şekilde açıklanan rüzgâr türbini kontrolü için vektör kontrol yöntemi kullanılmıştır. Rotor tarafı dönüştürücü için vektör kontrolünün amacı, rüzgârdan maksimum güç elde etmenin yanı sıra rotor akımı tarafından aktif ve reaktif gücünün bağımsız kontrolüdür. DC bağlantı voltajı, şebeke tarafındaki dönüştürücü tarafından sabit tutulur ve bu şekilde güç faktörü, birim değerinde kontrol edilir.

### 3.2. Aerodinamik Güç Kontrolü

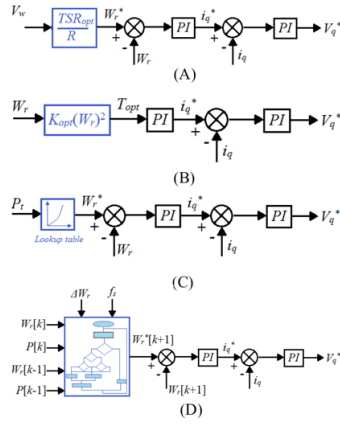
Yüksek rüzgâr hızlarında, güç kontrolü üç şekilde yapılabilir: pasif stall kontrol, adım kontrolü ve aktif stall kontrol. Adım kontrolü, büyük türbinlerin aerodinamik güç kontrolünde en yaygın yöntemidir. Adım kontrol sisteminde, kanatlar uzun eksenleri etrafında dönebilir. Bu açı değişiminin aralığı 0 ila 90 derece arasındadır, böylece nominal hızın üzerindeki rüzgâr hızlarında, adım açısı, jeneratör gücü, nominal değeri aşmayacak ve jeneratöre aşırı yük binmeyecek şekilde ayarlanır. Ayrıca, adım açısı ile mekanik sisteme zarar veren nominal hızından çok daha yüksek hızlarda türbinin dönmesini de önler. Şekil 3 adım açısı kontrol diyagram bloğunu göstermektedir,  $\beta_d$  ve  $\beta$  sırasıyla referans adım açıları ve gerçek adım açıları temsil eder [18].



Şekil 3: Blok Açısı Kontrol Şeması

### 3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

Belirli bir rüzgâr hızı için, rüzgardan alınan gücü maksimize eden rotor hızı için optimal bir değer vardır. Bu nedenle, sabit bir rüzgâr hızı düşünüldüğünde,  $C_p$  değeri yalnızca rüzgâr türbini rotorunun hızına bağlı olacaktır. Bu nedenle, türbinin çıkış gücü rotor hız kontrolü ile değişir. Maksimum güç takibi için farklı algoritmalar geliştirilmiştir, örnek olarak: kanat uç hızı oranı kontrolü, optimum tork kontrolü (OTC), güç sinyali geri besleme kontrolü (PSF) ve bozulma ve gözlem (P&O) yöntemi. Şekil 4'te belirtilen izleme yöntemlerinin blok şeması gösterilmiştir. Yukarıdaki yöntemler arasında, OTC yöntemi en hızlı ve en etkili yöntemdir. OTC yönteminden sonra PSF ve TSR yöntemleri verimlilik ve tepki süresi bakımından aynı özelliklere sahiptirler. Fakat TSR, PSF yönteminden biraz daha uygundur. En yavaş ve en az verimli yöntem ise P&O'dur ve toplam tepki süresi ve iyileşme süresi OTC yönteminin yaklaşık üç katıdır. Ek olarak, P&O yönteminin performansı rüzgâr türbininin ataletinden büyük ölçüde etkilenir. OTC yönteminin rüzgâr türbininin özelliklerine olan bağımlılığı pratik uygulama için problemlerinden biridir, ancak bu yöntem, belirtilen diğer yöntemlerden daha az tork ve dalgalanma üretir (Heydari, Smedley, 2015).

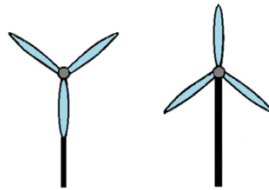


**Şekil 4:** MPPT yöntemlerinin blok şeması (a) uç hızı kontrolü (b) optimum tork kontrolü (c) güç sinyali geri besleme kontrolü (d) bozulma ve gözlem yöntemleri

#### 4. Güç Dalgalanması

Bu bölüm, sürekli çalışma sırasında DFIG'li değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin güç dalgalanmalarına odaklanmaktadır. Sürekli çalışma sırasında şebekeye bağlı rüzgar türbinlerinde, rüzgar karakteristikleri (türbülans yoğunluğu, ortalama rüzgar hızı, kule gölge etkisi ve rüzgar kesmesi), şebeke koşulları (şebeke kısa devre kapasite oranı, şebeke empedans açısı) ve rüzgar türbin türüne bağlıdır.

Şekil 5, üç kanatlı bir rüzgar türbininde rotorun farklı konumlarını gösterir. Sol türbin, kanatlardan biri kulenin önünden geçtiğinde rotorun konumunu gösterir. Görüldüğü gibi, o anda diğer iki kanattan hiçbiri rüzgâr hızının en yüksek olduğu noktada değildir. Kule gölge etkisi ve rüzgar hızının düşmesi güç üzerinde etkiler. Sağ türbin ise, kanatlardan biri en yüksek konumda ve en yüksek rüzgar hızına maruz kalır, bu durumda güç maksimum değerindedir. Genel olarak, üç kanatlı bir türbinde her bir dönüşte 3 kez rüzgar hızı düşüşü yaşanacaktır. Böylece, türbinin çıkış gücünde meydana gelen dalgalanmalar rotorun dönme hızı çarpı kanat sayısından elde edilir. Bu da  $3p$  frekansı olarak adlandırılır ve dalgalanmaların çoğu yüksek rüzgar hızlarında meydana gelir.



**Şekil 5:** Üç kanatlı rüzgar türbininde rotorun farklı konumları



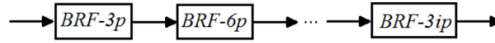
Bu makalede, rotor tarafı dönüştürücüsünde orta geçit bir filtre seti kullanılmıştır, böylece 3p, 6p ve 9p dalgalanmaları rüzgar türbini rotorunda kinetik enerji olarak depolanır ve jeneratör çıkış gücü düzelir. Şekil 6'ya göre BRF bloğu 3p, 6p ve 9p dalgalanmalarının ve daha yüksek aktif akım harmonilerinin geçişini önleyen birkaç BRF'den oluşur (Zhang, Chen, Cheng, ve Hu, 2014) BRF dönüştürme işlevi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$(8) \quad F(S) = \frac{K(S^2 + W_c^2)}{S^2 + \left(\frac{W_c}{Q}\right)S + W_c^2}$$

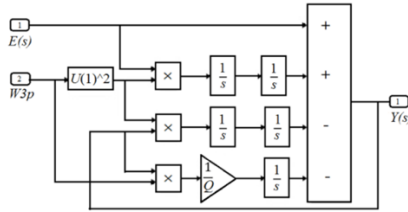
$$(9) \quad W_{ip} = \frac{iW_g}{N} \quad i = 3, 6, 9, \dots$$

$$(10) \quad Q = \frac{W_c}{BW}$$

$W_c$  merkez frekansı,  $W_g$  jeneratörün hızı,  $K$  kazanç,  $Q$  kalite faktörü,  $N$  dişli kutusu oranı ve  $BW$  filtre bant genişliğidir.  $K$  parametresi, diğer frekansları etkilemekten kaçınmak için 1'e eşit olarak varsayılmaktadır. (8) ve (9)'a dayanarak ve Şekil 7'de gösterildiği gibi BRF-3p blok şeması, 3p frekans geçişini etkili bir şekilde bloke eden ve diğer frekansların geçmesine izin verir.

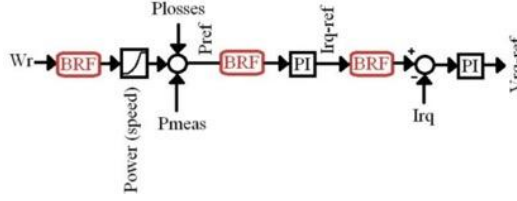


Şekil 6: BRF Şeması



Şekil 7: BRF-3p blok Şeması

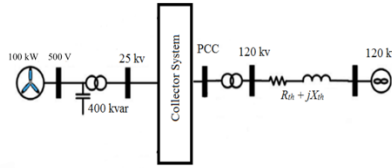
Rotor tarafı dönüştürücüsünde konumlandırmak için yerini seçmek önemlidir, bu çalışmada, filtrenin Şekil 8'de gösterildiği gibi rotor tarafı dönüştürücüsündeki üç farklı yere yerleştirilmesiyle güç dalgalanmaları araştırılmaktadır.



Şekil 8: Rotorun invertör tarafındaki filtrenin montaj yerleri

## 5. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada şebekeye bağlı 100 KW'lık bir rüzgar türbininin tüm aerodinamik, mekanik ve elektriksel boyutları FAST ve Matlab / Simulink yazılımı kullanılarak modellenmiştir ve bu model, kule gölgelemenin güç kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. Şekil 9, bu çalışmada kullanılan rüzgar santralini göstermektedir, bu santral 1 adet 100 KW , 500 V, değişken hızlı rüzgar türbinlerinden oluşmaktadır. Bu rüzgâr türbinini özel bir transformatör vasıtasıyla kolektör sistemine bağlanmıştır. Kolektör aynı zamanda ilgili dağıtım şebekesine bağlanmıştır. Türbin ve DFIG ile ilgili parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Bu makalenin amacı, rüzgâr türbinlerinin kule gölge ve rüzgar kesmesi nedeniyle flicker etkisi ve güç dalgalanmalarını azalmasını araştırmaktır. Daha önce de belirtildiği gibi, güç dalgalanmalarının yayılmasına ve flicker olayına çeşitli faktörler etki eder. Bu faktörlerin her biri burada incelenip ve ardından en iyi performans modunu seçerek, güç dalgalanmaları önerilen kompanzasyon yöntemiyle azaltılır.

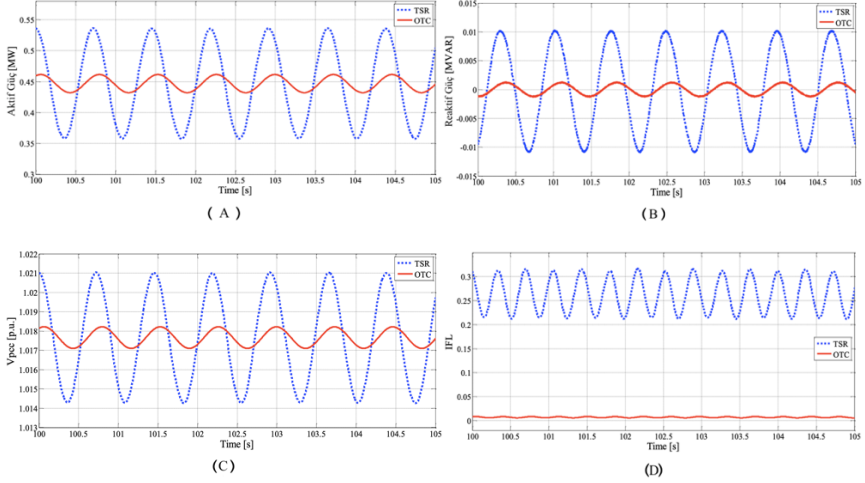


Şekil 9: Sistem yapısı

### 5.1. MPPT Güç Dalgalanması Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde, 3p dalgalanmaları, TSR ve OTC izleme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Şekil 10, hem TSR hem de OTC yöntemlerinde aktif güç, reaktif güç, ortak bağlantı noktası voltajı, ortalama 9 m/s rüzgar hızında anlık flicker seviyesini göstermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre, TSR yönteminin OTC yönteminden daha fazla voltaj ve güç dalgalanması ürettiği ve daha yavaş bir dinamik tepkiye sahip olduğu görülmektedir.

TSR yönteminde pratik olmayan rüzgâr hızını da ölçmesi gerekir. Sonuç olarak, OTC izleme yöntemi TSR'den daha iyi performans gösterir. Çalışmanın devamında OTC maksimum güç noktası takip yöntemiyle birlikte rüzgar türbini kullanılır.



**Şekil 10:** TSR ve OTC yöntemlerinin simülasyon sonuçları  
(A) Aktif güç, (B) Reaktif güç, (C) Ortak bağlantı noktası voltajı ( $V_{pcc}$ ),  
(D) Flicker etkisi

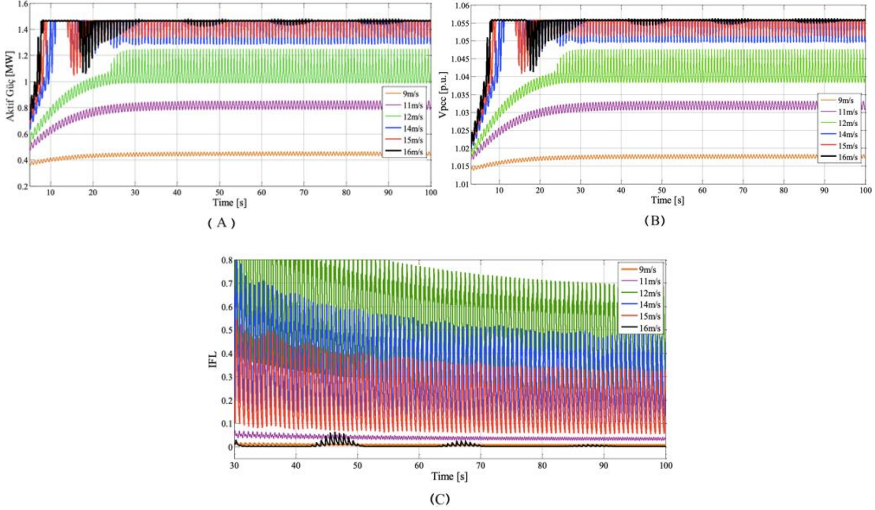
Tablo 1: DFIG Rüzgar Türbini Parametreleri

Rüzgâr Türbin Model	Vira 100 KW
Rotor Çapı	18 mt
Hub Yüksekliği	20 mt
Güç Yoğunluğu	2,55 m <sup>2</sup> /kW
Kanat Sayısı	3
Statör dispersiyon endüktansı	0,177 p.u.
Rotor dispersiyon endüktansı	0,116 p.u.
Karşı endüktans	4,68 p.u.
Güç Kontrolü	Pitch
Jeneratör voltaj	500 V
Kalite Faktörü	100

## 5.2. Ortalama Rüzgar Hızı Güç Dalgalanmalarının Üzerinde Etkisi

Şekil 11, 20 kısa devre kapasitesi oranı ve 45° şebeke empedans açısında farklı rüzgar hızları için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Düşük rüzgar hızlarında (9 m/s) güç dalgalanması ve flicker etkisi düşük olduğu görülebilir. Rüzgar hızı arttıkça, güç nominal değere varana kadar güç ve

voltaj dalgalanmaları artar. Daha yüksek rüzgar hızlarında, kademeli açılı kontrol sistemi gücü nominal değerinde sınırlamak için aktifleşir ve bu sistem çıkış gücü dalgalanmalarını sınırlar. Bu nedenle, yüksek rüzgar hızlarında, voltaj ve güç dalgalanmaları azalır.



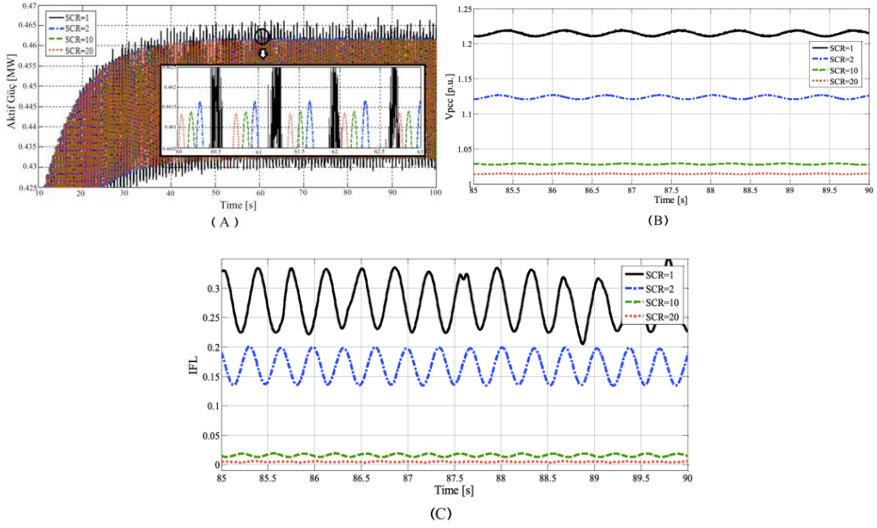
**Şekil 11:** Farklı rüzgar hızlarında simülasyon sonuçları  
(A) Aktif güç, (B) Ortak bağlantı noktası voltajı ( $V_{pcc}$ ), (C) Flicker etkisi

### 5.3. Kısa Devre Kapasite Oranı Güç Dalgalanmaları Üzerinde Etkisi

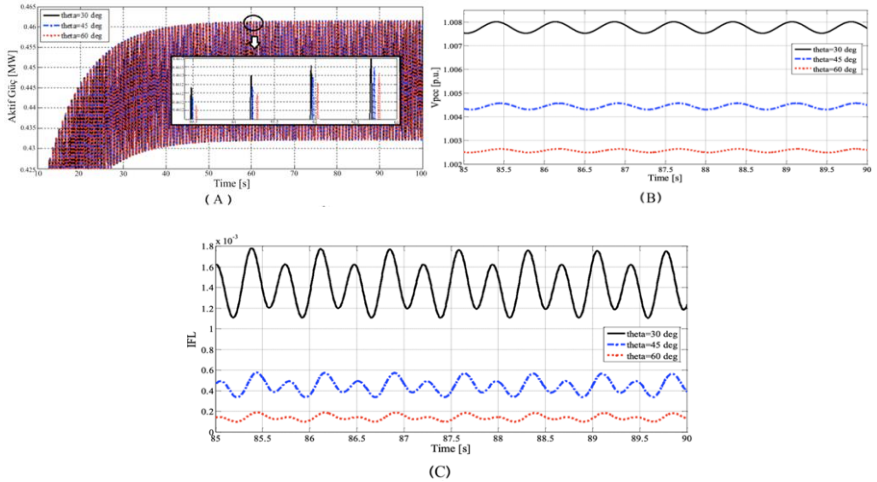
Şekil 12, ortalama 9 m/s rüzgar hızında ve  $45^\circ$  şebeke empedans açısında farklı kısa devre kapasite oranları için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Şekile göre, şebekenin kısa devre kapasitesi ne kadar yüksek olursa güç dalgalanmaları o kadar düşük olacaktır. Bu nedenle, zayıf şebekelerde, flicker etkisi daha büyüktür.

### 5.4. Şebeke Empedans Açısı Güç Dalgalanma Üzerinde Etkisi

Şekil 13, ortalama 9 m/s rüzgar hızında ve 20 kısa devre kapasite oranında farklı şebeke empedans açıları için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Güç faktörü ile şebekenin empedansı arasındaki açı farkı 90 dereceye yaklaştıkça, voltaj değişimleri ve flicker etkisi azalır. Aslında, şebeke empedans açısı ile güç dalgalanması arasında ters bir ilişki vardır. Şekil 10 ila 13'te sunulan simülasyon sonuçları, maksimum güç noktası takip yönteminin ve şebeke koşullarının güç dalgalanmaları ve flicker olaylarının oluşturulmasında etkili olduğunu göstermektedir. Ek olarak, maksimum güç noktası izleme yönteminin doğru seçilmesi, şebeke empedans açısı ve kısa devre kapasitesi oranı, sistem güç kalitesini artırabilir.



**Şekil 12:** Farklı kısa devre kapasite oranları için simülasyon sonuçları  
(A) Aktif güç, (B) Ortak bağlantı noktası voltajı (Vpcc), (C) Flicker etkisi



**Şekil 13:** Farklı şebeke empedans açılarında simülasyon sonuçları  
(A) Aktif güç, (B) Ortak bağlantı noktası voltajı (Vpcc), (C) Flicker etkisi

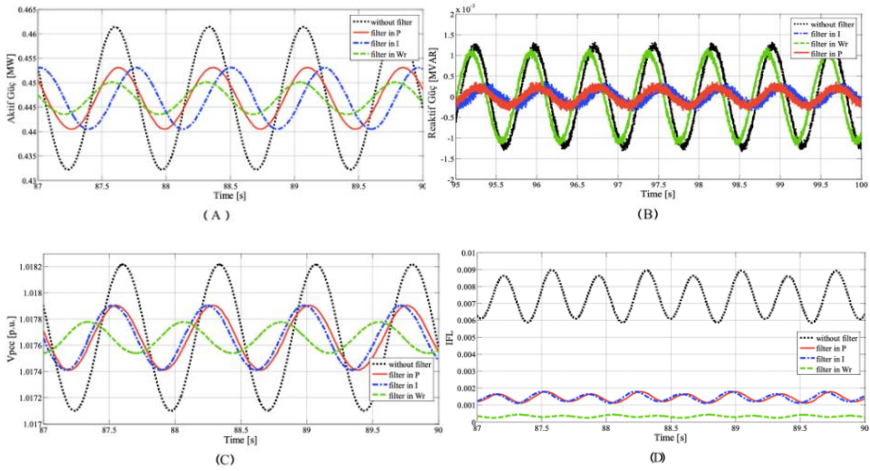
## 5.5. Kule Gölge Etkisi ve Rüzgar Kesilmesinden Kaynaklanan Dalgalanmaların Kompanzasyonu

Bu bölümde, Şekil 8'e mutabık olarak üç farklı yere filtre eklenerek elektrik dalgalanmaları incelenmiştir. Şekil 14, ortalama 9 m/s rüzgar hızında, 20 kısa devre kapasite oranında ve 45 derecelik şebeke empedans açısında üç farklı noktada filtreleme ile kompanzasyon işleminden hemen önce ve sonrası simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Sunulan simülasyon sonuçlarına göre, orta geçiş filtresinin, gölge etkilerinden

kaynaklanan 3p dalgalanmalarını azalttığı açıkça görülmektedir. Filtre hızın önündeki olduğu durumlarda güç dalgalanmalarının yoğunluğunu düşürmekte filtrenin güç ve akımın önündeki olduğu durumlara göre daha etkilidir. Böylece, filtre, hızın önünde konumlanınca daha iyi performans elde edilecektir.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, çift beslemeli indüksiyon jeneratörlü değişken hızlı bir rüzgar türbinde rüzgar karakteristiklerini (ortalama rüzgar hızı, türbülans yoğunluğu, kule gölge etkisi ve rüzgar kesme), şebeke koşullarını (kısa devre kapasite oranı ve şebeke empedans açısı) gibi voltaj ve güç dalgalanmalarının yayılma faktörleri ve sürekli çalışma modunda maksimum güç noktası takip yöntemleri değerlendirildi. Şebekeye bağlı bir rüzgar santralinin aerodinamik, elektriksel ve mekanik boyutları FAST ve Matlab / Simulink yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, OTC maksimum nokta izleme yöntemi, TSR yöntemine nazaran çıkış gücünde daha az dalgalanma ürettiği görülmüştür. Daha sonra Rüzgar türbininin performansı farklı rüzgar hızları altında incelendi ve simülasyon sonuçları, rüzgar hızı arttıkça, gücün nominal değerine varana kadar dalgalanma yoğunluğunun arttığını gösterdi. Nominal değer üzerindeki rüzgar hızlarında, güç dalgalanmaları etkili bir şekilde azaltılmıştır. Ayrıca, türbinin farklı şebeke koşulları altında simülasyon yapılmasıyla, şebeke empedans açısı ve kısa devre kapasitesi oranı arttıkça, türbin çıkış gücünde daha az dalgalanma meydana geldiği görülmüştür.



**Şekil 14:** Filtreli ve firtsiz kısa süreli simülasyon ölçüm sonuçlarını (A) Aktif güç, (B) Reaktif güç, (C) Ortak bağlantı noktası voltajı (Vpcc), (D) Flicker etkisi

Son olarak, şebeke koşullarına göre ve maksimum güç noktası takibi izleme yöntemlerini kullanarak, kule gölge etkisi ve rüzgar kesmesinden

kaynaklanan türbin gücü dalgalanmaları, rotor tarafındaki dönüştürücüye bir geçiş filtresi eklenerek azaltılmıştır. Geçiş filtresinin rotor tarafındaki dönüştürücüdeki konumunun çok önemli olduğu belirtilmelidir. Bu makalede, üç farklı konuma filtreyi takarak güç dalgalanmalarının azaltılmasının etkisi karşılaştırılmış ve rotor hızının önüne filtre montajının güç dalgalanmalarını azaltmada daha iyi bir performansla sahip olduğu tespit edilmiştir.

## **Kaynaklar**

Y. Zhang, Z. Chen, W. Hu, M. Cheng, and Y. Hu, “Flicker mitigation strategy for a doubly fed induction generator by torque control,” IET Renew Power Gen., vol. 8, no. 2, pp. 91-99, 2014 .

Y. S. Kim and D. J. Won, “Mitigation of the flicker level of a DFIG using power factor angle control,” IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 4, pp. 2457-2458, 2009.

Y. Zhang, Z. Chen, W. Hu, and M. Cheng, “Flicker mitigation by individual pitch control of variable speed wind turbines with DFIG,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 29, no. 1, pp. 20-28, 2014.

T. Sun, Z. Chen, and F. Blaabjerg, “Flicker mitigation of grid connected wind turbines using STATCOM,” International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, Edinburgh, UK, pp. 175-180, 2004.

W. Hu, Z. Chen, Y. Wang, and Z. Wang “Flicker mitigation by active power control of variable-speed wind turbines with full-scale back-to-back power converters,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no. 3, pp. 640-649, .2009

D. Chwa and K.-B. Lee, “Variable structure control of the active and reactive powers for a DFIG in wind turbines,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 6, pp. 2545-2555, .2010

J. B. Ekanayake, L. Holdsworth, X. Wu, and N. Jenkins, “Dynamic modeling of doubly fed induction generator wind turbines,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, no. 2, pp. 803-809, 2003.

H. Jabbari and J. Yoon, “Power capture optimization of variable-speed wind turbines using an output feedback controller,” Renewable Energy, vol. 86, pp. 517-525, .2016

F. Fateh, W. N. White, and D. Gruenbacher, "A maximum power tracking technique for grid-connected DFIG-based wind turbines," *IEEE Trans. Emerg. Sel. Topics Power Electron.*, vol. 3, no. 4, pp. 957-966, 2015.

B. Yang, L. Jiang, L. Wang, W. Yao, and Q. H. Wu, "Nonlinear maximum power point tracking control and modal analysis of DFIG-based wind turbine," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 74, pp. 429-436, 2016.

J. Hu, H. Nian, B. Hu, Y. He, and Z. Q. Zhu, "Direct active and reactive power regulation of DFIG using sliding-mode control approach," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 4, pp. 1028-1039, 2010.

J. Mohammadi, S. Vaez-Zadeh, S. Afsharnia, and E. Daryabeigi, "A combined vector and direct power control for DFIG-based wind turbines," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 767-775, 2014.

E. Tremblay, S. Atayde, and A. Chandra, "Comparative study of control strategies for the doubly fed induction generator in wind energy conversion systems: A DSP- based implementation approach," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 288-299, 2011.

T. Sun, *Power Quality of Grid-connected Wind Turbines with DFIG and Their Interaction with the Grid*, Ph.D. dissertation, Alborg University, Denmark, 2004.

M. Heydari and K. Smedley, "Comparison of maximum power point tracking methods for medium to high power wind energy systems," *Electrical Power Distribution Networks Conference*, Zahedan, Iran, pp.184-189, 2015.



**FOOD ENGINEERING / GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

# THE EFFECT of DIFFERENT BUTTER PRODUCTION TECHNOLOGIES on CHEMICAL COMPOSITION and AMINO ACID PROFILE of BUTTERMILK

*H. Riza AVCI\* Tulay OZCAN\*\* Meral KAYGISIZ\**

*Ferhat POLAT\* Aysegul ARIKAN ASAN\**

*\* Bursa Central Research Institute For Food and Feed Control, Osmangazi, Bursa-Turkey*

*\*\* Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,*

*Gorukle Campus, Nilufer, Bursa-Turkey*

**Abstract:** Buttermilk, consisting of such ingredients as lactose, casein, serum proteins, mineral substances, is liquid phase released by churning the cream during the butter production process. The buttermilk compound enables the development of new and innovative nutraceutical foods to prevent cardiovascular disease with its cholesterol lowering effect, reducing blood pressure and anti-oxidative stress. Today, butter production is carried out in two different ways: "Batch Method" and "Continuous Method". In this study, the physicochemical composition and amino acid content of the buttermilks, released by the batch and continuous butter production systems were compared. In conclusion, butter production methods have been effective on physicochemical composition and amino acid values of buttermilks ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). Batch process buttermilks have high amount of total solids, protein, fat and acidity values. Continuous system buttermilks contain high level of amino acids and aspartic acid, glutamic acid, serine, proline, leucine have been found to be the most common amino acids among them.

**Keywords:** Butter, Buttermilk, Amino acid, Composition

## INTRODUCTION

Buttermilk is the aqueous phase released during cream churning while butter manufacturing. It is a dairy ingredient widely used in the food industry because of its emulsifying capacity and its positive impact on the sensory and technological properties of dairy, bakery products and functional mixes for various foods (Vanderghem et al. 2010; Conway et al. 2014). Particularly high scientific interest is focused on buttermilk and buttermilk based functional products due to its unique composition as components of high biological value are released from destroyed milk fat globules during churning of butter (Contarini and Povolo, 2013).

Buttermilk contains all the water-soluble components of cream such as milk protein, bioactive peptides, lactose, and minerals. It also encloses

milk fat globule membrane (MFGM) which is disrupted during the churning and mostly migrates to the buttermilk fraction (Spitsberg, 2005; El - Loly, 2011). It has been attributed nutraceutical, therapeutic and probiotic effects, such as digestion enhancement, immune system boosting, anti-carcinogenic activity and reduction in serum cholesterol (Dewettinck et al. 2008; Cohn et al. 2010). Composition of sweet and cultured buttermilk was similar to skim milk and is given below (Gille, 2011) (Table 1).

**Table 1.** The composition of buttermilk and skim milk

<b>Component</b>	<b>/100 gr</b>	
	<b>/100 gr buttermilk</b>	<b>skim milk</b>
Water	90.4 g	90.7 g
Protein	3.43 g	3.43 g
Fat	0.51 g	0.07 g
Cholesterol	4.0 mg	3.0 mg
Carbohydrate	4.01 g	4.80 g
Minerals	0.75 g	0.75 g
Vitamin B <sub>12</sub>	200 ng	300 ng
$\alpha$ -tochopherol	20 $\mu$ g	little
Folic acid	5 $\mu$ g	5 $\mu$ g

Cultured commercial buttermilk is made by the fermentation of pasteurised skim milk by the action of a mixed strain starter culture consisting of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* and *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* (Libudzisz and Stepaniak, 2003).

In the milk industry, buttermilk is used in the formulation of ice cream, yogurt, recombined milk and especially low fat cheeses (Sodini et al. 2006; Vanderghem et al. 2010).

The history of efforts to convert milk fat into a more durable product and make it available for human consumption is quite old. References to butter dates back until the ancient Urartian's that lived in Eastern Anatolia in 8000 B.C. Until the mid-19<sup>th</sup> century industrial production of butter was unknown. The cream was discharged into a wooden churns and exposed

shearing and temperate aeration with the help of stirrer or rotational motion of churn. The first original churns were made of wooden material. However, as a result of rapid advances in science and technology, today such new materials as aluminum or stainless steel have been used in the production of butter (Augustin and Wersteeg, 2006).

Today, butter production is carried out in two different ways in terms of churning: "Batch Method" and "Continuous Method". The cream is processed in successive stages in the batch method, thus the butter granules (oil phase) and buttermilk (liquid phase) are separated from the cream by the effect of impact and rotation in conical or cask-shaped rotary churns. In batch method, the cylindrical, conical, four-faced or cubic-shaped churns are used where rotational speeds can be adjusted. Their design, shape, size and location play an important role on the characteristics of butter in conjunction with the rotational speed of churn. Butter aggregates are collected in foam during churning. In the following stage, butter granules and buttermilk are completely separated from each other (Corredig et al. 2003; Vanderghem et al. 2010; Ucuncu, 2018).

In continuous method, the conversion of milk to butter is carried out with a fully automatic production line. This method is divided into four groups: Fritz, Alpha, Cherry-Burrel and Creamery-Package. The important superiorities of this system are better hygiene, quality control and process productivity. In the last decades Fritz Method has become the leading continuous butter production technology in many countries. The process starts with churning of cream. By intensive agitation at 5-7 °C, the fat globules in cream are converted into fat granules. The granules are then separated from the other constituents of the cream, leaving buttermilk. This results in a two-fold concentration of fat in the cream comparing with the batch method (Mortensen, 2011; Ucuncu, 2018).

In most of the studies found in the literature, the characteristics of buttermilks are not clearly defined. The aim of this study was to compare the physicochemical composition and amino acid content of the buttermilks, released by batch and continuous butter production systems.

## **Materials and Methods**

Fresh buttermilk samples were obtained from four dairy plants. Two of them were batch system and other two were continuous system butter producers in Bursa region. Duplicate samples were collected from each plant 3 times over a month. The total solids (Gravimetric method), protein (Micro-Kjeldahl method), ash (Gravimetric method), fat (Gerber method), lactose (Fehling's solution method) were determined by the standard methods (AOAC, 2016). Titratable acidity was measured by titrimetric method and expressed as percent of lactic acid (AOAC, 2016). Amino acid composition analysis were carried out with HPLC as described by

Henderson et al. (2000) (Agilent 1260; device conditions; HPLC fluorescent and UV detection, FLD Ex. 340Nm Em. 450Nm, DAD 338nm and 262 nm, derivatization with OPA and FUMOC). All the measurements were made in triplicate and the results were expressed as mean.

## **Results and Discussion**

### **Physicochemical Properties**

The physicochemical composition of buttermilks is shown in Figure 1. In general, total solids, fat and protein values were higher in buttermilk obtained from batch processed butter production ( $p < 0.01$ ). According to Morin et al. (2007) that processing steps such as pasteurization of cream and/or churning are likely to induce modifications of the buttermilk constituents.

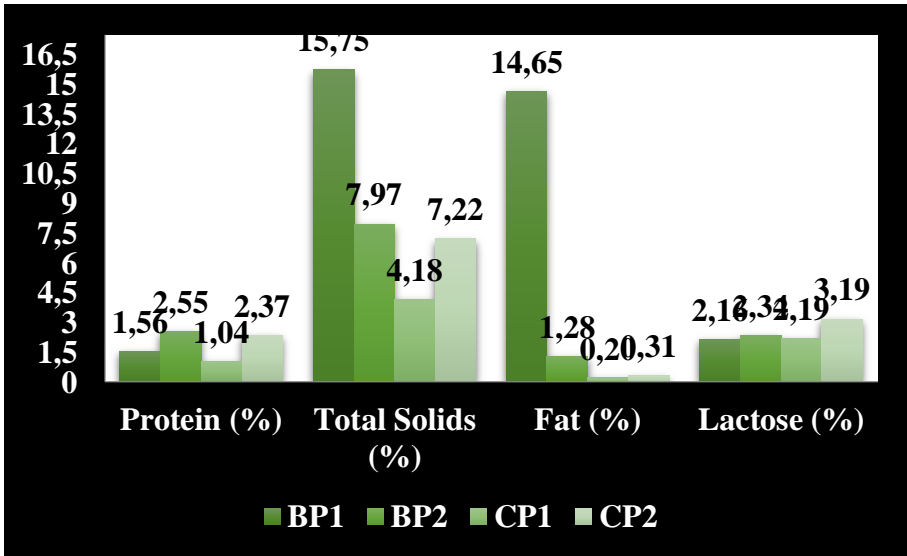
Buttermilk protein composition is globally similar to skim milk with a majority of caseins (75% of total proteins), whey proteins (8 to 15% of total proteins) and MFGM proteins (Sodini et al. 2006). The protein content of buttermilk samples varies from about 1.04% to 2.55% and highest in batch system buttermilks.

The protein content of buttermilk effects flavor and texture properties of the product. Romeih et al. (2014) reported that microstructure of fat-free yogurt produced with buttermilk protein (BMP) exhibited a compact and dense structure accompanied by irregularly clustered protein folds. Lopez (2005) stated that milk caseins are able to associate with the fat globule membrane, forming a protein layer which in turn enables the newly formed phase to behave as pseudo-protein particles during coagulation. By the way, it has been reported that MFGM fragments could cause physical and chemical interactions with casein by folding casein micelles inside reconstituted aggregates (Morin et al. 2008; Ong et al. 2010).

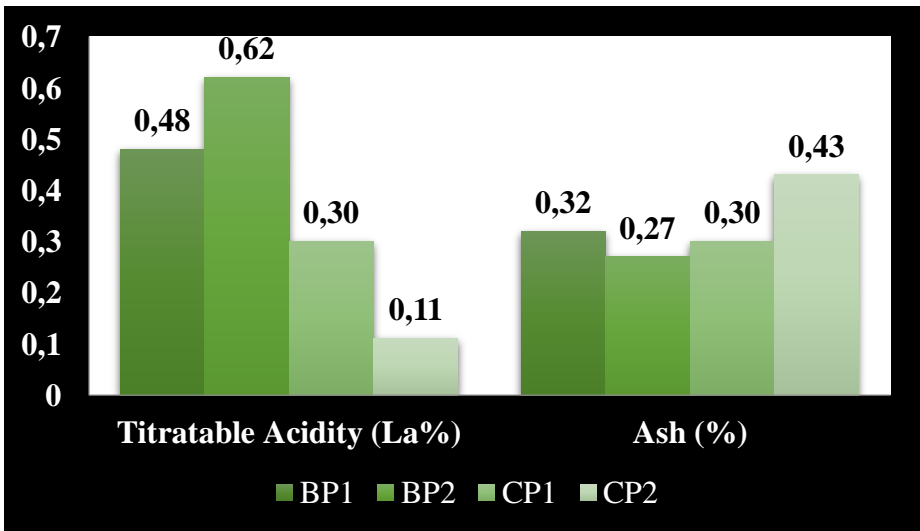
The fat content of buttermilk usually ranges from 0.3% to 0.7%. In our study, the highest fat content was determined in the BP1 sample produced by batch method ( $p < 0.01$ , Figure 1).

The range of lactose content (2.16-3.19%) and ash content (0.27-0.43%) of buttermilk samples were highest in continuous system buttermilks samples ( $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , Figure 1, 2). The variation in lactose content may be attributed to a variation in the degree of fermentation of the lactose, with the possibly activity of starter culture.

Titrate acidity (La%) were found to be high in buttermilk produced by batch method as expected ( $p < 0.01$ , Figure 2). When the color values were examined, the milk produced by the batch method was also detected in brighter (BP1; 91.75  $L^*$ , BP2; 92.07  $L^*$ , CP1; 78.93  $L^*$ , CP2; 90.82  $L^*$  and yellowish (BP1; 14.71  $b^*$ , BP2; 16.78  $b^*$ , CP1; 8.14  $b^*$ , CP2; 11.23  $b^*$ ) colors ( $p < 0.01$ ).



**Figure 1.** Physicochemical properties of “Batch” and “Continuous” system buttermilk samples



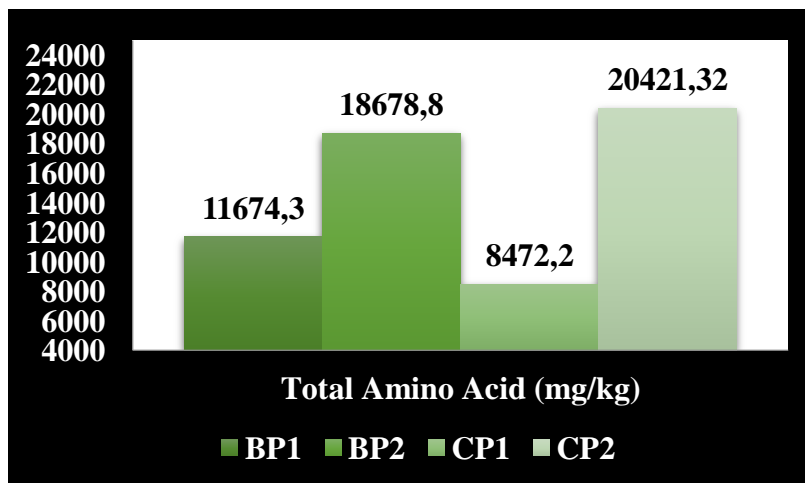
**Figure 2.** Titratable acidity values and ash content of “Batch” and “Continuous” system buttermilk samples

## Amino Acid Profile

Proteins are indispensable for life. Buttermilk is an excellent source of essential amino acids of high biological quality and generally contains a high protein content (Spitsberg, 2005). Buttermilk samples contain different amounts of amino acids (Figure 3, 4). CP2 and BP2 were richer in some amino acids such leucine, histidine, threonine, aspartic acid, glutamic acid, serine, glycine, alanine, proline. In CP2 sample, the total content of amino acids and essential and non-essential amino acids were higher compared to the other buttermilk samples ( $p < 0.01$ , Figure 3, 4).

Valine, methionine, phenylalanine, isoleucine, arginine, tyrosine amino acids were found higher in CP2 buttermilks than other samples ( $p < 0.01$ , Figure 3). During fermentation of milk cream, the amino acid profile will be change as a result of proteolytic activity of lactic acid bacteria. It may also be considered that the differences may have arisen due to the production technology and the ripening of butter cream with butter culture.

Amino acids have unique roles in nutrition and human metabolism (Etzel, 2004). From the experimental results, it can be seen that glutamic acids, leucine and serine were the most abundant amino acids in both of buttermilk samples ( $p < 0.01$ , Figure 3). In general, CP2 and BP2 buttermilk samples may be considered to have good protein quality due to their rich composition of essential amino acids.



**Figure 4.** Total amino acid content of “Batch” and “Continuous” system buttermilk sample

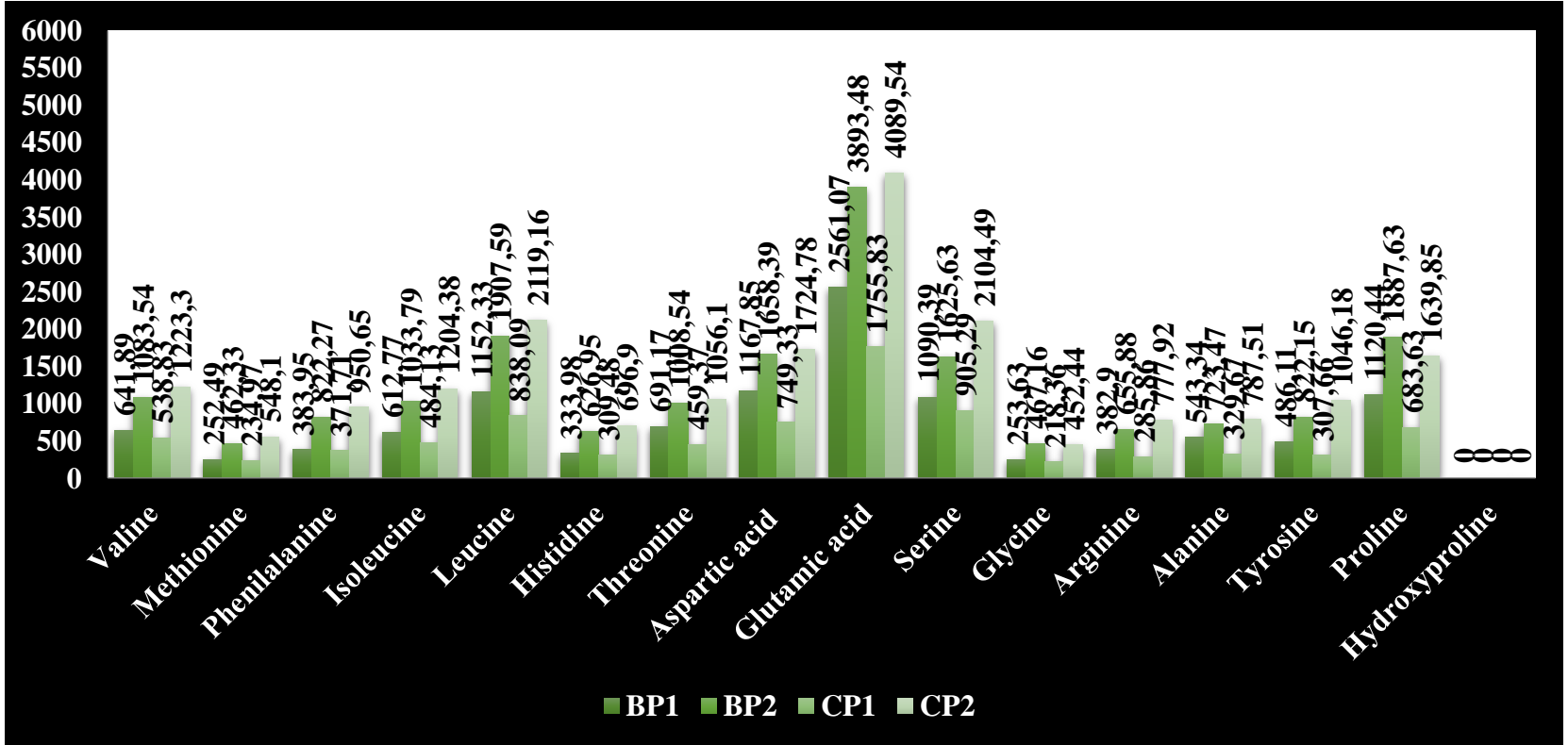


Figure 3. Amino acid composition (mg/kg) of “Batch” and “Continuous” system buttermilk samples



## Conclusion

Buttermilk, a by-product of butter making released during churning of cream, is very rich in milk fat globule membrane (MFGM), and it is used as a natural functional ingredient in many food products. Buttermilk products are also important as alternative sources of essential amino acids and bioactive proteins as a way of improving protein for the therapeutic food industry. However, for the development of innovative products the impact of buttermilk components on the pathway of culture metabolism and process conditions needs further investigation.

## References

- AOAC (2016). International. Official methods of analysis, 20<sup>th</sup> ed. AOAC International, Rockville, MD.
- Augustin, M. A. & Versteeg, C. (2006). Milk Fat: Physical, Chemical and Enzymatic Modification. *Advanced Dairy Chemistry Vol. 2, Lipids*, pp. 293–332.
- Cohn, J.S., Kamili, A., Wat, E., Chung, R.W.S. & Tandy, S. (2010). Dietary phospholipids and intestinal cholesterol absorption. *Nutrients*, 2, 116–127.
- Contarini, G. & Povolo, M. (2013). Phospholipids in milk fat: Composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 2808–2831.
- Conway, V., Gauthier, S.F. & Pouliot, Y. (2014). Buttermilk: much more than a source of milk phospholipids. *Animal Frontiers*, 4, 44–51.
- Corredig, M., Roesch, R.R. & Dalgleish, D.G. (2003). Production of a novel ingredient from buttermilk. *Journal of Dairy Science*, 86, 2744–2750.
- Dewettinck, K., Rombaut, R., Thienpont, N., Le, T.T., Messens, K. & Van Camp J. (2008). Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. *International Dairy Journal*, 18, 436–457.
- El-Loly, M. (2011). Composition, properties and nutritional aspects of milk fat globule membrane- A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61, 7–32.
- Etzel, M.R. (2004). Manufacture and use of dairy protein fractions. *Journal of Nutrition*, 134, 996–1002.
- Gille, D. (2011). The health aspects of buttermilk components. A review. *ALP Science*, 540, 1–22.

Henderson, Jr., Ricker J.W., Bidlingmeyer, R.D., Woodward, B.A. & Rapid, C. (2000). Accurate, Sensitive and Reproducible HPLC Analysis of Amino Acids; Application note, Agilent Technologies, Inc. Publication number 5980–1193E.

Libudzisz, Z. & Stepaniak, L. (2003). Buttermilk. In: Encyclopedia of Dairy Sciences. Ed.: Roginski, H., Oxford, UK: Academic Press. Vol 2, pp. 1028–1034.

Lopez, C. (2005). Focus on the supramolecular structure of milk fat in dairy products. *Reproduction Nutrition Development*, 45, 497–511.

Morin, P., Jimenez-Flores, R., & Pouliot, Y. (2007). Effect of processing on the composition and microstructure of buttermilk and its milk fat globule membranes. *International Dairy Journal*, 17, 1179–1187.

Morin, P., Pouliot, Y. & Britten, M. (2008). Effect of buttermilk made from creams with different heat treatment histories on properties of rennet gels and model cheeses. *Journal of Dairy Science*, 91, 871–882.

Mortensen, B. K. (2011). Butter and other milk fat products: Encyclopedia of dairy sciences. 2<sup>nd</sup> ed., Vol. 1., Ed.: Fuquay, J.W., Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Oxford: Academic, pp. 492–499.

Ong, L., Dagastine, R.R., Kentish, S.E. & Gras, S.L. (2010). The effect of milk processing on the microstructure of the milk fat globule and rennet-induced gel observed using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Food Science*, 75, 135–145.

Romeih, E. A., Abdel-Hamid, M. & Awad, A. A. (2014). The addition of buttermilk powder and transglutaminase improves textural and organoleptic properties of fat-free buffalo yogurt. *Dairy Science & Technology*, 94, 297–309.

Sodini, I., Morin, P., Olabi, A. & Jimenez-Flores, R. (2006). Compositional and functional properties of buttermilk: A comparison between sweet, sour, and whey buttermilk. *Journal of Dairy Science*, 89, 525–536.

Spitsberg, V.L. (2005). Bovine milk fat globule membrane as a potential nutraceutical. *Journal of Dairy Science*, 88, 2289–2294.

Ucuncu, M. (2018). Butter Technology. In *Milk and Dairy Product Technology*. Ege University, Izmir. 590 p.

Vanderghem C., Bodson P., Danthine S., Paquot M., Deroanne C. & Blecker, C. (2010). Milk fat globule membrane and buttermilks: from composition to valorization. *Biotechnology Agronomy Society Environment*, 14, 485–500.

# INVESTIGATION OF ANTIBACTERIAL EFFECTS OF ZEIN COATINGS COMBINED WITH LAUREL (*LAURUS NOBILIS* L.) ESSENTIAL OIL ON CRAYFISH (*ASTACUS LEPTODACTYLUS* ESCHSCHOLTZ, 1823) STORED AT COLD STORAGE

Eylem Ezgi FADİLOĞLU\* & Mehmet Zülfi ÇOBAN\*\*

\*Yaşar University, School of Applied Sciences, [ezgi.fadiloglu@yasar.edu.tr](mailto:ezgi.fadiloglu@yasar.edu.tr)

\*\*Firat University, Keban Vocational Schools, [mzcoban@firat.edu.tr](mailto:mzcoban@firat.edu.tr)

**Abstract:** In this research, we investigated the effects of zein based edible coatings combined with laurel oil (*Laurus nobilis* L.) on the microbial quality of crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) under nine days of cold storage (+4°C). Crayfish samples were prepared in 4 treatments as follows: 1) uncoated crayfish (C); 2) crayfish were coated with zein (Z); 3) crayfish were coated with zein and 0.3% laurel oil (ZLO3); 4) crayfish were coated with zein and 0.6% laurel oil (ZLO6).

Microbial properties of crayfish samples were intermittently checked during nine days. At the end of storage period, the lowest values of total aerobic mesophilic bacteria, psychrophilic and mold-yeast counts were found in crayfish samples coated with zein and 0.6% laurel oil. Our results showed that the best performance in preventing the growth of microorganisms was in the zein coating combined with 0.6% laurel oil. Therefore, this coating can be suggested as safe to store crayfish more than 9 days of cold storage.

**Key words:** Crayfish, zein, laurel oil, cold storage, microbial quality

## Introduction

Fish and seafood are important for human health and economy. They contain protein, vitamins and long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA). Due to their nature like high water activity and pH values, they are highly perishable compared to poultry and meat. In order to prevent or slow down the spoilage of seafood, different applications have been used. In this sense, edible films and coatings combined with essential oils play an important role because they are safe to consume, biodegradable

and playing carrier role for antimicrobial and antioxidant agents (Dehghani et al., 2018; Khalily and Ogunkalu, 2019). On the other hand, extension of the shelf life of seafood with antimicrobial packaging has become an area of interest for both the food sector and consumers.

Edible films and coatings are produced from hydrocolloids (such as proteins, polysaccharides and alginate), lipids (such as fatty acids, acylglycerol, waxes) and composites (Bourtoom, 2018). Gas and lipid barrier properties of the proteins are generally better than polysaccharides and lipids (Khalily and Ogunkalu, 2019). Edible protein films and coatings are classified into two groups as plant origin proteins and animal origin proteins (Dursun and Erkan, 2009). Corn zein is one of the plant origin proteins. It is a prolamin protein and hydrophobic due to its high content of non-polar amino acids films. Zein films are brittle therefore, plasticizer is added for increasing flexibility and are good water vapor barriers (Bourtoom, 2008).

*Laurus nobilis* L. belongs the Lauraceae family and is native to the Mediterranean region (Fidan et al., 2019). *Laurus nobilis* is an aromatic evergreen tree and its leaves contain about 1.3% essential oils consist of 1,8-cineole, sabinene,  $\alpha$ -pinene and p-Cymene (Moghtader and Farahmand, 2013; Chahal et al., 2017). Laurel oil has antibacterial activity against different gram-negative and gram-positive bacteria such as *Campylobacter jejuni*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* (Rafiq et al., 2016). The mechanisms of action of laurel essential oil includes the degradation of cell wall and denaturation of membrane proteins (Nazzaro et al., 2013).

The objective of this research was to evaluate the zein based edible coatings combined with laurel oil (*Laurus nobilis* L.) on the microbiological quality of crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz) samples during nine days of cold storage.

## **Material and Method**

### **Essential Oil and Chemicals**

Laurel leaf oil was purchased from Dogan Spice Company (1001 Naturel), non-fat powder corn zein was purchased from Sigma-Aldrich (Seelze, Germany, Z 3625), glacial acetic acid and Tween 20 were purchased from Sigma Aldrich Chemical Co. (Munich, Germany). All measurements were replicated two times for each group.

## **Preparation of Zein Solution**

Zein solution was prepared according to Kashiri et al. 2017. 16.00 g of zein (Sigma-Aldrich (Seelze, Germany, Z 3625) powder was dissolved in 80.00% (v/v) ethanol–water solution and mixed on a magnetic hot plate for 30 min at 80°C until zein was completely dissolved. Glycerol at 15.00% (g glycerol/g dry zein powder) concentration was added to the solution and stirred again for 8 min at 30°C. Then laurel essential oil at 0.3 and 0.6% (g essential oil/ g dry zein powder) were added and it was stirred for another 8 min.

## **Preparation and Coating of Crayfish Samples**

Crayfish (*Astacus leptodactylus*) have been obtained from the Keban Dam Lake. 8 kg of crayfish were transferred to the laboratory in styrofoam boxes containing ice and were processed in the same day.

Crayfish were washed with cold clean water at 3°C to separate dirt and boiled for 10 minutes at 100°C. After boiling, the excess water was removed by spreading them on perforated trays and they were cooled for 10 minutes then they were separated from their shells.

After separation, crayfish samples were randomly assigned into 4 treatment groups. 1) uncoated crayfish (control) was performed in the first group (C); the second group coated with zein solution (Z) ; the third group was coated with a zein + 0.3% (w/v) laurel essential oil (ZLO3) and the fourth group was coated with zein + 0.6% (w/v) laurel essential oil (ZLO4).

Crayfish samples were immersed into these solutions for 2 min and dried in the drying cabinet for 1 hour at 10°C. After drying, they were placed in styrofoam boxes and wrapped with stretch film and stored at +4°C for 9 days.

Microbiological analysis (total mesophilic aerobic bacteria (TAMB), psychrophilic bacteria count (PBC) and yeast-mold count) were performed at day 0, 3, 6 and 9.

## **Microbiological Analysis**

Bacteriological counts were determined by transferring 25 g of crayfish sample into 225 ml of 0.1% pepton water and homogenizing in a stomacher. Other decimal dilutions (from 10<sup>-1</sup> to 10<sup>-9</sup>) were prepared from this dilution and plated in the appropriate media. Counting of total aerobic

mesophilic bacteria (TAMB) and total psychrophilic bacteria (PBC) were performed using Plate Count Agar (PCA, Oxoid) and plates were incubated at 30°C for 3 days and at 7°C for 7 days, respectively (Harrigan, 1998).

Yeast and mold were detected on yeast extract glucose chloromphenicol agar after incubation at 22°C for 5 days (Harrigan and McCance, 1976). All counts were expressed as log cfu/g.

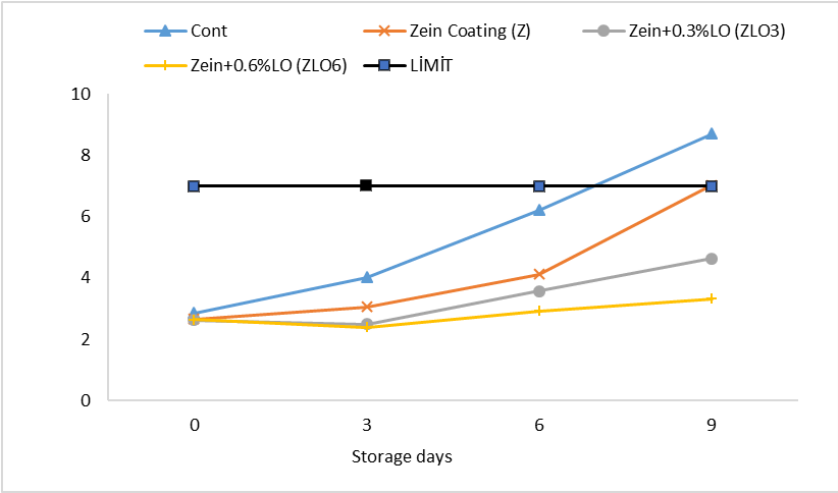
### **Statistical Analysis**

SPSS 22.0 (SPSS 22 for Windows, SPSS Inc. Chicago, IL, USA) program was used for statistical analysis. Data were expressed as mean± SD. One-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan test were performed to evaluate the difference between means values at the 5% significance level.

## **Results and Discussion**

### **Microbiological Changes**

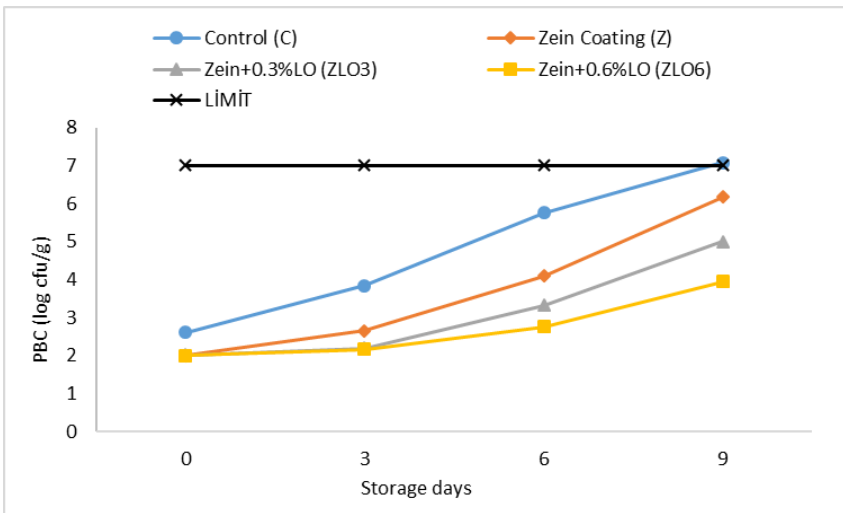
Figure 1 shows the TAMB of zein combined with laurel essential oil coated crayfish samples during 9 days of cold storage. The initial TAMB were 2.85, 2.66, 2.63 and 2.65 log cfu/g for control, Z, ZLO3 and ZLO6 groups, respectively. TAMB of all samples showed an increasing trend during refrigerated storage. While low count of bacteria were found in ZLO3 and ZLO6 groups, control group had the highest TAMB during storage period ( $p < 0.05$ ). At the end of the storage period, TAMB of C, Z, ZLO3 and ZLO6 were 8.7, 7.02, 4.63 and 3.32 log cfu/g, respectively. Control and zein alone coated group reached the acceptable limit value of 7 log cfu/g (ICMSF, 1986) at day 9 but, ZLO3 and ZLO6 groups remained below the limit value. Similarly, Esmaeli et al., 2017 reported that total bacterial count of rainbow trout fillets treated with zein + *Pimpinella affinis* essential oil were remained below the microbial spoilage. ZLO6 group showed the highest antibacterial property and inhibited the growth of bacteria. Zein coating treatment combined with laurel oil inhibited the growth of bacteria due to antibacterial effect of laurel oil. The lipophilic compounds such as eucalyptol, linalool, methyleugenol, sabinene and carvacrol found in laurel oil penetrated the cell membrane of microorganisms and smashed their structure (Turina et al., 2006).



**Figure 1.** Changes in TAMB of crayfish samples coated with zein and laurel oil during cold storage

### Psychrophilic Bacteria Count (PBC)

Changes in psychrophilic bacteria count of crayfish samples coated with zein and laurel essential oil are given in Figure 2. At initial stage of storage, there was no significant difference among PBC of zein coated crayfish samples ( $p>0.05$ ).



**Figure 2.** Changes in PBC of crayfish samples coated with zein and laurel essential oil

Significant differences were observed in PBC of control and zein coated groups during 9 days of cold storage ( $p < 0.05$ ). Control group had the highest PBC at all storage days ( $p < 0.05$ ). From day 0 to 3, no significant difference was found in PBC of ZLO3 and ZLO6 groups ( $p > 0.05$ ). On the last day of storage, control group reached the acceptable limit value of 7 log cfu/g (ICMSF, 1986). The lowest PBC was found in zein combined with 0.6% laurel oil coated samples throughout the storage ( $p < 0.05$ ).

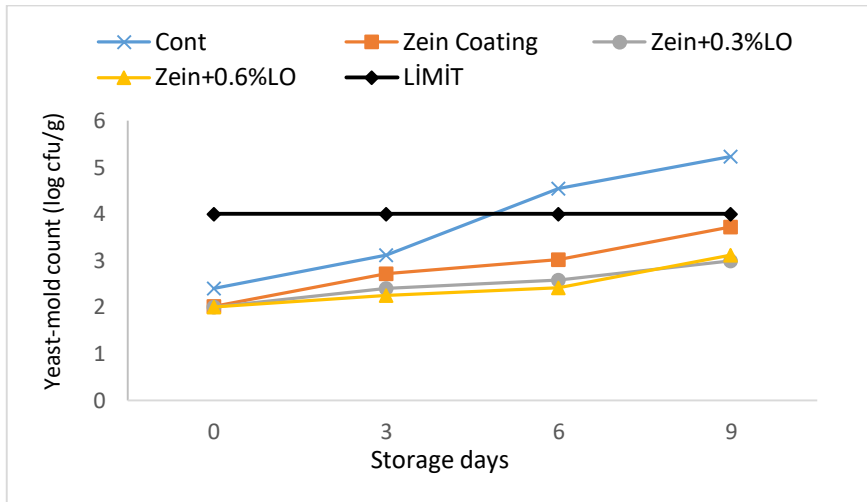
Good inhibition activity was shown in zein combined with laurel essential oil coated samples. Laurel essential oil showed antimicrobial characteristic due to its 1,8-cineole, linalool,  $\alpha$ -terpinyl acetate,  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, sabinene,  $\alpha$ -terpineol, terpineol-4 content (Fidan et al., 2019).

**Yeast-Mold Count**

Yeast and mold count increased from 2.40 to 5.24 log cfu/g for control, from 2.02 to 3.72 log cfu/g for Z group, from 2.00 to 3.00 log cfu/g for ZLO3 group and from 2.00 to 3.12 log cfu/g for ZLO6 group. At day 0, no significant difference was observed in yeast and mold counts of zein coated groups ( $p > 0.05$ ). From day 0 to 9, control group had significantly higher yeast-mold count than the zein coated groups ( $p < 0.05$ ). Control group reached the acceptable limit value of 4 log cfu/g (ICMSF, 1974) at day 6 but zein coated groups were below the upper limit value at the end of the storage period.

Zein alone and zein coating combined with laurel oil treatments were very effective in eliminating the growth of yeast-mould in crayfish samples during storage time. No significant difference was found between mold-yeast counts of ZLO3 and ZLO6 groups throughout the storage period ( $p > 0.05$ ). Lowest counts were observed in ZLO3 and ZLO6 groups ( $p < 0.05$ ). Laurel oil or bay leaf oil showed fungicidal activity (Lewis et al., 2003) due to its eucalyptol (or 1,8-cineole), linalool, methyleugenol, sabinene and carvacrol content (Ramos et al., 2012).





**Figure 3.** Changes in the yeast and mould of crayfish samples coated with zein and laurel essential oil

## Conclusion

Zein coatings combined with laurel essential oil inhibited the microbial growth and improved crayfish quality during refrigerated storage. The use of zein coating combined with 0.3% and 0.6% laurel essential oil extended the shelf life of crayfish samples more than 9 days. Especially better results were obtained from zein coating enriched with 0.6% laurel essential oil.

## References

- Bourtoom, T. (2008). Edible Films and Coatings: Characteristics and Properties. *International Food Research Journal*, 15(3).
- Chahal, K.K., Kaur, M., Bhardwaj, U., Singla, N., & Kaur, A. (2017). A review on chemistry and biological activities of *Laurus nobilis* L. essential oil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1153-1161.
- Dehghani, S., Hosseini, S.V., & Regenstein, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505-513.
- Dursun, S., & Erkan, N., 2009. The Use of Edible Protein Films in Seafood. *Journal of Fisheries Sciences. Com.* 3(4), 352-373.

- Esmaeli, F., Tajik, H., Mehdizadeh, T., & Mayeli, M. (2019). Effect of Combined Application of *Pimpinella affinis* Essential Oil and Extract in Zein Edible Coating on Vacuum Packaged Rainbow Trout Fillet Quality. *Veterinary Forum*, 10(2), 109-117.
- Fidan, H., Stefanova, G., Kostova, I., Stankov, S., Damyanova, S., Stoyanova, A., & Zheljazkov, V.D. (2019). Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Laurus nobilis* L. Essential Oils from Bulgaria. *Molecules*, 24, 804-814.
- Harrigan, W.F., & McCance, M.E. (1976). *Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology*. London: Academic Press Inc.
- Harrigan W.F. (1998). *Laboratory Methods in Food Microbiology*. 3th ed., Academic Press. London.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (1974). *Microorganisms in Foods. 1. Their significance and methods of enumeration*. University of Toronto Press, London.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (1986). *Microorganisms in Foods. Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Scientific Applications, Vol. 2*. Toronto, Canada. ICMSF (eds). University of Toronto Press.
- Kashiri, M., Cerisuelo, J.P., & Dominguez, I. (2017). Zein Films and Coatings as Carriers and Release Systems of *Zataria multiflora* Boiss. Essential Oil for Antimicrobial Food Packaging. *Food Hydrocolloids*, 70, 260-268.
- Khalily, R., & Ogunkalu, O.A. (2019). Edible Films in Seafood. *Eurasian Journal of Agricultural Research*.
- Lewis W.H., & Elvin-Lewis M.P.F. (2003). *Medical Botany: Plants Affecting Human Health*. 2nd edition. Hoboken, Wiley: 495 pp.
- Moghtader, M., & Farahmand, A. (2013). Evaluation of The Antibacterial Effects of Essential Oil from The Leaves of *Laurus nobilis* L. in Kerman Province. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 5(2), 13-17.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Marino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria, *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474.
- Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Matos, O., Serrano, C., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Nunes, M. L., & Marques, A. (2012). Antioxidant and

antibacterial activity of essential oil and extracts of bay laurel *Laurus nobilis* Linnaeus (Lauraceae) from Portugal, *Natural Product Research*, 26 (6), 518–529.

Rafiq, R., Hayek, S. A., Anyanwu, U., Hardy, B. I., Giddings, V. L., Ibrahim, S. A., Tahergorabi, R., & Kang, H.W. (2016). Antibacterial and Antioxidant Activities of Essential Oils from *Artemisia herba-alba* Asso., *Pelargonium capitatum* radens and *Laurus nobilis* L., *Foods*, 6(5), 28.

Turina, A.V., Nolan, M.V., Zygadlo, J.A., & Perillo, M.A. (2006). Natural terpenes: self-assembly and membrane partitioning. *Biophysical Chemistry*, 122, 101-113.

**GEOMATICS ENGINEERING / HARİTA MÜHENDİSLİĞİ**

# KADASTRO FAALİYETLERİ KAPSAMINDA LİSANSLI HARİTA KADASTRO MÜHENDİSLİK BÜROLARININ ROLÜ

**Burak BALÇI\* & Doç. Dr. Aziz ŞİŞMAN\*\***

\* *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, mburakbalci@hotmail.com*

\*\* *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, asisman@omu.edu.tr*

**Özet:** Türkiye kadastrounun tarihçesi Cumhuriyet öncesi döneme uzanır ve başlangıcı 1847 olarak kabul edilebilir. Farklı dönemlerde farklı mevzuatlara dayanılarak Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün kendi imkânlarıyla yapılan mülkiyet kadastro çalışmaları, 2005 yılında Kadastro Kanununda yapılan değişikliklerle özel sektörün katılımını sağlamış ve çok kısa bir sürede Türkiye kadastrou tamamlanma noktasına gelmiştir. Bu süreçte yürürlüğe giren 5368 sayılı "Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri ve Büroları Hakkında Kanun" ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün bir diğer görevi olan kadastro teknik hizmetlerinden tescile tâbi olmayan işlemlerin yapım ve kontrolü, tescile tâbi olan işlemlerin yapım sorumluluğu işi lisanslı bürolara devredilmiştir. Bu çalışma kapsamında lisanslı büro sistemi, Türkiye kadastroundaki oynadıkları rol, işlem türleri açıklanmış, lisanslı bürolarda ve farklı işlem türlerinde karşılaşılan sorunlar irdelenmiş ve ilgili çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kadastro, Harita, LİHKAB

## Giriş

Kadastro kavramına dünyada bakış insan-taşınmaz arasındaki ilişkiye bağlıdır. İnsan taşınmaz ilişkisi zamana ve kültüre bağlı olarak değişiklikler gösterir. Farklı kültürlerde ve farklı zaman dilimlerinde yaşayan insanların kadastroya bakış açıları kesinlikle aynı değildir. Türkiye'de de zaman içerisinde kadastro kavramında anlaşılmasında farklılıklar olmuştur cumhuriyetin ilk yıllarında kadastrounun amacı vergi ve hukuksal iken bu zamanla taşınmazların geometrik şeklinin ve hukuki durumunun tespit edilmesi ve bunun bir sicile bağlanması şeklinde anlaşılacak son yıllarda ise coğrafi bir bilgi sisteminin parçası olarak tanımlanmıştır (Yaşayan vd., 2011).

Türkiye'de 2005 yılına kadar kadastral çalışmalar kamu eliyle yürütülmekteydi ancak bu tarihten itibaren hizmet alım yoluyla özet sektörün katkısı alınarak çalışmalar hızlandırılmış ülke kadastro sorunlu birimler (bilirkişi temin edilemeyen, yaşayan birey kalmayan vb.) dışında bitirilmiştir. Bu dönemde 29.06.2005 tarih 25860 sayılı resmi gazete ile 5368 sayılı "Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri ve Büroları Hakkında Kanun"

da yürürlüğe girmiştir. Kanunun amacı Avrupa ve dünya ülkelerinde de örnekleri olan Lisanslı Harita ve Kadastro Mühendislik Bürolarını kurmak suretiyle Kadastro müdürlüklerinin iş yükünü azaltmak ve kurumu işi yapan değil denetleyen konuma getirerek verimli bir model oluşturmaktır.

Lisanslı büroların yapacağı işlemler 5368 sayılı kanunun 4. Maddesinde “Lisanslı harita kadastro mühendislik büroları, kadastro müdürlüklerince yürütülen hizmetlerden, tescile tâbi olmayan işlemlerin yapım ve kontrolü ile tescile tâbi olan işlemlerin yapımında görevlidir ” şeklinde açıklanmıştır.

Çalışmamızda dünyada ve ülkemizdeki kadastro kavramından bahsedilmiş, Ülkemiz kadastrounda yeni bir paydaş olan lisanslı büroların yaptıkları işlem türlerinden, lisanslı büro modelinin genelinde ve işlem türlerinde karşılaşılan sorunlardan bahsedilmiş çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

### **Kadastro Kavramı ve Lisanslı Bürolar**

Genel anlamda dünyada arazi tescili (land recording), arazi kaydı (land registration) şeklinde iki arazi kayıt sisteminden bahsedilebilir. Arazi tescil sistemi ölçüm+yazım (kadastro+tapu) şeklinde çalışır ancak arazi kayıt sisteminde işin ölçüm, kadastro boyutu söz konusu değildir yani sadece taşınmazın varlığı senet ile kayıt altına alınır (Yomralıoğlu, 2006).

Kadastro Türk Dil Kurumu tarafından(Anonim, 2019) “Bir ülkedeki her çeşit arazi ve mülk yerinin, alanının, sınırlarının ve değerlerinin devlet eliyle belirlenip plana bağlanması işi” şeklinde tanımlanmıştır.

Kadastronun amacı 3402 sayılı kadastro kanununda, “ülke koordinat sistemine göre memleketin kadastral veya topoğrafik kadastral haritasına dayalı olarak taşınmaz malların sınırlarını arazi ve harita üzerinde belirterek hukukî durumlarını tespit etmek suretiyle 4721 sayılı Türk Medeni Kanununun öngördüğü tapu sicilini kurmak, mekânsal bilgi sisteminin alt yapısını oluşturmaktır” şeklinde tanımlanmaktadır(3402 sayılı Kadastro Kanunu).

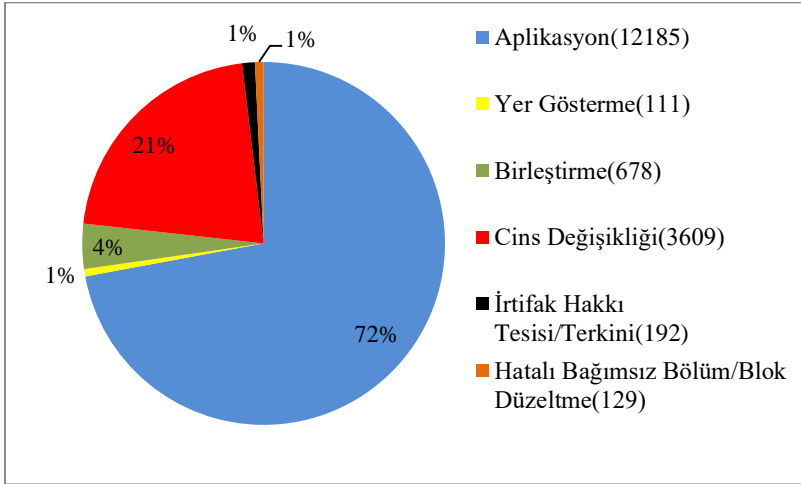
Lisans kavramı yetkinlik ifade etmektedir harita ve kadastro alanında Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü’nden (TKGM) lisans alan kişilerin noterlik sistemi gibi kamu sorumluluğu taşıyarak, denetlenebilir belirli iş ve işlemleri yapmak üzere, vergi mükellefi olan ve yemin etmek sureti ile kurdukları bürolara Lisanslı Harita Kadastro Mühendislik Bürosu denir.

29.06.2005 tarih 25860 sayılı resmi gazete ile 5368 sayılı “Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri Ve Büroları Hakkında Kanun” yürürlüğe girmiş, 5368 sayılı kanunun yönetmeliği ise 05.05.2008 tarih 26867 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. 2009 yılının sonunda ilk lisanslama sınav yapılmış lisans almaya hak kazananların yerleştirmesi aynı

yıl içinde tamamlanmıştır. 2010 yılında TKGM tarafından 2010/13 sayılı “Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri Ve Büroları Çalışma Usul Ve Esasları Hakkında Genelge“ çıkarılmıştır. 2013 yılında lisanslı büroların faaliyetleri mahkeme kararına istinaden durdurulmuş buna istinaden aynı yıl 5368 sayılı kanunun yönetmeliği değiştirilmiş ve yeni bir sınav yapılarak lisanslama yapılmıştır. Günümüzde 227 lisanslı Harita Kadastro Mühendislik Bürosu faaliyetlerine devam etmektedir. TKGM tarafından yurt genelinde belirlenen lisanslı büro kontenjanı ise 1045’dir.

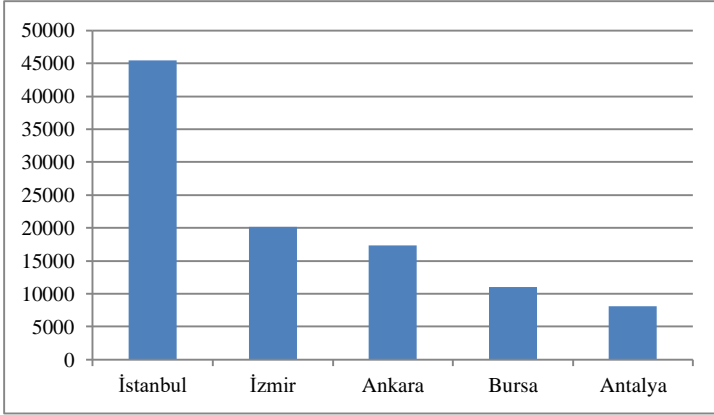
### Lisanslı Büroların Faaliyet Alanları

Lisanslı büro işlemleri, Lisanslı Büro Hizmet Ücretleri çizelgesinde yer gösterme, aplikasyon, hatalı bağımsız bölüm/blok düzeltilmesi, kadastral yol sınırlarının belirlenmesi, şeklinde tescile tabi olmayanlar ve birleştirme, irtifak hakkı tesisi veya terkini cins değişikliği, imar barışı kapsamında zemin tespit tutanağı şeklinde ise tescile tabi olanlar olarak ifade edilebilirler (Anonim, 2018), ancak lisanslı bürolar belli başlı iş türleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Örnek olarak İzmir ilinde 2018 yılında lisanslı bürolar tarafından yapılmış işlerin iş türü bazında dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** İzmir iline ait 2018 yılında lisanslı bürolar tarafından yapılmış işlerin iş kalemleri bazında dağılımı

Lisanslı bürolar yaşanan uzun süreçlerin ardından kurulmuş günümüzde faaliyetlerine devam etmektedirler. Ülkemizde lisanslı büro modeli yeni olduğundan hem modelin yapısı ile ilgili, hem de işlem türlerinin uygulanmasında çeşitli sorunlar ile karşılaşılmaktadır.



**Şekil 2.** 2010-2011-2012 yıllarının ortalaması alınmak sureti ile hazırlanmış beş büyük ile ait kadaströ teknik hizmetlerinin il bazındaki işlem hacimleri (Anonim, 2013).

Ülkemizde LİHKAB'ların kurulmasından önce, Lisanslı büroların yapmakla sorumlu oldukları işlemler kadaströ müdürlükleri tarafından yapılmakta idi. Kadaströ müdürlükleri; özel bürolar tarafından yapılan imar planı uygulamaları, ifraz, yola terk vb. tescile konu projelerin kontrollerinin yapılması, kadaströ teknik hatalarının düzeltilmesi, sayısallaştırma, yenileme, mahkeme keşiflerine bilirkişilik hizmeti sunma gibi diğer işler sebebiyle vatandaşların taleplerine dayanan aplikasyon, yer gösterme, cins değişikliği vb. işlemlerin yerine getirilmesinde yoğunluklar yaşanmakta ve bu işlemler zamana yayılarak takvime bağlı olarak çalışılmakta idi. Lisanslı bürolarda ise özel sektörün verdiği olanaklar sayesinde istisnai durumlar hariç işlem sürelerine (Tablo 1) riayet edildiği söylenebilir. 2010-2011-2012 yıllarının ortalaması alınmak sureti ile hazırlanmış beş büyük ile ait kadaströ teknik hizmetlerinin il bazındaki işlem hacimleri Şekil 2 de gösterilmiştir (Anonim, 2013).

Ücretlendirme konusunda lisanslı büro ücretlerinin kadaströ ücretlerinden aşırı fazla olduğu yönünde genel bir kanı oluşmuştur. Ancak bu durum işlem türleri ve işlemin yöresine göre değişiklik göstermektedir. Özellikle kadaströ katsayısının yüksek olduğu yerlerde, büyük parsellerin aplikasyon işlemlerinde, maktu alınan ücretlerde lisanslı büro fiyatı ile kadaströ fiyatının yakın olduğu söylenebilir hatta yer yer kadaströ ücretinin lisanslı büro ücretinden fazla çıktığı da olabilmektedir. Lisanslı büro ücretleri irdelenirken, bu ücretlerin içerisinde lisanslı büroların yazılım, donanım, mekân, personel gibi tüm giderleri ve ödeyecekleri vergiler de göz önünde bulundurulmalıdır.



**Tablo 1.** Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün 2009/11 sayılı genelgesi ile duyurulmuş Kadastro teknik hizmetlerine ait bazı işlemler için kamu hizmet standartları

Sunulan Hizmetin Adı	İş Günü Cinsinden Hizmetin Tamamlanma Süresi (En Geç Süre)
Aplikasyon	2
Cins Değişikliği	2
Yer Gösterme	1
Birleştirme	2
İrtifak Hakkı Tesisi	2
Aplikasyon, Cins Değişikliği, Yer Gösterme ve İrtifak Hakkı Tesisi işleminde yukarıdaki süreler En fazla 5 parsel için yapılan talep için geçerlidir. 5 parselden fazla her 5 parsel için 1 gün eklenir.	

İşlem türlerinde özellikle; cins değişikliği işleminde ülke geneli uygulama birliği olmaması, aplikasyon işlemlerinde ise yetkisiz kişiler tarafından yapılan aplikasyon (parselin zeminde köşe noktalarının işaretlenmesi) işlemleri LİHKAB faaliyetleri açısından sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

### Sonuçlar

LİHKAB sistemimde yaşanan sorunlara bakıldığında; büro sayısı planlaması, ücret tarifesindeki dengesizlikler, mekân ve personel standartlarının bazı lisanslı büroları ekonomik açıdan zorlaması, lisanslama yapmak üzere yeni sınav beklentisi, lisanslı büroların kamu kurum ve kuruluşları arası bağın sağlamaması ve denetim gibi konular modelin sorunları olarak gözlemlenmektedir.

Sistemin genç oluşundan dolayı bu sorunlar ile karşılaşıldığı düşünülmektedir. Lisanslı büro modelinin ülke genelinde işlevsel ve verimli olması bu sorunları çözümü ile mümkün olacaktır. Bu sorunların çözümünde modelin kurucu Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne, harita mühendislerinin mesleki kuruluşu olan Harita ve Kadastro Mühendisleri Odasına ve yurt genelinde faaliyet gösteren Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri Bürolarına görevler düşmektedir.

### Kaynaklar

- Anonim (2009). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü. <https://www.tkgm.gov.tr/icerik/lihkab-sinav-sonuclari> (Erişim Tarihi:06.11.2019).
- Anonim (2013). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü. <https://www.tkgm.gov.tr/icerik/lihkab-sinav-sonuclari> (Erişim Tarihi:06.11.2019).

- Anonim (2018). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü.  
<https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/2019-yili-hizmet-ucretleri-ve-katsayilar-0> (Erişim Tarihi:06.11.2019).
- Anonim (2019). Türk Dil Kurumu.  
[http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&kelime=KADASTRO](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&kelime=KADASTRO)  
O (Erişim Tarihi:06.11.2019).
- Yaşayan, A., Erkan, H. ve Seylam, S.G.(2011). Kadastro Kavramı ve Türkiye Kadastro. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,18-22 Nisan, 13. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı, 173-174, Ankara.
- Yomralıoğlu, T. (2006). Dünya’da Kadastral Eğilimler ve Türkiye. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Kadastro Kongresi, 22-24 Mayıs, Ankara.
- 5368 Sayılı Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri Ve Büroları Hakkında Kanun. *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 25860, Tarih: 29.06.2005.
- 2009/11 Sayılı Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Genelgesi. Tarih: 24.06.2009
- 3402 sayılı Kadastro Kanunu. *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 19512, Tarih: 09.07.1987.

# DEMİRKÖPRÜ BARAJININ SU YÜZEY SINIRLARININ BELİRLENMESİNDE SENTİNAL-2 (MSI) GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK FARKLI ALGORİTMALAR VE SU ENDEKSLERİ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

**Osman Salih YILMAZ\* & Fatih GÜLGEN\*\* & Füsun BALIK  
ŞANLI\*\*\* & Ali Murat ATEŞ\*\*\*\***

\* *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Köprübaşı Meslek Yüksekokulu, osmansalih.yilmaz@cbu.edu.tr*

\*\* *Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, fgulgen@yildiz.edu.tr*

\*\*\* *Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, fbalik@yildiz.edu.tr*

\*\*\*\* *Ali Murat ATEŞ, Eğitim Fakültesi, murat.ates@cbu.edu.tr*

**Özet:** Bu çalışmada Demirköprü barajına ait farklı tarihlerde elde edilen Sentinel - 2 (MSI) uydu görüntüleri kullanılarak su yüzeyi sınırları belirlenmiştir. Sentinel - 2 (MSI) görüntülerin 5 günlük zamansal çözünürlüğü ve ücretsiz erişimiyle su kütlelerinin haritalanmasında oldukça fazla tercih edilmektedir. Sentinel-2 MSI, 10 m'deki RGB ve Near InfraRed (NIR) bantları ve 20 m'deki Short Wavelength InfraRed (SWIR) bantları dahil olmak üzere farklı çözünürlüklerde spektral bantlar sağlar. Su sınırlarının belirlenmesinde Normalised Difference Water Index (NDWI) ve Modified NDWI (MNDWI) indeksleri kullanılmıştır. Çalışmada bölge arazi kullanım formu dikkate alınarak su yüzeyi, ekili alanlar, meşe ormanları ve boş alanlar olmak üzere dört farklı sınıf belirlenip kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Kontrollü sınıflandırmada Maximum Likelihood (ML) ve Random Forest (RF) algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu algoritmaların her biri görünür (RGB) + Kırmızı ötesi bant (NIR), NDWI, MNDWI su endeksleriyle Sentinel - 2 (MSI) görüntüleri üzerinde ayrı ayrı test edilmiştir. Elde edilen görüntüler üretici doğruluğu (ÜD), kullanıcı doğruluğu (KD), toplam doğruluk (TD) ve Kappa istatistiği testleri ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma doğruluklarına dayalı karşılaştırmalar sonucu Demirköprü barajı için RF algoritmasının ML algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Demirköprü Barajı, Sentinel – 2, Kontrollü Sınıflandırma

## Giriş

Su döngüsünde doğal (Nehirler, Göller, Kara su yüzeyleri) ve yapay (Baraj, Gölet) su kaynakları çevresel, ekonomik ve stratejik açıdan önemlidir (D'Andrimont & Defourny, 2018). Barajlarda su seviyesinin takip edilmesi hidrolojik süreçlerinin anlaşılması ve su kaynaklarının yönetilmesi açısından büyük öneme sahiptir (Du ve ark., 2016). Barajlardaki su seviyesinde farklı sebeplerden (iklimsel, enerji üretimi,

sulama faaliyetlerinden) dolayı oluşabilecek sınır değişikliklerinin izlenmesi çeşitli teknikler kullanılarak yapılır. Bu teknikler yersel ölçme yöntemleri (Alba ve ark., 2006), Global Navigation Satellite System (GNSS) sistemleri (Pipitone ve ark., 2018), Fotogrametri (Przyborski ve ark., 2015), Light Detection and Ranging (LiDAR) (Canaz ve ark., 2015), Synthetic Aperture Radar (SAR) (Huang ve ark., 2018), Uzaktan algılama (UA) (Pipitone ve ark., 2018) şeklinde sıralanabilir. Kullanılan bu teknikler arasında UA uygun maliyetli, hızlı, güvenilir, tekrarlanabilen, erişimi zor ve daha geniş alanlar için daha efektif bir teknik olması nedeni ile oldukça fazla tercih edilmektedir (Esmail, Mahmod, & Fath, 2019; Yang ve ark., 2017). Uzaktan algılama son yıllarda, tektonik hareketlerin izlenmesinde (Tramutoli ve ark., 2005), yüzey bitki türleri (Kerr & Ostrovsky, 2003; Turner ve ark., 2003), okyanus akıntıları ve sıcaklığı (Klemas, 2012), buzulların takibi (Kulkarni ve ark., 2007), küresel boyutta su takiplerinde (Berry ve ark., 2005) ve birçok diğer alanda dünya üzerinde bilgi sağlamada kullanılmıştır (Ghatasheh ve ark., 2013). UA ile farklı mekânsal ve radyometrik özelliklere sahip sensörler ile küresel, bölgesel ve yerel ölçeklerde gözlemler yapılır (Padró ve ark., 2018). Uzaktan algılama ile aynı zamanda kızıl ötesi spektral bantların kullanılması sayesinde su – toprak ayrımının yapılabilmesi kolaylaşmıştır (Esmail ve ark., 2019). Su yüzeylerinin uzaktan algılama ile belirlenmesinde tek ve çok bantlı olmak üzere iki yöntem mevcuttur. Tek bantlı yöntemler açık suların tespitinde kullanılırken, suyun toprak ve diğer etkilerden ayırmak için çok bantlı seçeneklerin matematiksel bağıntılarından oluşan su endeksleri tanımlanır (Xu, 2006). Normalized Difference Water Index (NDWI), su özelliklerini belirlemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. NDWI su ile toprak ve karasal bitki örtüsünün ayrımını yapan yeşil bant ve kızıl ötesi bant kullanılır (McFeeters, 1996). Xu (2006)' da su yüzeylerin tespitinde bitki örtüsü, toprak özellikleri, yerleşik alanlardaki etki nedeni ile NDWI kullanılan NIR bandı yerine SWIR bandı kullanılarak, The modified NDWI (MNDWI) önermiştir. Toprak, bitki örtüsü ve yerleşik sınıflar daha düşük negatif değerlere sahiptir çünkü yeşil banttan daha fazla SWIR' bandını yansıtırlar. Bu yüzden kentsel bölgelerdeki su alanlarında ve sığ sularda MNDWI, NDWI göre daha yaygın kullanılmaktadır (Yang ve ark., 2017). NDWI ve MNDWI su endeksleri, su yüzeylerinin tespitinde son zamanlarda Sentinel ve Landsat gibi çeşitli uydu platformlarıyla ve farklı sınıflandırma algoritmalarıyla test edilmiştir. Özellikle 2015 yılında piyasaya sürülen Sentinel – 2 uydusuyla su yüzeylerinin tespitinde daha doğru sonuçlar elde etmek için, kullanılan uydu platformları, sınıflandırma algoritmaları ve su endekslerinin performanslarının karşılaştırılması araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Uydu görüntülerinde piksel tabanlı

kullanılan sınıflandırma yöntemleri kontrolsüz ve kontrollü olmak üzere ikiye ayrılır. Kontrolsüz sınıflandırma yönteminde pikseller yansıtma özelliklerine göre gruplandırılarak kümeler oluşturulur. Kümelerin sayısı kullanıcı tarafından belirlenir (Kaplan & Avdan, 2017). Kontrollü sınıflandırmada, görüntüdeki her bir arazi örtüsü sınıfı için temsili örnekler seçilir ve sınıflandırma, kullanıcı tarafından tanımlanan spektral signature' a dayanır (Kaplan & Avdan, 2017). Kontrolsüz sınıflandırmada Iterative Self- Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) (Reis & Yılmaz, 2008; Shen ve ark., 2015) ve K –Means (Kaplan & Avdan, 2017; Pipitone ve ark., 2018) algoritmaları, kontrollü sınıflandırmada ise Random Forest (RF) (Mansaray ve ark., 2019) ve Maximum Likelihood (Hossen ve ark., 2018) algoritmaları en çok bilinen ve kullanılanlardır. Su yüzey tespiti için farklı uydu platformları ve farklı algoritmaların kullanılmasına yönelik literatür' de çeşitli çalışmalar mevcuttur. (Frazier & Page, 2000) Çalışmalarında, nehir taşkın alanlarındaki su kütlelerini tanımlamak için Landsat 5 TM verilerinin tekli bant yoğunluğu dilimlemesinin (Density slicing) sınıflandırma doğruluğunu ölçmüş ve Maximum Likelihood sınıflandırmasıyla karşılaştırılmıştır. (Reis & Yılmaz, 2008) Türkiye'de Seyfe gölünün zamansal değişimini Landsat görüntüleri üzerinde ISODATA algoritması ile belirlemişlerdir. (Adediji & Ajibade, 2008). (Qiao ve ark., 2012) NDWI kullanarak su yüzeyini tespit etmişler, segmentasyon kriteri olarak RNDWI yeniden tanımlamışlardır. Daha sonra suyu arka plandan ayırmak için değiştirilmiş histogram otomatik segmentasyon yöntemini kullanmışlardır. (Sun ve ark., 2012) Çin' in kuzey batısında Shaanxi eyaletinde NDWI, MNDWI ve Maximum Likelihood Classification (MLC)+NIR bandını birleştiren bir yöntem inceleyerek sonuçları karşılaştırmışlardır. (Kaplan & Avdan, 2017) Sentinel – 2 görüntüleri ile piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yapmışlardır. NDWI nesne tabanlı sınıflandırma ile birleştirerek piksel tabanlı sınıflandırmaya göre daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Literatürde su yüzeyi tespitine yönelik yapılan çalışmaların çoğunda su yüzey sınırlarının en doğru bir şekilde nasıl tespit edilebildiği üzerinde durulmuştur. Fakat algoritmaların su yüzey tespiti üzerindeki performanslarına yönelik bir karşılaştırma yapılmamıştır. Aynı zamanda su yüzeylerinin tespitine yönelik çalışmalarda doğruluk ölçütü olarak sınıflandırma doğruluğu temel alınmıştır.

Bu çalışmada Türkiye' de Manisa ilinde Demirköprü barajı sınırlarının tespiti için Sentinel - 2 MSI görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada ML ve RF algoritmaları kullanılmıştır. Görünür bantlar (RGB), NIR bant, NDWI ve MNDWI endeksleri kullanılarak Sentinel - 2 MSI görüntülerinin ve

kullanılan algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma çalışmasında kontrollü sınıflandırma için dört ayrı sınıf belirlenmiştir. Kullanılan sınıflar su yüzeyi (SY), ekili alanlar (EA), meşe ormanları (MO) ve boş alanlar (BA) sınıflarıdır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunun analizlerinin yanında belirlenen baraj sınırı lokal bir bölgede GNSS (CORS) ölçümleriyle test edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Uydu Görüntüsü

Sentinel - 2A, Avrupa Komisyonu'nun (EC) Copernicus programının bir parçası olarak, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından, 23 Haziran 2015' te başlatılan Sentinel – 2A ve 7 Mart 2017' de başlatılan Sentinel - 2B olmak üzere iki uydudan oluşur. Uydular yaklaşık olarak 786 km yükseklikte 5 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptirler. MSI sensörü 12 bitlik radyometrik çözünürlüğüyle RGB, NIR, SWIR yayılan 13 spektral bant, 10 m ile 60 m arasında değişen mekânsal çözünürlüğe sahiptir (Astola ve ark., 2019; He ve ark., 2019). Çalışmada kullanılan görüntüler Sentinels Scientific Data Hub'dan (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) ücretsiz olarak indirilmiştir (Tablo 1). Görüntüler UTM projeksiyonunda WGS-1984 map datum, Zone 35N ile geometrik olarak düzeltilmiş verilerdir. Görüntüler Radyometrik olarak düzeltilmiş Bottom-Of-Atmosphere (BOA) reflectances Level 2A görüntüleridir. L2A görüntülerine Mayıs 2017' den beri Copernicus Open Access Hub' dan erişilebilir (Djamai & Fernandes, 2018).

**Tablo 1.** Sentinel – 2A MSI uydu görüntülerinin spektral bant ve çözünürlükleri

<b>Sentinel – 2A L2A MSI</b>		
<b>04/06/2018 - 11/03/2019</b>		
<b>Spektral Bant</b>	<b>Dalga boyu aralığı (nm)</b>	<b>Çözünürlük (m)</b>
Blue (B2)	458-523	10
Green (B3)	543-578	10
Red (B4)	650-680	10
NIR (B8)	785-900	10
SWIR 2 (B12)	2100-2280	20

## CORS

Continuously Operating Reference Station (CORS) ağı küresel ve bölgesel düzeyde jeodeziyi ve diğer jeobilimsel uygulamaları desteklemek amacıyla kurulmuştur (Rizos, 2007). İstanbul Kültür Üniversitesi, general directorate of land registration and cadastre (GDLRC) and the general command of mapping (GCM) tarafından başlatılan CORS – TR projesi, Turkish Scientific and Technical Research Agency (TUBITAK) destekleriyle 2006-2009 yıllarında tesis edilmiştir (Eren ve ark., 2009). Bu ağın amacı Real Time Kinematic (RTK) özelliklerine sahip 7/24 çalışan ağ tabanlı CORS-TR istasyonlarını kurmak, troposfer ve iyonosfer modellemek, sinyal iletişim çalışmaları, plaka tektoniğini ve deformasyonları izlemek için mm hassasiyetinde doğruluk sağlamaktır (Gülal, Erdoğan, & Tiryakioğlu, 2013). Çalışmada Demirköprü baraj sınırlarının çok fazla girintili çıkıntılı olması ve dik kayalıklardan oluşması sebebi ile iki ayrı tarihte baraj su yüzeyi kıyı çizgisi ölçümü yapılmıştır. 1. ölçüm 28/12/2018 tarihli su seviyesinin düşük olduğu tarih, 2. ölçüm ise 03/05/2019 tarihli mevsimsel yağışların etkisi ile su seviyesinin yüksek olduğu tarihtir. Sınıflandırmalar sonucu bulunan su yüzeyi sınırları Raster – Vektör dönüşümünden sonra bulunan sınırla ölçülen sınırın doğruluğu karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar tüm ölçü noktalarının, bulunan sınıra olan en yakın mesafeleri near analizi ile bulunmuştur. Bu sayede sınıflandırma sonucu bulunan sınır ile ölçü noktaları arasında Root Mean Square Error (RMSE) (Eşitlik.1) ile hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n di^2} \quad (1)$$

Burada,  $n$  ölçülen nokta sayısı,  $di$  ise bulunan sınırla, ölçülen noktalar arasındaki mesafelerdir.

### **Kullanılan Algoritma ve Su Endeksleri**

#### *Random Forest (RF) algoritması*

Random Forest (RF) algoritması, karar ağaçları kümelerine göre tahminlerle sınıflandırmalar yapar (Breiman, 2001). Standart ağaçlarda, her bir düğüm tüm değişkenler arasında en iyi olanı kullanarak bölünür. RF, her düğüm bu düğümde rastgele seçilen bir tahminle (predictor) alt kümesi arasında en iyisini kullanarak bölünür (Liaw & Wiener, 2002). RF algoritması arazi örtüsü sınıflandırmasında (land cover) (He ve ark., 2019; Mansaray ve ark., 2019) ve su yüzeylerinin tespitinde (Xiao, Zhao, & Zhu,

2010; Yang ve ark., 2017; Yang ve ark., 2018;) oldukça yaygın kullanılmıştır.

### Maximum Likelihood Classification (MLC)

Maksimum olabilirlik sınıflandırması (MLC), bir vektör uzayından gerçek uzaya kadar doğrusal bir karar fonksiyonunun göz önüne alındığı, uzaktan algılamada en popüler sınıflandırma yöntemlerinden biridir (Sun ve ark., 2012). Maksimum olabilirlik yasası, bir pikselin belirli bir sınıfa ait olma olasılığına dayanmaktadır. Bu olasılıkların temel denklemdeki tüm sınıflar için benzer olduğu varsayılır ve giriş bantlarının normal dağılım gösterdiği varsayılır. Olasılıklar tüm sınıflar için eşit olmadığına dair önceden belirlenmiş bir bilgi varsa, ağırlık faktörleri belirtilebilir. Maksimum benzerlik karar kuralının bu değişimi Bayesian karar kuralı olarak da bilinir (Hossen ve ark., 2018)

### Water Index (NDWI and MNDWI)

Spektral su endeksi iki veya daha fazla spektral bandın aritmetik işlemine dayanır. Spektral özelliklerine dayanarak suyu diğer detaylardan arındırmak için uygun bir eşik değere ihtiyaç vardır. Spektral bir su endeksi tasarımı, suyun yakın kızıl ötesi (NIR) ve kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) dalga boylarındaki enerjiyi emmesi özelliklerinden faydalanılır (Ji, Zhang, & Wylie, 2009). MNDWI bitki örtüsü ve toprak gürültüsünün yanı sıra, yerleşik alanlarda oluşabilecek gürültünün etkisini daha aza indirmek için SWIR bandı kullanılır (Xu, 2006). Çalışmada NDWI (Eşitlik.2) ve MNDWI (Eşitlik.3) endeksleri Landsat ve Sentinel görüntüleri için hesaplatılmıştır. Elde edilen bantlar, sınıflandırmaya dahil edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

$$NDWI = (\rho_{green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{green} + \rho_{NIR}) \quad (2)$$

$$MNDWI = (\rho_{green} - \rho_{SWIR}) / (\rho_{green} + \rho_{SWIR}) \quad (3)$$

## **Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışmada iki farklı tarihlere ait 10 m mekânsal çözünürlüklü Sentinel – 2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Tablo 2 ve Tablo 3’e göre 04/06/2018 10 m mekânsal çözünürlüklü Sentinel - 2 MSI görüntüsün de RF algoritması MLC algoritmasına göre daha yüksek doğrulukta sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Su endeksleri kullanımı su yüzeylerindeki sınıflandırma doğruluğunu artırdığı görülmüştür. Barajdaki su seviyesinin yüksek olduğu tarihler dikkate alındığında sığ su kıyısında diğer



detaylardan suyu ayırmada özellikle MNDWI su endeksinin doğruluğa katkısının daha fazla olduğu görüldü.

**Tablo 2.** 04/06/2018 tarihli kontrollü sınıflandırma doğrulukları

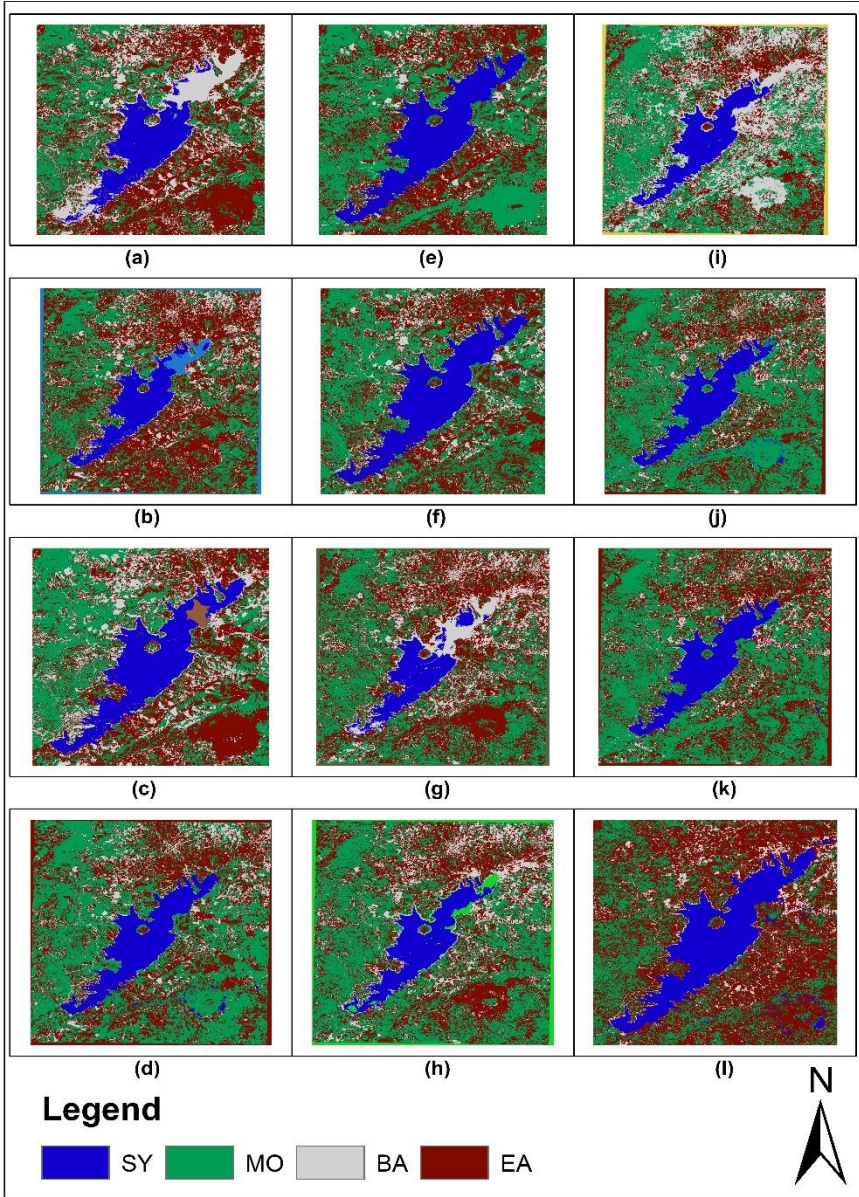
Sınıflar	MLC (RGB+NIR)	MLC (NDWI)	MLC (MNDWI)	RF (RGB+NIR)	RF (NDWI)	RF (MNDWI)
ÜD	SY	95,98	99,33	99,42	90,19	99,19
	EA	65,43	66,84	77,22	70,56	66,67
	MO	97,12	97,15	93,40	94,76	90,34
	BA	52,65	86,71	80,98	92,83	88,49
KD	SY	51,87	76,94	88,34	95,57	95,06
	EA	76,33	86,67	81,33	92,67	87,33
	MO	73,29	73,77	83,28	83,64	80,86
	BA	86,60	85,63	87,81	80,69	76,64
TD	71,15	85,60	87,71	88,41	85,41	87,34
K	0,618	0,804	0,834	0,845	0,805	0,831

**Tablo 3.** 11/03/2019 tarihli kontrollü sınıflandırma doğrulukları

Sınıflar	MLC (RGB+NIR)	MLC (NDWI)	MLC (MNDWI)	RF (RGB+NIR)	RF (NDWI)	RF (MNDWI)
ÜD	SY	97,60	99,70	99,43	96,93	98,95
	EA	61,22	67,20	69,13	68,42	66,09
	MO	98,68	98,42	98,74	89,74	96,73
	BA	59,23	82,55	72,24	90,37	89,85
KD	SY	65,19	86,23	90,91	96,09	98,43
	EA	83,67	84,67	84,33	86,67	89,00
	MO	69,66	76,85	73,29	83,64	82,10
	BA	81,00	83,07	83,49	76,97	74,92
TD	74,27	82,71	83,36	86,34	86,64	80,42
K	0,659	0,772	0,778	0,818	0,822	0,739

**Tablo 4.** RMSE değerleri

Ölçüm tarihi	MLC (RGB+NIR)	MLC (NDWI)	MLC (MNDWI)	RF (RGB+NIR)	RF (NDWI)	RF (MNDWI)
04/06/2018 10 m çözünürlüklü Sentinel 2 MSI görüntüsü						
28/12/2018	-	15,779	16,699	13,798	13,319	7,454
11/03/2019 10 m çözünürlüklü Sentinel 2 MSI görüntüsü						
28/12/2018	17,094	18,711	17,398	16,358	16,674	12,889



**Şekil 1.** Sınıflandırılan 04/06/2018 tarihli uydu görüntüleri: a) MLC algoritması RGB+NIR, b) MLC algoritması NDWI, c) MLC algoritması MNDWI, d) RF algoritması RGB+NIR, e) RF algoritması NDWI, f) RF algoritması MNDWI, Sınıflandırılan 11/03/2019 tarihli uydu görüntüleri: g) MLC algoritması RGB+NIR, h) MLC algoritması NDWI, i) MLC algoritması MNDWI, j) RF algoritması RGB+NIR, k) RF algoritması NDWI, l) RF algoritması MNDWI

Şekil 1' de verilen görüntüde SY olarak sınıflandırılan pikseller baraj alanını oluşturmaktadır. Bu bölgenin sınırları ArcMap 10.5 yazılımı kullanılarak sınıflandırılmış ve sayısallaştırılmıştır. Su yüzey sınırlarının 5%'den daha fazla hatalı tespit edildiği sınıflandırma işlemleri değerlendirme dışında tutulmuştur. İkinci aşamada, başarılı olduğu düşünülen sınıflandırmalar sonucu elde edilen su yüzeyi sınırları, uydu görüntülerinin alınma tarihlerine yakın zamanda CORS-TR ile ölçülerek bulunan sınırlarla karşılaştırılmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilen sınır ve COR-TR ile ölçülen sınır arasındaki sapmalar karesel ortalama hata değerleri üzerinden irdelenmiştir (Tablo 4).

MLC ve RF kontrollü sınıflandırma algoritmaları için hesaplanan RMSE'ler incelendiğinde genel olarak RF algoritmasının MLC algoritmasına göre sınıflandırmayı daha başarılı gerçekleştirdiği rahatlıkla söylenebilir. RF algoritmasının uygulandığı üç farklı bant dikkate alındığında RGB+NIR+MNDWI bant kombinasyonundan elde edilen sonuçların genel olarak daha başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 1 a-1). Bunun sebebi seçilen uydu tarihlerinde baraj su seviyesinin yüksek olması ve özellikle suyun kıyı kesimlerde sığ olmasından kaynaklanmaktadır. Yine ML algoritmasının sonuçları içinde su endeksleri kullanımı türetilen sınırlara etkisinin ve doğruluk oranını artırdığı görüldü. Su endeks kullanımı su yüzeylerinin doğruluk oranlarını artırdığı için genel doğruluk ve Kappa istatistik değerini de artırmıştır.

Bu araştırmada Sentinel - 2 görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapıldı. Sınıflandırmada MLC ve RF algoritmaları kullanıldı. Su yüzey sınırlarının tespiti için geliştirilmiş NDWI ve MNDWI su endeksleri kullanılarak sınırlar yarı otomatik şekilde belirlendi. Sentinel - 2 görüntülerinde RF algoritmasının su yüzeyleri için sınıflandırma doğruluk oranının ve genel doğruluğun MLC algoritmasına nazaran daha iyi performans gösterdiği görüldü. MLC algoritmasının Sentinel - 2 görüntülerde genel doğruluk oranı yüksek çıksa da SY için sınıf doğruluk oranı düşük çıktı. Su endeksleri kullanılması ile su sınıfı doğruluk oranının arttığı görüldü. Sonuç ürünü olarak bulunan vektör su kıyı çizgisi CORS - TR ölçümleri ile de test edildiğinde, yukarıda sıralanan sonuçlar teyit edildi.

## **Kaynaklar**

- Adediji, A., & Ajibade, L. T. (2008). The change detection of major dams in Osun State , Nigeria using remote sensing ( RS ) and GIS techniques. *Journal of Geography*, 1(6), 110–115.
- Alba, M., Giussani, A., Roncoroni, F., Scaioni, M., & Valgoi, P. (2006). Geometric modelling of a large dam by terrestrial laser scanning. In *Proc. of FIG Mondial Congress, Munich, Germany, Oct* (pp. 8–13).
- Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M., & Kilpi, J. (2019). Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. *Remote Sensing of Environment*, 223(December 2018), 257–273.
- Berry, P. A. M., Garlick, J. D., Freeman, J. A., & Mathers, E. L. (2005). Global inland water monitoring from multi-mission altimetry. *Geophysical Research Letters*, 32(16).
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Canaz, S., Karsli, F., Guneroglu, A., & Dihkan, M. (2015). Automatic boundary extraction of inland water bodies using LiDAR data. *Ocean & Coastal Management*, 118, 158–166.
- D’Andrimont, R., & Defourny, P. (2018). Monitoring African water bodies from twice-daily MODIS observation. *GIScience and Remote Sensing*, 55(1), 130–153.
- Djamai, N., & Fernandes, R. (2018). Comparison of SNAP-Derived Sentinel-2A L2A Product to ESA Product over Europe, (June 2015).
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water bodies’ mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the swir band. *Remote Sensing*, 8(4).
- Eren, K., Uzel, T., Gulal, E., Yildirim, O., & Cingoz, A. (2009). Results from a comprehensive global navigation satellite system test in the CORS-TR network: case study. *Journal of Surveying Engineering*, 135(1), 10–18.
- Esmail, M., Mahmud, W. E., & Fath, H. (2019). Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Applied Ocean Research*, 82(March 2018), 274–282.
- Frazier, P. S., & Page, K. J. (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering & Remote*

- Sensing, 66(12), 1461–1467.
- Ghatasheh, N. A., Abu-Faraj, M. M., & Faris, H. (2013). Dead sea water level and surface area monitoring using spatial data extraction from remote sensing images. *International Review on Computers and Software*, 8(12), 2892–2897.
- Gülal, E., Erdoğan, H., & Tiryakioğlu, I. (2013). Research on the stability analysis of GNSS reference stations network by time series analysis. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 23(6), 1945–1957.
- He, Y., Wang, C., Chen, F., Jia, H., Liang, D., & Yang, A. (2019). Feature Comparison and Optimization for 30-M Winter Wheat Mapping Based on Landsat-8 and Sentinel-2 Data Using Random Forest Algorithm. *Remote Sensing*, 11(5), 535.
- Hossen, H., Ibrahim, M. G., Mahmud, W. E., Negm, A., Nadaoka, K., & Saavedra, O. (2018). Forecasting future changes in Manzala Lake surface area by considering variations in land use and land cover using remote sensing approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(5).
- Huang, W., DeVries, B., Huang, C., Lang, M. W., Jones, J. W., Creed, I. F., & Carroll, M. L. (2018). Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 10(5), 1–18.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Problems of Dynamic NDWI Threshold and Objectives of the Study The NDWI data derived from Landsat MSS, TM, and ETM (Jain et al. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307–1317.
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 137–143.
- Kerr, J. T., & Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 299–305.
- Klemas, V. (2012). Remote sensing of coastal and ocean currents: An overview. *Journal of Coastal Research*, 28(3), 576–586.
- Kulkarni, A. V., Bahuguna, I. M., Rathore, B. P., Singh, S. K., Randhawa, S. S., Sood, R. K., & Dhar, S. (2007). Glacial retreat in Himalaya using Indian Remote Sensing satellite data. *Current Science*, 69–74.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18–22.

- Mansaray, L. R., Wang, F., Huang, J., & Yang, L. (2019). Accuracies of support vector machine (SVM) and random forest (RF) in rice mapping with Sentinel-1A, Landsat-8 and Sentinel-2A datasets. *Geocarto International*, 0(0), 1–17.
- McFeeters. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- Padró, J. C., Muñoz, F. J., Ávila, L. Á., Pesquer, L., & Pons, X. (2018). Radiometric correction of Landsat-8 and Sentinel-2A scenes using drone imagery in synergy with field spectroradiometry. *Remote Sensing*, 10(11).
- Pipitone, C., Maltese, A., Dardanelli, G., Brutto, M. Lo, & Loggia, G. La. (2018). Monitoring water surface and level of a reservoir using different remote sensing approaches and comparison with dam displacements evaluated via GNSS. *Remote Sensing*, 10(1), 1–24.
- Przyborski, M., Szczechowski, B., Szubiak, W., Szulwic, J., & Widerski, T. (2015). Photogrammetric development of the threshold water at the dam on the Vistula River in Wloclawek from unmanned aerial vehicles (UAV). In *SGEM2015 Conference Proceedings* (pp. 18–24).
- Qiao, C., Luo, J., Sheng, Y., Shen, Z., Zhu, Z., & Ming, D. (2012). An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40(3), 421–433.
- Reis, S., & Yilmaz, H. M. (2008). Temporal monitoring of water level changes in Seyfe Lake using remote sensing. *Hydrological Processes*, 22(22), 4448–4454.
- Rizos, C. (2007). Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations. *GPS Solutions*, 11(3), 151–158.
- Shen, Q., Li, J., Zhang, F., Sun, X., Li, J., Li, W., & Zhang, B. (2015). Classification of several optically complex waters in China using in situ remote sensing reflectance. *Remote Sensing*, 7(11), 14731–14756.
- Sun, F., Sun, W., Chen, J., & Gong, P. (2012). Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(21), 6854–6875.
- Tramutoli, V., Cuomo, V., Filizzola, C., Pergola, N., & Pietrapertosa, C.

- (2005). Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas: The case of Kocaeli (Izmit) earthquake, August 17, 1999. *Remote Sensing of Environment*, 96(3–4), 409–426.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306–314.
- Xiao, Y., Zhao, W., & Zhu, L. (2010). A study on information extraction of water body using Band1 and Band7 of TM imagery. *Science of Surveying and Mapping*, 5.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033.
- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., & Koehl, M. (2018). Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259–270.
- Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, N., & Liang, L. (2017). Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening. *Remote Sensing*, 9(6), 1–19.

**CIVIL ENGINEERING / İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**



# EFFECT OF CURING TEMPERATURE ON STRENGTH OF CLAY STABILIZED WITH DIFFERENT ADDITIVES

Ash BOZ\* & Alper SEZER\*\* & Ahmet KARAMAN\*\*\*

\* *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, asliboz89@gmail.com*

\*\* *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, alper.sezer@ege.edu.tr*

\*\*\* *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, karaman1995.35@gmail.com*

**Abstract:** Due to its insufficient engineering features, clay is considered as a problematic foundation soil. Shallow layers of clay can be stabilized by stabilizers such as lime, cement and fly ash to improve its engineering properties. This paper presents details of an investigation which deals with impacts of temperature on strength of kaolin clay stabilized with cement, lime and fly ash. In this investigation, clay specimens were stabilized with lime, cement and fly ash by ratios of 3, 6 and 9% and compacted under standard Proctor effort at their optimum water contents. Then, the specimens were exposed to 8°, 20° and 40°C curing temperature for 1, 7 and 28 days. When curing periods were completed, unconfined compression tests were carried out on the specimens. Test results were discussed in the detail.

**Keywords:** Cement, fly ash, lime, strength, temperature

## Introduction

Soil stabilization is a quite efficient method to enhance strength and bearing capacity of clay soils. Therefore, it has been widely utilized in infrastructure construction. Lime is one of stabilization materials which can be used for all fine-grained soils to have better workability and lower plasticity. Many parameters such as type of soil, type and percentage of lime used and curing conditions affect strength characteristics of lime stabilized soil. Moreover, the soil-lime reaction is influenced by pH level of the soil, amount of organic matter, drainage conditions and water content. If pH of the soil is greater than 7, the reaction between soil and lime is more efficient (Lambe, 1962; Türköz, 2006). According to Broderick and Daniel (1991), lime stabilization increases durability of kaolinite against to attack by organic chemicals. The study by Bell (1996) demonstrated that lime addition improves strength and based on strength gain optimum lime content for stabilization is approximately between 4%-6% for kaolinite. According to Ingles and Metcalf (1972), the amount of lime to be added for stabilization is approximately 3% for well-graded clay-gravel, 5% for sandy clay, 2~4% for silty clay, 3~8% for plastic clay

and 3~10% for high plastic clay. Furthermore, if the mixture water content is just above the optimum water content, greatest strength gains are observed. As curing period increases, the strength improves. However, mostly remarkable increases in strength are observed within the first 7 days (Bell, 1996). The investigation of Kassim and Chern (2004) showed that addition of lime by ratio of between 3%-6% to clay soil enhances unconfined compressive strength (UCS) considerably from 2.5 to 11 times more in comparison with unamended clay soil. Moreover, the strength is affected by curing temperature remarkably. Temperatures above 30°C can improve the strength significantly (Bell, 1996). According to George et al. (1992) curing temperatures above 50°C improve soil strength considerably. Therefore, soil should be stabilized with lime in relatively hot weather. Investigations showed that lime stabilized clay specimens have higher compressive strength when specimens are cured at elevated temperatures in comparison with at room temperatures for short and long term periods (Arabi and Wild, 1986; Croft, 1964; Baykal et al., 1989). Lime stabilized soil exposed to short-term curing at high temperatures behaves similarly to lime stabilized soil exposed to long-term curing at normal temperatures. Thus, instead of long-term normal temperature curing, at 50°C curing for 2 days was recommended (Anday, 1961; Baykal et al., 1989). The investigation of Nasrizar et al. (2010) proved that strength of lime stabilized specimens cured at low temperatures improves marginally with increasing curing period whereas curing of those samples at high temperatures accelerates the strength gain. Curing temperature and period are efficient on the amount of lime content required to achieve the highest strength gain for stabilization. If temperature is higher in comparison with ambient, curing temperature is more efficient for strength gain than curing period whereas if temperature is lower in comparison with ambient, curing period is more efficient.

Cement stabilization also improve soil structure. Cement addition to soil increases inter-cluster cementation bonding and mitigates the pore space (Horpibulsuk et al., 2010). Clay strength increases with cement treatment significantly. The slope of peak failure envelope of cement stabilized clay is almost three times greater as compared to that of pure clay (Lorenzo and Bergado, 2006). The study of Clare and Pollard (1954) showed that for cement stabilized cohesive soil 7-day strength at 25°C is close to that observed after 1 day when curing temperature is enhanced to 45°C, however this strength level is reached only after 28 days when the temperature is reduced to 0°C. Soil-cement hardening process progresses in cold weathers if the temperature is not below 0°C. Based on nature of strength/age relationships observed with cohesive soils increasing

temperature accelerates hardening mechanism at temperatures up to 45°C. At 60°C and 100°C results are not certain, more than one type of hardening mechanism is obtained.

Fly ash treatment also enhances UCS of soil. Increasing fly ash content improves UCS of fly ash-soil mixtures. However, beyond 28 days increase in UCS is less remarkable (Sezer et al., 2006; Santos et al, 2011). Without curing, increasing fly ash content does not change UCS significantly (Zha et al., 2008). According to Santos et al. (2011) influence of longer curing period (from 14 to 28 days) has greater influence on 20% fly ash stabilized mixture, however negligible influence on other mixtures having fly ash. Yilmaz (2015) stated that fly ash content or curing period does not influence UCS of fly ash-soil mixtures up to 5% fly ash content significantly. Besides, curing period does not affect UCS of the mixtures beyond 10% fly ash content from 7 days to 28 days remarkably. Takhelmayum et al. (2013) reported that addition of fine and coarse fly ash increases the strength of stabilized black cotton soil and shows relatively well-defined moisture-density relationship. Moreover, the peak strength attained by fine fly ash mixture is 25% more when compared to coarse fly ash. For bentonite-fly ash mixture cured at 50°C UCS of 1915 kPa after 180 days of curing, which is 1.4 times UCS obtained at 23°C is observed. UCS of fly ash-bentonite mixtures after 1 day of curing at 50°C is greater in comparison with those cured at 23°C for 28 days. For specimens cured at 23°C, the major portion of UCS improves after the first 28 days of curing (Baykal et al., 1989).

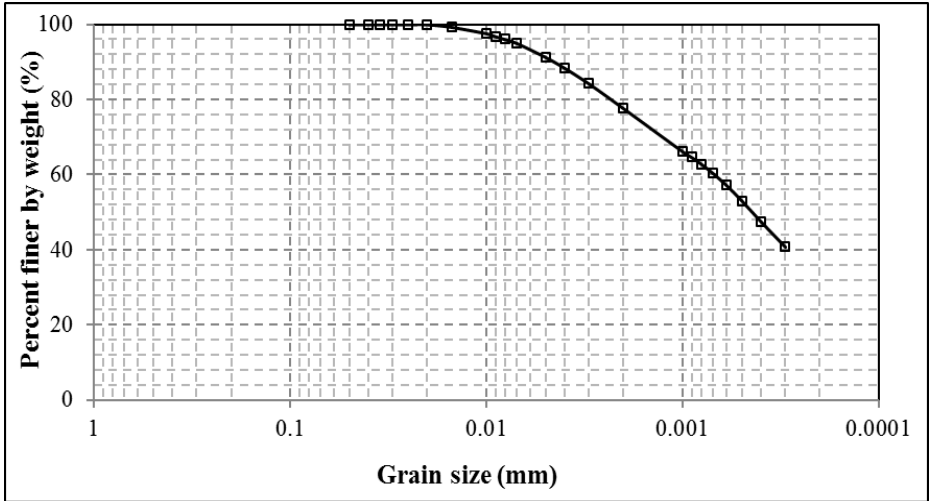
This paper describes a laboratory study conducted to evaluate influence of curing temperature on lime, cement and fly ash stabilized clay in the light of the literature above.

## **Materials and Methods**

### **Materials**

The main materials in this study were kaolin clay, CEM II/B-M(L-W) 42.5 R Portland composite cement, quicklime and class C fly ash. All tests were conducted in accordance with relevant ASTM standards. Liquid limit, plastic limit and plasticity index of kaolin clay were determined as 56, 30 and 26%, respectively in accordance with ASTM D4318-10 (2010). Furthermore, specific gravity of the clay was obtained as 2.62 in accordance with ASTM D854-14 (2014). Optimum water content and maximum dry unit weight of the clay were found as 35.95% and 1.31 t/m<sup>3</sup>, respectively from standard Proctor test in accordance with ASTM D698-

07 (2017). The grain size distribution curve of kaolin clay is showed in Figure 1. Besides, chemical components of kaolin clay, the cement and the fly ash that were supplied by manufacturers are listed in Table 1, 2 and Table 3, respectively. Unit weight of fly ash is  $2.55 \text{ g/cm}^3$  and percentage of material retained above  $45 \mu\text{m}$  sieve is 32.2%.



**Figure 1.** Grain size distribution of kaolin clay

**Table 1.** Chemical components of kaolin clay (%)

<b>Chemical Component</b>	<b>Rate (%)</b>
Na <sub>2</sub> O	0.11
MgO	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.13
SiO <sub>2</sub>	43.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
SO <sub>3</sub>	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.53

**Table 2.** Chemical components of the cement

<b>Chemical Component</b>	<b>Rate (%)</b>
Cl <sup>-</sup>	0.01
SO <sub>3</sub>	3.34
F.CaO	1.94
Na <sub>2</sub> O	0.37
K <sub>2</sub> O	0.88
CaO	57.23
SiO <sub>2</sub>	22.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.54
MgO	1.44
Loss on ignition	4.45

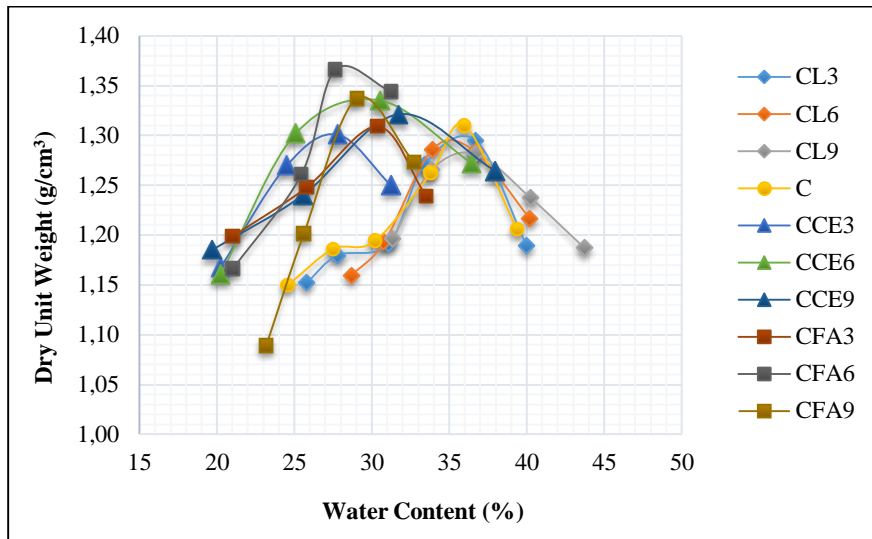
**Table 3.** Chemical components of the fly ash

<b>Chemical Component</b>	<b>Rate (%)</b>
CaO	15.94
SiO <sub>2</sub>	47.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.22
SO <sub>3</sub>	2.78
MgO	7.77
Na <sub>2</sub> O	1.59
K <sub>2</sub> O	3.04
Loss on ignition	0.42

### **Preparation of Specimens and Testing Process**

Firstly, clay (C) was mixed with 0, 3, 6 and 9% cement (CE), lime (L) and fly ash (FA). Subsequently standard Proctor tests were performed in order to find out maximum dry unit weight and optimum water content of mixtures. Based on test results the variation of dry unit weight with water content for different proportions of clay mixtures was drawn and presented in Figure 2. In Figure 2 clay, lime, cement and fly ash are shown by C, L, CE and FA, respectively. The percentage of lime, cement and fly ash is indicated by the number after L, CE and FA, respectively. Analyzing

Figure 2, additives, particularly cement and fly ash, change maximum dry unit weight and optimum water content of clay significantly.



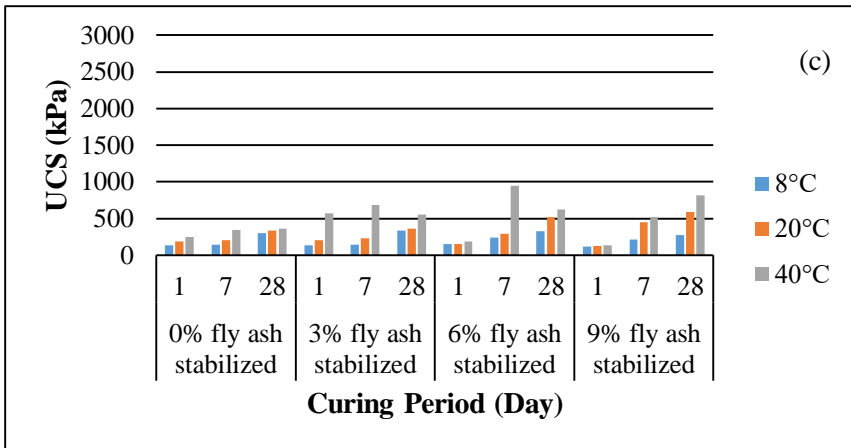
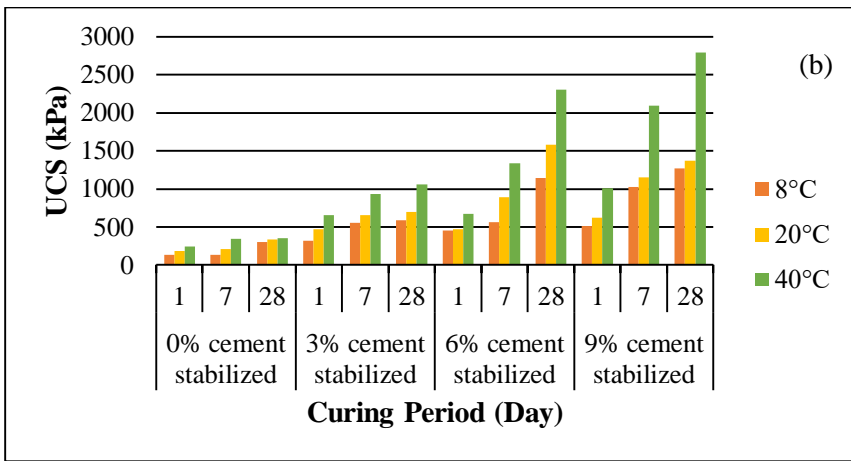
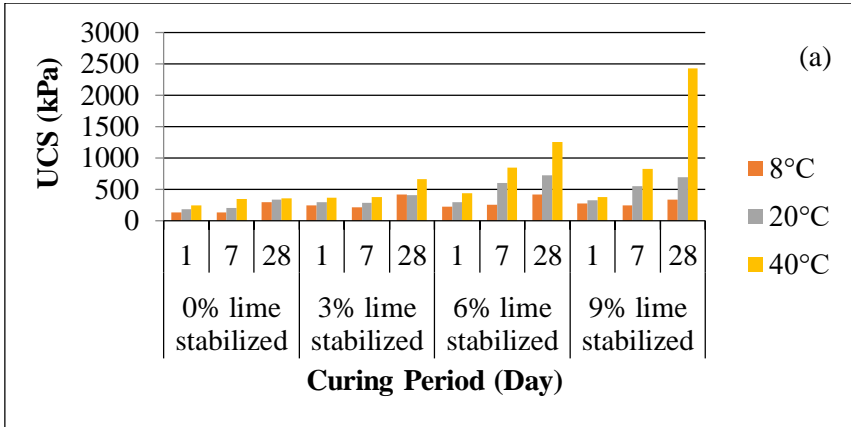
**Figure 2.** Compaction curves of 0, 3, 6 and 9% cement (CE), lime (L) and fly ash (FA) stabilized clay

In order to prepare specimens for unconfined compression tests clay was mixed with cement, lime and fly ash for five minutes. Then, water was added mixing was continued for an additional three minutes. The mixture was later compacted under standard Proctor effort to obtain a specimen of length and diameter of 100 mm and 50 mm, respectively. After compaction soil specimens were wrapped with stretch film and placed in environments of average temperatures of 8, 20 and 40°C for 1, 7 and 28-day curing. When curing was completed, unconfined compression tests were performed on these specimens.

## Results and Discussion

Regarding to features of the materials used in this investigation, an experimental framework was set up to compare the effect of curing temperature on strength of lime, cement and fly ash stabilized clay specimens. In accordance with ASTM D2166/D2166M-16 (2016) unconfined compression tests were conducted on clay specimens to research influences of 8, 20 and 40°C curing temperatures on strength of 0, 3, 6 and 9% lime, cement and fly ash stabilized specimens which were cured for 1, 7 and 28 days and test results are shown in Figure 3. Analyzing Figure 3, lime, cement and fly ash stabilization improve unconfined

compressive strength (UCS) of clay soil. For lime and cement stabilization as curing period increases the strength gain increases significantly owing to long-term pozzolanic reactions that improve soil engineering properties (Prunsinski and Bhattacharja, 1999). However, for fly ash stabilization with increasing curing period strength improvement is limited. In addition, increasing curing temperature enhances the strength of specimens due to the fact that increasing curing temperature improves bond strength of soil. Generally, with increasing curing period elevated temperatures are more efficient on strength gain of stabilized clay specimens. It is clear that cement is more successful to enhance the strength in comparison with the other additives. It is possible to explain this situation in two ways. The first of these explanations, during cement hydration calcium hydroxide crystals that are pure, fine and highly reactive come out. Thus, the crystals provide the calcium which is necessary for ion exchange. The second of these explanations, cement reaction products form a rigid network similar to that formed in concrete. If the soil is stabilized with cement in small quantities, the network can be small and isolated whereas using cement in more quantities for stabilization can make the reaction products form large interconnected networks (Prunsinski and Bhattacharja, 1999). In Figure 1b when soil is exposed to 40°C curing temperature, 9% cement stabilized specimen has the greatest strength. However, for lower curing temperatures this explanation is not valid at all times. In Figure 1c, mostly increasing fly ash content improves the strength.



**Figure 3.** Unconfined compressive strength (UCS) of 0, 3, 6, 9% a) lime, b) cement and c) fly ash stabilized specimens which were subjected to 8, 20 and 40°C curing temperature for 1, 7 and 28-day curing period



## **Conclusions**

A series of laboratory tests were performed to investigate influence of curing temperature on strength of lime, cement and fly ash stabilized clay specimens. Based on test results, following conclusions can be drawn from this study:

1. Utilizing of lime, cement and fly ash for stabilization enhances the strength of clay soil. However, lime and cement stabilization is more beneficial to increase the strength of clay whereas fly ash is less effective for 3-9% content.
2. Increasing curing period mostly improves the strength of stabilized clay soil remarkably. Particularly, increase in strength is more apparent on cement stabilized clay.
3. Increasing curing temperature enhances the strength of soil. Elevated temperatures during curing period is more efficient to increase strength of cement stabilized clay in comparison with that of lime and fly ash stabilized clay.
4. When clay is stabilized with lime, generally speaking, stabilization with 6% lime content can be optimum solution in terms of strength. However, specimen stabilized with 9% lime exposed to 40°C curing temperature for 28-days had the greatest strength.
5. When clay is stabilized with cement, stabilization with 9% cement content is mostly the best solution in terms of strength.
6. When clay is stabilized with fly ash, mostly stabilization with 9% fly ash content can be better in terms of strength- 6% fly ash stabilized specimen which is exposed to 40°C curing temperature for 7-day curing period is an exception, it has the greatest strength in fly ash stabilized specimens. However, 3-9% fly ash content is relatively insufficient in terms of strength gain.
7. Based on test results of this investigation, during stabilization of shallow layers, higher temperatures and stabilizer contents are recommended. For this study, 9% cement content and 40°C temperature are the winners.

## **References**

- Anday, M.C. (1961). Accelerated Curing for Lime Stabilized Soil. In HRB Bulletin, 304, 1-13.
- Arabi, M., & Wild, S. (1986). Microstructural Development in Cured Soil-Lime Composites. *Journal of Materials Science*, 21, 497- 503.
- ASTM D698-07. 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction

- Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D854-14. 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D2166 / D2166M-16. 2016. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4318-10. 2010. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Baykal, G., Arman, A., & Ferrell, R. (1989). Accelerated curing of fly ash-lime soil mixtures. *Transportation Research Record*, 1219, 82-92.
- Bell, F.G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42(4), 223-237.
- Broderick, G.P., & Daniel, D.E. (1991). Stabilizing compacted clay against chemical attack. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(10), 1549-1567.
- Clare, K.E., & Pollard, A.E. (1954). The Effect Of Curing Temperature On the Compressive Strength Of Soil-Cement Mixtures. *Geotechnique*, 4(3), 97-106.
- Croft, J.B. (1964). The Processes Involved in the Lime Stabilization of Clay Soils. 2nd Australian Road Research Board Conference, Melbourne, 1964. Vol. 2, No. 2, p 1169-1203.
- George, S.Z., Ponniah, D.A., & Little, J.A. (1992). Effect of temperature on lime-soil stabilization. *Construction and Building Materials*, 6(4), 247-252.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., & Suddepong, A. (2010). Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. *Construction and Building Materials*, 24(10), 2011-2021.
- Ingles, O.G., & Metcalf, J.B. (1972). *Soil stabilization: principles and practise*, Butterworths, Sydney.
- Kassim, K.A., & Chern, K.K. (2004). Lime stabilized Malaysian cohesive soils. *Jurnal Kejuruteraan Awam*, 16(1), 13-23.
- Lambe, T.W. (1962). *Soil Stabilization*. In: Leonards GA (ed) Chap. 4 of *Foundation Engineering*, McGraw Hill, New York.

- Lorenzo GA, & Bergado DT. 2006. Fundamental characteristics of cement-admixed clay in deep mixing. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18(2), 161-174.
- Nasrizar, A.A., Muttharam, M., & Illamparuthi, K. (2010). Role of lime content on soil-lime reaction under thermal curing. Paper presented at Indian Geotechnical Conference–2010, GEOTrendz, 16-18 December 2010, p. 595-598.
- Prusinski, J.R., & Bhattacharja, S. (1999). Effectiveness of Portland cement and lime in stabilizing clay soils. *Transportation Research Record*, 1652(1), 215-227.
- Santos, F., Li, L., Li, Y., & Amini, F. (2011, May). Geotechnical properties of fly ash and soil mixtures for use in highway embankments. In *Proc. of the World of Coal Ash (WOCA) Conference*, Denver, USA (pp. 125-136).
- Sezer, A., İnan, G., Yılmaz, H.R., & Ramyar, K. (2006). Utilization of a very high lime fly ash for improvement of Izmir clay. *Building and environment*, 41(2), 150-155.
- Takhelmayum, G., Savitha, A. L., & Krishna, G. (2013). Laboratory study on soil stabilization using fly ash mixtures. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 2(1), 477-482.
- Türköz, M. (2006). Stabilization of swelling clays with lime additives and application to Eskişehir-Meselik clays. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 76–87. (in Turkish)
- Yılmaz, Y. (2015). Compaction and strength characteristics of fly ash and fiber amended clayey soil. *Engineering geology*, 188, 168-177.
- Zha, F., Liu, S., Du, Y., & Cui, K. (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash. *Natural hazards*, 47(3), 509-523.

# STANDARD COMPACTION BEHAVIOR OF WASTE PLASTIC STRIP-CLAY MIXTURES

İrem BOZYIĞIT\* & Eyyüb KARAKAN\*\* & Alper SEZER\*\*\*

\*Ege University, Faculty of Engineering, irem.kalipcilar@ege.edu.tr

\*\* Kilis 7 Aralık University, Faculty of Engineering and Architecture,  
eyyubkarakan@kilis.edu.tr

\*\*\* Ege University, Department of Civil Engineering, alper.sezer@ege.edu.tr

**Abstract:** An experimental study was carried out to investigate the standard compaction behavior of waste plastic strip with clay. Waste plastic strips at ten different contents by weight were mixed and subjected to standard proctor tests. The effect of waste plastic strip content (0.5% to 10%) and change in optimum water content with maximum dry density of the clay was investigated. The study reveals that addition of waste plastic strip in clay resulted in a significant increase in the maximum dry density and decrease the optimum water content. The benefit of reinforcement increased with an increase in waste plastic strip content. Addition of waste plastic strips beyond 2% does not remarkably improve the compaction properties. Standard compaction results showed that the optimum waste plastic strip ratio was 6%. The material can be used in base courses in construction of rural roads over clay soils, thereby leading to safe disposal of these waste materials in an environmentally friendly manner.

**Keywords:** Plastic waste strips, compaction behavior, Standard Proctor Test.

## Introduction

The water bottle is the greatest rising beverage industry in the world. According to the International Bottled Water Association (IBWA) sales of bottled water have increased by 500% over the last twenty years. In the world 1.5 million tons of plastic are used to bottle water every year. The general survey shows that nearly 30 million bottles are dumped as garbage every day. PET is reported as one of the most abundant plastics in solid urban waste [1]. Waste Recovery Program, WRAP (2005) indicates that the reduction of waste benefits the natural environment with indubitable economic advantages. Over the past decade, PET bottles have been reported to be over 10 million tons, an increase of more than 10% per year. However, the amount of recycled or returned bottles is very limited.

The construction of civil structures such as highways, buildings, bridges, etc. are carried out by force on soft soils, which have many engineering problems related to sufficient bearing capacity and allowable settlement.

The usual methods of soil stabilization include: mechanical stabilization, hydraulic stabilization, chemical stabilization, and stabilization by inclusion and confinement [2]. Among the various options for improvement the existing weak soil, reinforcing the soils with some elements is one of the successful alternatives. The concept of reinforced soil was first given by Vidal of France in 1966 [3]. According to the laboratory tests results, many investigators established that there was an increase in strength and deformation properties of soils [4], [5].

The main purpose of this investigation is determination of the compaction behavior of waste plastic strip-clay mixtures, for utilization of these wastes in civil engineering applications.

### Materials

In this study, plastic bottles wastes made of PET, in the form of chips are used as a reinforcing material. The size of used plastic chips is 8 mm long and 0.2 mm thickness width of 4 mm constantly with rectangular cross section. The physical properties of plastic waste fiber used as reinforcement are shown in Table 1.

Table 1. Type and Properties of Plastic Waste Chips

<b>Properties</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>
Bulk Density	kg/m <sup>3</sup>	285
PH		6
Moisture	%	0.5
Flake size	mm	8
PVC Contaminant	ppm	10
Polyolefin Contaminant	ppm	10
Residual other plastic	ppm	10

The bentonite used in this study was obtained from Esan Ltd. Istanbul, Turkey. It contained a sand fraction nearly 0% and clay content of about 100%. It had a specific gravity of 2.70, liquid limit of 149.39% and plastic limit 65.45%. The maximum dry density (MDD) and optimum water content ( $\omega_{opt}$ ) obtained from a standard compaction test for the bentonite were 1.087 g/cm<sup>3</sup> and 50.83%, respectively. Waste Plastic bottle strips (PET) was obtained from recycling plastic plant Ekopet Ltd. Figure 1 shows the waste plastic (PET). The sizes of waste plastic pieces passing from 4.75 mm sieve and retained on 1 mm sieve.

A series of laboratory tests on pure and reinforced clay soil specimens by randomly distributed waste plastic strips were carried out. In the first stage, the water plastic bottles were obtained into length of 8 mm with

constant value of width and thickness, 4 and 0.2 mm, respectively. The content of plastic chips in reinforced soil is defined as ratio of the weight of the plastic chips to the weight of the oven-dried soil sample. In the next stage, the plastic chips were added with soil at ten different percentages 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 and 10%.

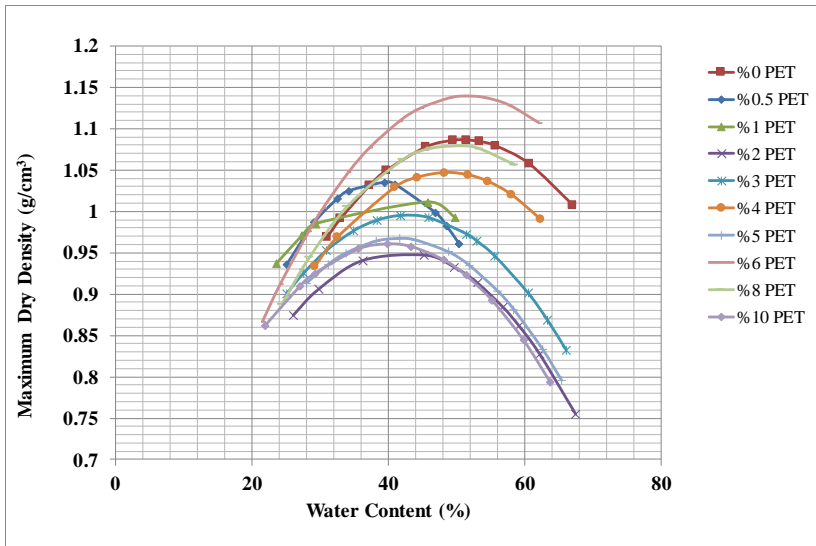


Figure 1. The waste plastic (PET) strips

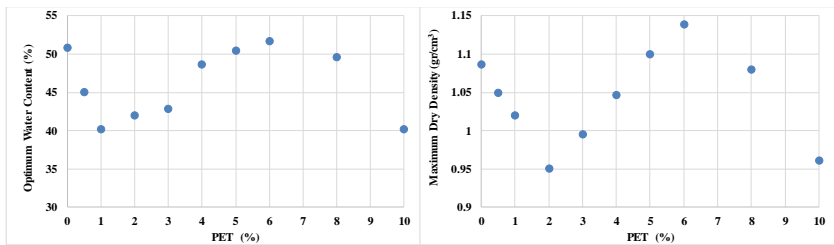
## Results and Discussion

To determine the maximum dry unit weight and optimum moisture content of pure bentonite and bentonite/plastic bottle strip mixtures, standard Proctor compaction tests were performed. The standard Proctor compaction test was performed in accordance with ASTM D 698–12 standard. Water was added to bentonite-fibers mixture with different water contents, and then, its weight was taken to determine the density.

This investigation shows that by application of Standard Proctor tests, MDD values firstly decreases as the waste plastic strip content (PET) increases till 1%, then further increases in PET content until %6 increase the MDD values, after this value additional waste plastic (PET) decreases the MDD values. So, the optimum value of waste plastic content is 6% for the MDD. Figure 2 shows the standard compaction curves for bentonite with different percentage of waste plastic content (0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0 and 10). Figure 3a shows the optimum water content-PET and Figure 3b shows maximum dry density -PET for bentonite with different percentage of waste plastic contents.



**Figure 2.** Maximum dry density-water content relationships of bentonite with 0, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10% waste plastic strip content



**Figure 3.** a) Optimum water content-PET, b) Maximum dry density-PET relationships of bentonite with 0, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10% waste plastic strip content

## Conclusion

In this work, standard compaction test was conducted and the results of the tests have been presented and discussed above. On the basis of these results, it was understood that the MDD values first decreases after inclusion of waste plastic content till 1% and then increases after 6% of waste plastic contents—for each case. After this value, MDD continuously decreases. It indicates that 6% is the optimum waste plastic strip content.

## REFERENCES

[1] De Mello D, Pezzin S H and Amico S C (2009), “The effect of post-consumer PET particles on the performance of flexible polyurethane foams”, Journal of Royal Society of chemistry, Vol .28, pp. 702–708.

[2] Mu. Tianhong, “Soil stabilization with fly ash and fibers,” Master

Thesis, Southern Illinois University Carbondale, 2013.

[3] A. Laskar, S. Kumar Pal, “Effects of Waste Plastic Fibers on Compaction and Consolidation Behavior of Reinforced Soil,” *International Journal of Geotechnical Engineering (IJGE)*, vol. 18, pp. 1547–1558, 2013.

[4] D.H. Gray, H. Ohashi, “Mechanics of fiber reinforcement in sand,” *Journal of the Geotechnical Engineering*, vol. 109, pp. 335-353, 1983.

[5] B. Vijayasingam, G.Y. Heng, “The laboratory study of granular soils reinforced with randomly oriented distributed flexible fibers,” Major Research Project, University of Bristol, pp. 45, 2003.



# PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

Daniel HATUNGIMANA\*

\* *Burundi University, Engineering Sciences Faculty, Civil Engineering and Environmental department, hatungimana.daniel@gmail.com*

**Abstract:** Nowadays, as a result of the increase in world population, widespread urbanization and economic situation, the construction sector shows a significant growth especially in developing countries. Due to the accelerated urbanization in the major cities of these countries, depletion of natural resources and waste production become an important problem. Also, as a result of the accelerated urbanization process, old buildings whose service life has been completed are demolished to make new buildings. Therefore, the availability of storage space for construction waste has become a serious problem. Due to these large-scale demolitions, a large amount of concrete wastes are produced, causing serious environmental pollution, including disposal. In this study, the effects of recycled concrete aggregate (RCA) on the physical and mechanical properties of concrete were investigated. For this purpose, concrete mixtures, in which 0, 35, 70 and 100 vol % of crushed coarse limestone was replaced with RCA, were produced. The water/cement ratio of the mixtures was taken as 0.35, 0.50 and 0.65. The compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, water absorption, porosity, and chloride ion penetration tests were performed in accordance with related standards. Compared to the control concrete mixture, RCA-bearing concrete mixtures showed lower compressive strength, splitting strength, modulus of elasticity, higher water absorption rate, porosity, and chloride ion penetration values. However, the study showed that the replacement of RCA up to 35% do not affects considerably the concrete properties.

**Keywords:** Recycled concrete aggregate, physical properties, mechanical properties

## Introduction

Recycled concrete aggregate (RCA) obtained by crushing concrete wastes from construction and demolition wastes has recently attracted special interest in civil engineering works. The utilization of construction and demolition wastes in the production of concrete reduces the environmental damage of natural aggregate reserves consumption and their environmental impact, as well as minimizes the damage of these wastes to the environment (Çakır, 2014; McGinnis et al., 2017; Thomas et al., 2018). The major disadvantage of the RCA is the weak mortar layer attached on its surface. The weak mortar layer detracts many properties of the RCA, including its water absorption capacity, thus, limits the use of RCA or lowers its inclusion level in concrete mixtures (Tegguer, 2012; Yang and Lim, 2018). In addition, the presence of more than one interfacial transition

zone (ITZ) between aggregates and cement paste in recycled concrete aggregate, which is the weakest phase in concrete, is the most important weakness of RCA compared to natural aggregate. It is also known that the mechanical properties of concrete produced with RCA is related to the water/cement ratio, the cement amount, the aggregate quality, porosity as well as the aggregate-matrix interface bond of the original concrete (Yehia et al., 2015).

Compared to natural aggregate, RCA is a composite material composed by natural aggregate and old cement mortar. The weak and porous structure of the attached mortar on the surface of RCA is responsible of the high water absorption capacity (Verian et al., 2018; Kurda et al., 2019), the high Los Angeles wear loss (Pedro et al., 2017; Omary et al., 2016, Soares et al., 2014; Younis et al, 2013) and the low density (Beltran et al., 2014; Gesoğlu et al., 2015; Kapoor et al., 2016) compared to normal aggregate. Many researchers have stated that the magnitude of the decrease in strength of the concrete containing RCA is dependent on the type and compressive strength of the original concrete, the replacement rate, the water / cement ratio and the moisture content of the aggregate (Dimitriou et al., 2018).

In this study, the effect of RCA incorporation rate on the properties of hardened concrete properties such as compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, water absorption, porosity, and chloride ion penetration was investigated.

## **2. Experimental Study**

### **2.1 Materials**

In this study, an ordinary Portland cement CEM I 42.5R type cement conforming to EN 197-1 standard with specific gravity of 3.15 and a Blaine specific surface of 3677 cm<sup>2</sup>/g was used as a binder.

In this study, aggregates obtained from two different origins were used in the concrete mixes production. The first of these aggregates is crushed limestone aggregate. The second type of aggregate was obtained from the crushing of concrete waste obtained from the demolition waste of the old building and brought to the laboratory. The collected concrete wastes were first divided into small pieces by the help of sledge hammers, and then they were brought to the size of aggregate with the help of a laboratory type jaw crusher. Aggregates coming out of the crusher were sieved from 25 mm, 15 mm and 5 mm sieves, and were stored to be used in the production of concrete mixes. The crushed recycled aggregates were also remixed in order to fulfill the same gradation with coarse limestone aggregate. Some physical properties of limestone and recycled coarse aggregates are given in Table 1.

Table 1: Physical properties of limestone aggregate and recycled concrete aggregate

Properties	Limestone aggregate			RCA	
	0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm	5-15 mm	15-25 mm
Compacted bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	1889	1573	1548	1290	1249
Loose bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	1673	1480	1466	1172	1106
Dry specific gravity	2.632	2.654	2.693	2.27	2.24
Saturated surface dry specific gravity	2.656	2.676	2.711	2.42	2.39
Water absorption (%)	0.92	0.3	0.23	6.73	6.97
Los Angeles coefficient (LA)	25.6			33.32	
Flakiness index (%)	20.15			15.80	

## 2.2 Concrete mix design, casting and curing

In this study, three water/cement ratios (0.35, 0.50 and 0.65) and four RCA incorporation rates (0%, 35%, 70% and 100%) were used to produce twelve concrete mixes. Due to the lower specific gravity of RCA compared to that of natural aggregate (NA), the replacement of the aggregates was made in terms of volume. The target slump was  $150 \pm 20$  mm. It should be noted that due to the higher water absorption capacity of RCA compared to natural aggregate; for mixes containing RCA, an amount of water required for RCA aggregate to be in saturated surface dry state (SSD) was added during mixing process to avoid the decrease of required mixing water as suggested by many researchers (Abreu et al., 2018; Ferreira et al. 2011; Fonseca et al., 2011). After casting, the specimens were left 24h at room temperature before they were demoulded. Then, all the specimens were immersed in water for 28 days until the day of the test. The details of mix composition are given in Table 2.

Table 2: Mix proportions of concrete (Kg/m<sup>3</sup>)

Mix code	Water	CEM I	SP	NA			RCA	
				0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm	5-15 mm	15-25 mm
35NA	202	577	2.3	663.1	456.1	448.8	-	-
50NA	201.9	403.7	2	812.8	455.9	448.6	-	-
65NA	201.6	310.1	1.5	893.1	455.2	448	-	-
35RCA35	201.5	575.7	2.4	661.6	296	291.6	136.1	130.5
50RCA35	201.1	402.1	2.3	809.5	295.4	291	135.8	130.2
65RCA35	200.5	308.5	1.8	888.4	294.6	290.2	135.5	129.9
35RCA70	200.6	573.0	2.9	658.5	136	134	271.0	259.8
50RCA70	199.9	399.9	2.7	805.0	135.6	133.5	270.2	259
65RCA70	199.7	307.3	2	884.8	135.4	133.4	269.9	258.7
35RCA100	199.3	569.3	3	654.3	-	-	384.7	368.7
50RCA100	199.2	398.4	2.6	802.1	-	-	384.5	368.6
65RCA100	198.2	304.9	2.4	877.9	-	-	382.5	366.7

\*CEM I: Portland cement 42.5R type, NA: limestone aggregate, RCA: Recycled concrete aggregate, SA: Super plasticizer

### 3. Results and Discussions

#### 3.1 Compressive strength

The effect of replacement level of coarse limestone by RCA on the compressive strength of concrete mixes is given in Table 3. In the table,  $f_{c28}$  represents the compressive strengths of 28 days whilst RC(%) refers to the relative compressive strength ratios of each concrete series compared to the control mixture. Each result in the table is the average of three samples. It can be seen that the compressive strength decreased with increasing the RCA incorporation level irrespective of the W/C ratio.

Table 3: Compressive strength results

Mix code	W/C ratio	RCA replacement level (%)	$f_{c28}$ , (MPa)	RC, (%)
35NA		0	54.8	100
35RCA35	0.35	35	49.1	90
35RCA70		70	46.1	84
35RCA100		100	44.1	80
50NA		0	44.7	100
50RCA35	0.5	35	42.6	95
50RCA70		70	37.1	83
50RCA100		100	36.4	81
65NA		0	36.2	100
65RCA35	0.65	35	32.7	90
65RCA70		70	29.8	82
65RCA100		100	28.2	78

### 3.2 Splitting tensile strength

The test results of the splitting tensile strength for the concrete made with different RCA incorporation rate are given in Table 4. Like the compressive strength, the splitting tensile strength was adversely affected by the incorporation of RCA. As it can be seen from the Table 4, the higher the incorporation level the lower the tensile strength. The reduction in strength were in the range of 3-14%, 3-16% and 6-19% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.

Table 4: Splitting tensile strength results

Mix code	W/C ratio	RCA replacement level (%)	$f_{i28}$ , (MPa)	$R_t$ (%)
35NA		0	3.11	100
35RCA35	0.35	35	3.01	97
35RCA70		70	2.77	89
35RCA100		100	2.67	86
50NA		0	3.01	100
50RCA35	0.5	35	2.91	97
50RCA70		70	2.65	88
50RCA100		100	2.51	84
65NA		0	2.79	100
65RCA35	0.65	35	2.62	94
65RCA70		70	2.47	89
65RCA100		100	2.25	81

### 3.3 Modulus of Elasticity

The test results of the modulus of elasticity for the concrete made with different RCA incorporation rate are given in Table 5. Like the compressive strength, the modulus of elasticity was adversely affected by the incorporation of RCA. As it can be seen from the Table 5, the higher the incorporation level the lower the modulus of elasticity. The reduction in modulus of elasticity were in the range of 7-24%, 4-22% and 6-24% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.

Table 5: Modulus of elasticity results

Mix code	W/C ratio	RCA replacement level (%)	E <sub>28</sub> , (GPa)	RE (%)
35NA		0	40.0	100
35RCA35	0.35	35	37.1	93
35RCA70		70	33.1	83
35RCA100		100	30.5	76
50NA		0	36.0	100
50RCA35	0.5	35	34.7	96
50RCA70		70	30.1	84
50RCA100		100	28.1	78
65NA		0	32.8	100
65RCA35	0.65	35	30.8	94
65RCA70		70	26.8	82
65RCA100		100	24.8	76

### 3.4 Water absorption and porosity

The test results of the water absorption rate and porosity for the RCA-bearing concrete mixes are given in Table 6. As it can be seen from the Table 6, the higher the incorporation level the higher the water absorption rate and porosity. The increase in water absorption rate was approximately in the range of 5-28%, 3-24% and 6-33% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively. The same tendency was also observed in porosity results where the increase was approximately in the range of 5-18%, 3-17% and 4-22% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively. As reported by Çakır et al. (2014), this increase is due to the adhered mortar on the surface of RCA particules which absorbs excess amount of water and also the porous structure of the adhered mortar and the RCA itself.

Table 6: Water absorption and porosity results

Mix code	W/C ratio	RCA replacement level (%)	Water absorption rate (%)	Porosity (%)
35NA		0	4.42	10.02
35RCA35	0.35	35	4.64	10.48
35RCA70		70	4.92	10.83
35RCA100		100	5.64	11.85
50NA		0	4.99	11.27
50RCA35	0.5	35	5.12	11.57
50RCA70		70	5.83	12.69
50RCA100		100	6.18	13.18
65NA		0	5.22	11.72
65RCA35	0.65	35	5.55	12.25
65RCA70		70	6.47	14.09
65RCA100		100	6.95	14.29

### 3.5 Chloride ion penetration

The test results of the chloride ion penetration for the RCA-bearing concrete mixes are given in Table 7. As it can be seen from the Table 7, the higher the incorporation level the higher the chloride ion penetration values. The chloride ion penetration values of the RCA-bearing concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65 were ranged between 1820-3989 coulombs, 2655-4622 coulombs and 3036-5061 coulombs, respectively. From the results of the chloride ion penetration test, it can be seen that the use of RCA instead of natural aggregate increased the charge passed through the concrete by two fold for 100% replacement ratio irrespective of W/C ratio.



Table 7: Chloride ion penetration results

Mix code	W/C ratio	RCA replacement level (%)	Charge passed (Coulombs)	Chloride ion penetrability
35NA		0	1820	Low
35RCA35	0.35	35	2245	Moderate
35RCA70		70	2967	Moderate
35RCA100		100	3989	Moderate
50NA		0	2655	Moderate
50RCA35	0.5	35	2721	Moderate
50RCA70		70	4340	High
50RCA100		100	4622	High
65NA		0	3036	Moderate
65RCA35	0.65	35	3268	Moderate
65RCA70		70	4424	High
65RCA100		100	5061	High

#### 4. Conclusions

In this study, the effects of recycled concrete aggregate incorporation level on the physical and mechanical properties of concrete are presented. Based on the above results, the following conclusions can be drawn:

- The compressive strength decreased with increasing the RCA incorporation level irrespective of the W/C ratio.
- The reduction in tensile strength were in the range of 3-14%, 3-16% and 6-19% for RCA-bearing concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.
- The reduction in modulus of elasticity were in the range of 7-24%, 4-22% and 6-24% for RCA-bearing concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.
- The increase in water absorption rate was approximately in the range of 5-28%, 3-24% and 6-33% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.
- The increase in porosity was approximately in the range of 5-18%, 3-17% and 4-22% for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.

- The use of RCA instead of natural aggregate increased the charge passed through the concrete by two fold for 100% replacement ratio irrespective of W/C ratio.

## References

- Abreu, V., Evangelista, L. and de Brito, J., 2018, The effect of multi-recycling on the mechanical performance of coarse recycled aggregates concrete, *Construction and Building Materials*, 188: 480-489.
- Beltrán, M.G., Barbudo, A., Agrela, F., Galvin, A.P. and Jimenez, J.R., 2014, Effect of cement addition on the properties of recycled concretes to reach control concretes strengths, *Journal of Cleaner Production*, 79: 124-133.
- Çakır, O., 2014, Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with mineral additives, *Construction and Building Materials*, 68: 17-25.
- Dimitriou, G., Savva, P. and Petrou, M.F., 2018, Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 158: 228-235.
- EN 197-1, Cement – Part1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, European Standard, Brussels; 2010.
- Ferreira, L., de Brito, J., Barra, M., 2011, Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties, *Magazine of Concrete Research*, 63: 617-627.
- Fonseca, N., de Brito, J., Evangelista, L., 2011, The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste, *Cement and Concrete Composites*, 33: 637-643.
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Öznur, H., Taha, I. and Taner, M., 2015, Failure characteristics of self-compacting concretes made with recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, 98: 334-344.
- Kapoor, K., Singh, S.P. and Singh, B., 2016. Durability of self-compacting concrete made with recycled concrete aggregates and mineral admixtures, *Construction and Building Materials*, 128: 67-76.
- Kurda, R., de Brito, J., Silvestre, J.D., 2019, Water absorption and electrical resistivity of concrete with recycled concrete aggregates and fly ash, *Cement and Concrete Composites*, 95: 169-182.

- McGinnis, M. J., Mark Davis, M., de la Rosa, A., Weldon, B. D., Kurama, Y. C., 2017, Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, 154: 258-269.
- Omary, S., Ghorbel, E. and Wardeh, G., 2016, Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties, *Construction and Building Materials*, 108: 163-174.
- Pedro, D., de Brito, J. and Evangelista, L., 2017, Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties, *Construction and Building Materials*, 154: 294-309.
- Pedro, D., de Brito, J. and Evangelista, L., 2017, Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties, *Construction and Building Materials*, 154: 294-309pp.
- Soares, D., De, B.J., Ferreira, J. and Pacheco, J., 2014, Use of coarse recycled aggregates from precast concrete rejects: mechanical and durability performance, *Construction and Building Materials*, 71: 263-272.
- Tegguer, A., 2012, Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach, *Construction and Building Materials*, 27:113-116.
- Thomas, J., Thaickavil, N.N. and Wilson, P.M., 2018, Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates, *Journal of Building Engineering*, 19: 349-365.
- Verian, K. P., Ashraf, W. and Cao, Y., 2018, Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production, *Resources, Conservation & Recycling* 133: 30-49.
- Yang, S. and Lim, Y., 2018, Mechanical strength and drying shrinkage properties of RCA concretes produced from old railway concrete sleepers using by a modified EMV method. *Construction and Building Materials*, 185: 499-507.
- Yehia, S., Helal, K., Abusharkh, A., Zaher, A. and Istaitiyeh, H., 2015, Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9 (2): 219-239.
- Younis, K.H. and Pilakoutas, K., 2013, Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 49: 688-701.

# FREEZE-THAW AND IMPACT RESISTANCE OF CONCRETE CONTAINING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

Daniel HATUNGIMANA\* & Şemsi YAZICI\*\*

\*Burundi University, Engineering Sciences Faculty, Civil Engineering and Environmental department, hatungimana.daniel@gmail.com

\*\*Ege University, Engineering Faculty, Civil Engineering department, semsiyazici@gmail.com

**Abstract:** In this study, recycled concrete with 0%, 35%, 70% and 100% recycled concrete aggregate (RCA) replacement rate was prepared in order to study the frost and impact resistances. The water/cement ratio of the mixtures was taken as 0.35, 0.50 and 0.65. The prepared specimens were subjected to rapid freeze-thaw test to measure the mass loss and strength loss to evaluate their freeze-thaw resistance. Impact tests were also carried out to evaluate the impact resistance of recycled concrete samples. The impact tests were performed in accordance with the test set-up proposed in ACI Committee 544. The test results showed that the freeze-thaw resistance of the recycled concrete decreased with the increase in water/cement ratio and also with the increase in recycled concrete aggregate replacement rate. However, in terms of mass loss, concrete mixtures are not significantly affected by freeze-thaw cycles whereas the strength loss up to 30% was observed as the RCA replacement rate and water/cement ratio increased. The test results also showed that the impact resistance decreased as the RCA replacement ratio and the water/cement ratio increased.

**Keywords:** Freeze-thaw resistance, impact resistance, recycled concrete aggregate

## 1. Introduction

With the acceleration of Urban Renewal Program, in large cities of Turkey, finding landfills for construction wastes has become a considerable difficulty. Due to the large scale demolitions, large amounts of wastes are produced causing serious environmental pollution, including the disposal problem. In addition, it has been reported that approximately 900 million tons of construction and demolitions wastes are produced annually in the European Union and represents around 25-30% of total waste generated (Bravo et al., 2015; Sadati et al., 2016; Yap et al., 2018). Furthermore, more than 3 billion tons of construction and demolition wastes were generated in 2016 by 40 countries worldwide (Akhtar and Sarmah, 2018; Hu et al., 2019). Therefore, there is a big necessity to take special measures in order to deal with the wastes generated by the construction industry. For that reason the possibility of the use of recycled concrete aggregates (RCA) from the construction industry in concrete production is of increasing importance in order to reduce the negative environmental impact associated with the construction wastes.

On the other hand, due to the fact that among the ingredients of a concrete mixture (cement, coarse and fine aggregate, water and admixtures) aggregate takes up about 70% of concrete's volume, it can be easily understood that the concrete industry consumes a huge amount of natural aggregate and can create big environmental problems. For this reason, the use of RCA in concrete production may reduce the depletion and the scarcity of natural aggregate reserves and also may reduce the disposal problem of concrete wastes.

The major disadvantage of the RCA is the weak mortar layer adhered on its surface. The weak mortar layer detracts many properties of the RCA, including its water absorption capacity, thus, limits the use of RCA or lowers its inclusion level in concrete mixtures (Tegguer, 2012; Yang and Lim, 2018). This higher absorption capacity may be detrimental to some properties of RCA-bearing concrete such as the fresh properties which can affect the mechanical and durability properties of RCA-bearing concrete (Padmini et al., 2009; Behera et al., 2014). In addition, the presence of more than one interfacial transition zone (ITZ) between aggregates and cement paste in RCA, which is the weakest phase in concrete, is the most important weakness of RCA compared to natural aggregate. It is also known that the mechanical properties of concrete produced with RCA is related to the water/cement ratio, the cement amount, the aggregate quality, porosity as well as the aggregate-matrix interface bond of the original concrete (Yehia et al., 2015).

Concrete structures are continually exposed to weathering action, chemical and biological attack throughout its service life which may increase maintenance and repair costs. Freeze-thaw action which is the major cause of concrete deterioration in cold regions must be taken into consideration while designing concrete structures (Liu et al., 2011; Medina et al., 2013).

The objective of this study was to analyze the effects of the replacement level of coarse limestone aggregate with recycled concrete aggregate on the durability of concrete exposed to freeze-thaw cycles and impact load.

## **2. Experimental Study**

### **2.1 Materials**

In this study, an ordinary Portland cement CEM I 42.5R type cement conforming to EN 197-1 standard with specific gravity of 3.15 and a Blaine specific surface of 3677 cm<sup>2</sup>/g was used as a binder. The chemical composition, some physical and mechanical properties of Portland cement obtained from its manufacturer are given in Table 1.

Table 1: Chemical, physical and mechanical properties of cement

Chemical properties		Mechanical and physical properties		
Oxide	(%)	Properties	Cement	
SiO <sub>2</sub>	19.52	<b>Compressive strength (MPa)</b>	2 day	24.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.39		7 day	37.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.48		28 day	47.4
CaO	62.5	Specific gravity		3.15
MgO	1.09	Blaine Specific Surface (cm <sup>2</sup> /g)		3677
Na <sub>2</sub> O	0.27	<b>Fineness</b>	Residual of 0.090 mm sieve (%)	1.1
K <sub>2</sub> O	0.8		Residual of 0.032 mm sieve (%)	23.4
SO <sub>3</sub>	3.41			
LOI	1.42			
Insoluble Residue	0.63			

In this study, aggregates obtained from two different origins were used in the concrete mixes production. The first of these aggregates is crushed limestone aggregate. The second type of aggregate was obtained from the crushing of concrete waste obtained from the demolition waste of the old building and brought to the laboratory. The collected concrete wastes were first divided into small pieces by the help of sledge hammers, and then they were brought to the size of aggregate with the help of a laboratory type jaw crusher. Aggregates coming out of the crusher were sieved from 25 mm, 15 mm and 5 mm sieves, and were stored to be used in the production of concrete mixes. The crushed recycled aggregates were also remixed in order to fulfill the same gradation with coarse limestone aggregate. Some physical properties of limestone and recycled coarse aggregates are given in Table 2.

Table 2: Physical properties of limestone aggregate and recycled concrete aggregate

Properties	Limestone aggregate			RCA	
	0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm	5-15 mm	15-25 mm
Compacted bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	1889	1573	1548	1290	1249
Loose bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	1673	1480	1466	1172	1106
Dry specific gravity	2.632	2.654	2.693	2.27	2.24
Saturated surface dry	2.656	2.676	2.711	2.42	2.39
Water absorption (%)	0.92	0.3	0.23	6.73	6.97
Los Angeles coefficient (LA)	25.6			33.32	
Flakiness index (%)	20.15			15.80	

## 2.2 Concrete mix design, casting and curing

In this study, three water/cement ratios (0.35, 0.50 and 0.65) and four RCA incorporation rates (0%, 35%, 70% and 100%) were used to produce twelve concrete mixes. Due to the lower specific gravity of RCA compared to that of natural aggregate (NA), the replacement of the aggregates was made in terms of volume. The target slump was  $150 \pm 20$  mm. It should be noted that due to the higher water absorption capacity of RCA compared to natural aggregate; for mixes containing RCA, an amount of water required for RCA aggregate to be in saturated surface dry state (SSD) was added during mixing process to avoid the decrease of required mixing water as suggested by many researchers (Abreu et al., 2018; Ferreira et al. 2011; Fonseca et al., 2011). After casting, the specimens were left 24h at room temperature before they were demoulded. Then, all the specimens were immersed in water for 28 days until the day of the test. The details of mix composition are given in Table 3.

Table 3: Mix proportions of concrete (Kg/m<sup>3</sup>)

Mixcode	Water	CEM I	SP	NA			RCA	
				0-5mm	5-15mm	15-25mm	5-15mm	15-25mm
35NA	202	577	2.3	663.1	456.1	448.8	-	-
50NA	201.9	403.7	2	812.8	455.9	448.6	-	-
65NA	201.6	310.1	1.5	893.1	455.2	448	-	-
35RCA35	201.5	575.7	2.4	661.6	296	291.6	136.1	130.5
50RCA35	201.1	402.1	2.3	809.5	295.4	291	135.8	130.2
65RCA35	200.5	308.5	1.8	888.4	294.6	290.2	135.5	129.9
35RCA70	200.6	573.0	2.9	658.5	136	134	271.0	259.8
50RCA70	199.9	399.9	2.7	805.0	135.6	133.5	270.2	259
65RCA70	199.7	307.3	2	884.8	135.4	133.4	269.9	258.7
35RCA100	199.3	569.3	3	654.3	-	-	384.7	368.7
50RCA100	199.2	398.4	2.6	802.1	-	-	384.5	368.6
65RCA100	198.2	304.9	2.4	877.9	-	-	382.5	366.7

\*CEM I: Portlandcement 42.5R type, NA: limestone aggregate, RCA: Recycled concrete aggregate, SA: Super plasticizer

### 3. Results and Discussions

#### 3.1 Impact resistance

The test results for the concrete made with different RCA incorporation rate subjected to impact load are presented in Figure 1 and Figure 2. Like the compressive strength, the impact resistance was adversely affected by the incorporation of RCA. As it can be seen from the Figure 1 and Figure 2 the higher the incorporation level the lower the impact resistance. The number of impact causing fracture of RCA-bearing concrete mix were in the range of 10-21, 8-19 and 5-14 for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.

The presence of residual mortar on the surface of RCA, the presence of more than one inter transition zone(ITZ) and the porous and weak structure of the adhered mortar compared to conventionnel aggregate is the principales causes of the lower impact resistance of the RCA-bearing concrete mixes compared to concrete containing natural.



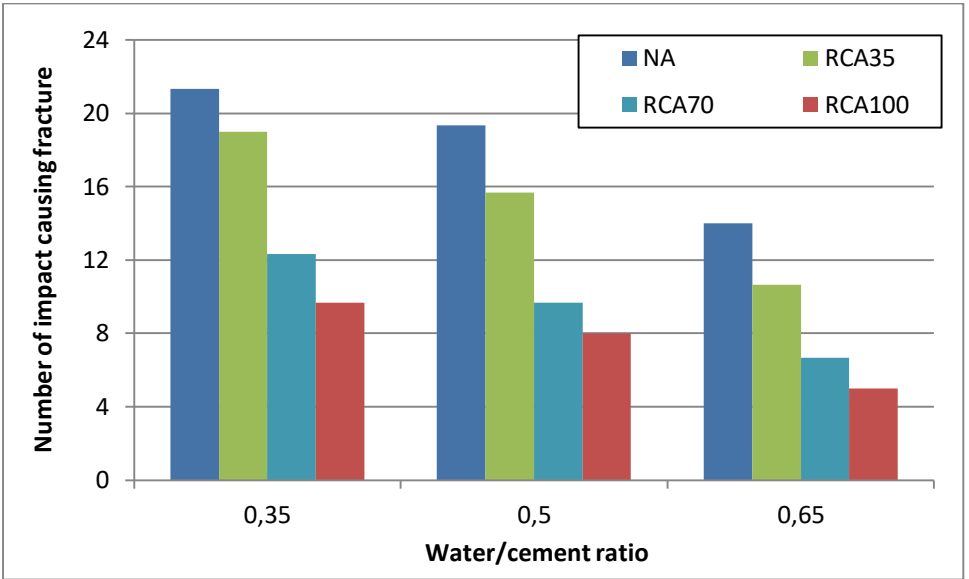


Figure 1: Effect of w/c ratio on the fracture resistance of the concrete mixes

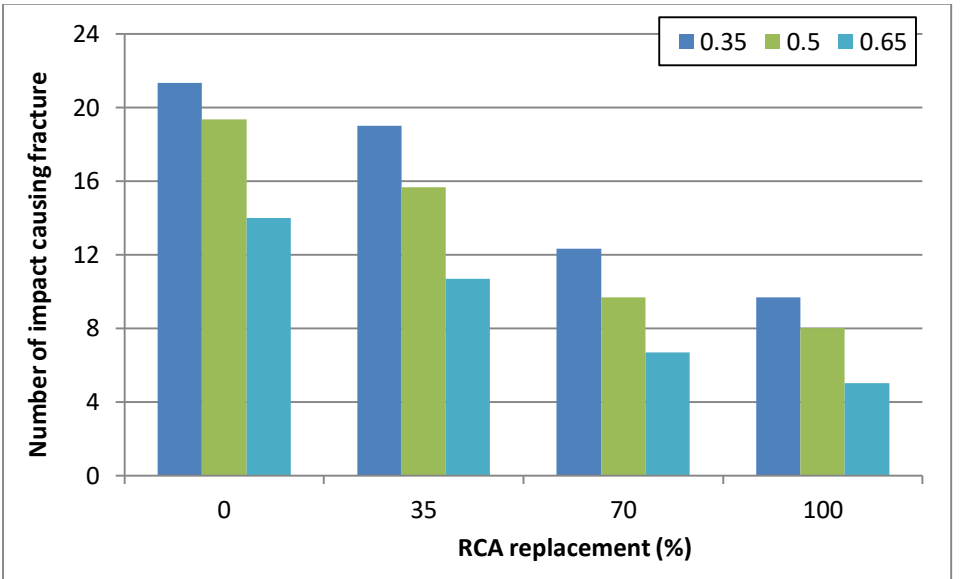


Figure 2: Effect of RCA replacement level on the fracture resistance of the concrete mixes

### 3.2 Frost resistance

The test results for the concrete made with different RCA incorporation rate subjected to freezing and thawing cycles are presented in Figure 3 and Figure 4.

From the Figure 3, it can be observed that the frost resistance decreased as the W/C ratio and the RCA replacement level increased. The reason that the use of coarse RCA reduces the freeze-thaw resistance of concrete mixes is explained by the lower mechanical and permeability properties of RCA compared to natural aggregate. In general, it can be said that in terms of mass loss, concrete mixtures are not significantly affected by the freeze-thaw cycle up to 300 cycles. However, although there was no significant reduction in mass loss, significant reductions in compressive strength were observed, as shown in Figure 4.

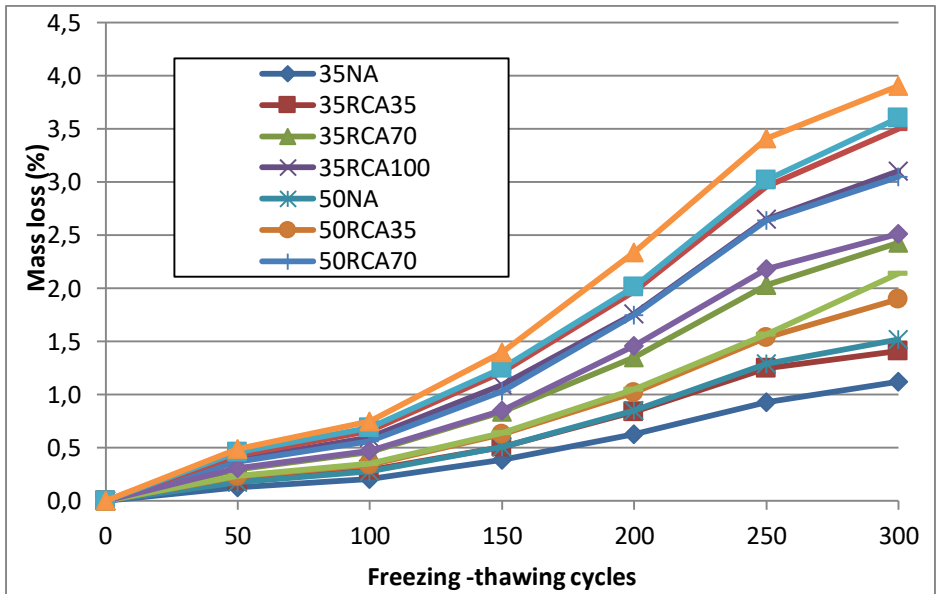


Figure 3: Mass loss of concrete mixes during freeze-thaw cycles

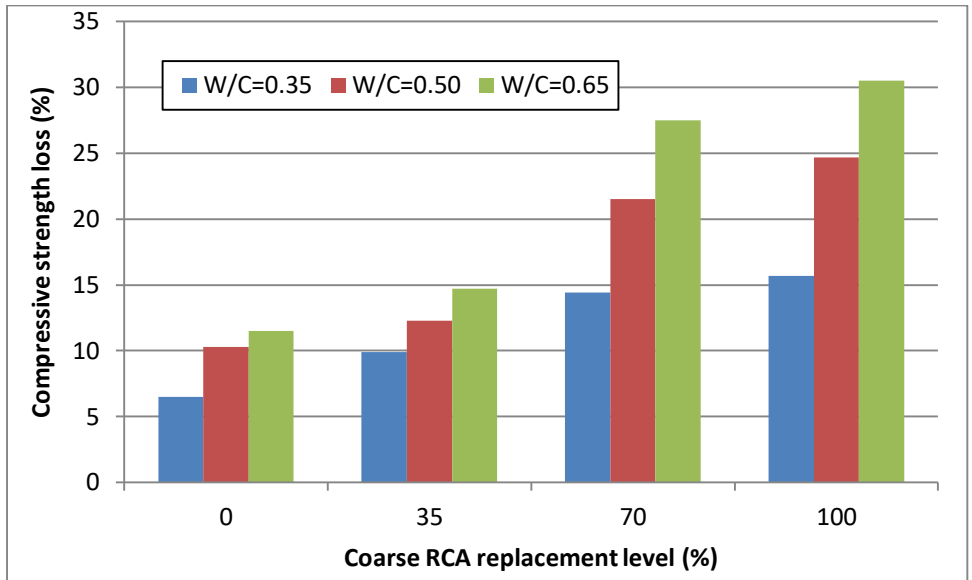


Figure 4: Strength loss of concrete mixes after 300 freeze-thaw cycles

#### 4. Conclusions

In this study, the effects of recycled concrete aggregate incorporation level on the impact and frost resistances of concrete are presented. Based on the above results, the following conclusions can be drawn:

- Like the compressive strength, the impact resistance was adversely affected by the incorporation of RCA.
- The number of impact causing fracture of RCA-bearing concrete mix were in the range of 10-21, 8-19 and 5-14 for concrete mixes containing W/C ratio of 0.35, 0.50 and 0.65, respectively.
- The frost resistance decreased as the W/C ratio and the RCA replacement level increased.
- Concrete mixtures are not significantly affected by the freeze-thaw cycle up to 300 cycles in terms of mass loss.
- However, although there was no significant reduction in mass loss, significant reductions in compressive strength were observed after 300 freeze-thaw cycles.

## References

- Akhtar, A. and Sarmah, A.K., 2018, Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective, *Journal of Cleaner Production*, 186: 262-281.
- Behera, M., et al., 2014, Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete -A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review, *Construction and building materials*, 68: 501-516.
- Bravo, M., de Brito, J., Pontes, J., Evangelista, L., 2015, Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants, *Journal of Cleaner Production*, 99: 59-74.
- EN 197-1, Cement – Part1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, European Standard, Brussels; 2010.
- Hu, K., Chen, Y., Naz, F., Zeng, C., Cao, S. 2019, Separation studies of concrete and brick from construction and demolition waste, *Waste Management*, 85: 396-404.
- Liu, L., Ye, G., Schlangen, E., Chen, H., Qian, Z., Sun, W., and van Breugel, K., 2011, Modeling of the internal damage of saturated cement paste due to ice crystallization pressure during freezing, *Cement and Concrete Composites*, 33, 562-571.
- Medina, C., de Rojas, M.I.S. and Frías, M., 2013, Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate, *Journal of Cleaner Production*, 40: 151-160.
- Padmini, A., et al., 2009, Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and building materials*, 23(2): 829-836.
- Sadati, S., Arezoumandi, M., Khayat, K.H., Volz, J.S., 2016, Shear performance of reinforced concrete beams incorporating recycled concrete aggregate and high volume fly ash, *Journal of Cleaner Production*, 115: 284-293.
- Tegger, A., 2012, Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach, *Construction and Building Materials*, 27:113-116.
- Yang, S. and Lim, Y., 2018, Mechanical strength and drying shrinkage properties of RCA concretes produced from old railway concrete sleepers using by a modified EMV method. *Construction and Building Materials*, 185: 499-507.
- Yap, S.P., Chen, P.Z.C., Goh, Y., Ibrahim, H.A., Mo, K., Yuen, C.W., 2018, Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate

and recycled concrete aggregates, *Journal of Cleaner Production*, 181: 155-165.

Yehia, S., Helal, K., Abusharkh, A., Zaher, A. and Istaitiyeh, H., 2015, Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9 (2): 219-239.

# TUĞLA YIĞMA BİR YAPININ ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN FARKLI YAKLAŞIMLARLA BELİRLENMESİ

**Yunus GÜNER\* & Ayhan NUHOĞLU\*\* & Duygu ÖZTÜRK\*\*\*  
Emre ERCAN\*\*\*\***

*\*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
yunus.guner@adu.edu.tr*

*\*\*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ayhan.nuhoglu@ege.edu.tr*

*\*\*\*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, duygu.ozturk@ege.edu.tr*

*\*\*\*\*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, emre.ercan@ege.edu.tr*

**Özet:** Özellikle geçmiş dönemlerde uygulanan bir inşa yöntemi olan yığma yapılar, yıllar içerisinde deprem, meteorolojik olaylar gibi birçok dış etkiye maruz kalması sonucunda bünyesinde çeşitli yapısal hasarlar ve malzeme bozulmaları meydana gelmektedir. Ayrıca, yapı malzemesi olarak sıklıkla kullanılan harç, tuğla gibi malzemeler, yapının inşa edildiği bölgenin koşullarına ve usta becerisine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu nedenlerle, yığma yapı malzemeleri için tek tip mekanik parametre değerleri tanımlamak mümkün olmamakta ve her yapı için ayrı bir çalışma yapılma zorunluluğu doğmaktadır. Mekanik parametre değerleri, özellikle yığma yapıların analizleri için oluşturulan bilgisayar modellerinde gerçekçi sonuçlar alınabilmesi adına oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu parametrelerden biri olan elastisite modülü ise doğrudan yapı dayanımıyla ilişkili olması nedeniyle olabildiğince gerçeğe yakın olarak tespit edilmesi önemlidir. Bu çalışmada, laboratuvarında harman tuğlası ve horasan harcı kullanılarak, ardışık kemerlere oturan tonozlu bir yığma yapı inşa edilmiştir. Bu yapıya ait elastisite modülünün belirlenmesi amacıyla yapıyı oluşturan harç ve tuğla malzemeleri ve bu iki malzeme kullanılarak inşa edilen duvar modelleri üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda numunelere ait gerilme-birim deformasyon eğrileri ve maksimum basınç dayanımları elde edilmiş ve bu veriler literatürlerde önerilen ampirik formüller ile birlikte kullanılarak, yığma yapı modeline ait elastisite modülü için bir değişim aralığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yığma yapılar, deneysel ve teorik elastisite modülünün belirlenmesi.

## 1. Giriş

Eski dönem yapıların inşasında sıklıkla taş/tuğla ve aralarında bağlayıcı olarak da harç malzemesi kullanılmıştır. Taş malzemesi doğadan temin edilmesi sebebiyle nispeten daha standart malzeme özelliklerine sahip iken tuğla malzemesi bir üretim süreci sonucu elde edilebilmektedir. İmalatının bir standarda dayanmaması ve genellikle usta bilgisiyyle yapılan tuğla

malzemeleri, basınç dayanımları ve elastisite modülleri açısından farklılıklar göstermektedir. Benzer şekilde harçlarda kullanılan malzeme çeşitleri ve karışım oranları da dayanımı oldukça etkilemektedir. Bu nedenlerle, yapı malzemeleri üzerinde deneysel bir çalışma yapılmadan gerçek dayanımların tespit edilmesi oldukça güçtür.

Mevcut yığma bir yapının elastisite modülü (E) ve inşasında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla mevcut yapı ve/veya yapı malzemeleri üzerinde daha önceden yapılmış farklı deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Mevcut tarihi yığma bir yapının farklı duvarlarında Flat-Jack Deneyi uygulanarak, duvarlara ait basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Deney verileri farklı yönetmeliklerde önerilen ampirik formüller ile birlikte kullanılarak yapının farklı bölgelerinde bulunan farklı duvarların elastisite modülü değerleri belirlenmiştir (Kuran ve Dabanlı, 2016). Deneysel olarak yapılan çalışmada, 6 farklı kireç harcı ve tek tip harman tuğlası kullanılarak, laboratuvarında duvar parçaları ve model duvarlar üretilmiştir. Duvar parçaları üzerinde tek eksenli basınç deneyi, model duvarlar üzerinde ise Flat-Jack Deneyi uygulanarak kompozit duvar yapılarına ait elastisite modülü değerleri deneysel çalışma ile belirlenmiştir. Deney sonuçları kullanılarak malzeme parametrelerine bağlı teorik elastisite modülünün hesaplanabilmesi için yeni bir formülasyon önerilmiş ve elde edilen teorik ve deneysel elastisite modülü değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Ulukaya ve Yüzer, 2017). Laboratuvar koşullarında oluşturulan yığma kemer ve dolu duvar numunelerinde kullanılan yapı malzemelerinin mekanik parametrelerini belirlemek amacıyla malzemeler üzerinde eğilme ve basınç deneyleri, üç ve beş sıradan oluşan duvar numunelerinde ise sadece basınç deneyleri yapılmıştır (A.H. Karimi, M.S. Karimi, Kheyroddin ve Shahkarami, 2016). Türkiye'deki mevcut on farklı yığma yapıdan alınan numuneler üzerinde eksenel basınç, diyagonal çekme ve kayma deneyleri yapılmıştır. Deneysel veriler, DBYBHY'deki (2007) değerler ile karşılaştırılmış ve yeni malzeme özellikleri önerilmiştir. Son olarak ise, seçilen binaların farklı malzeme özellikleri ve farklı deprem bölgeleri için DBYBHY (2007) ve RBTEIE'de (2013) belirtilen yöntemlerle detaylı değerlendirmelerini yapılmıştır (Çobanoğlu, 2014). Yığma yapılarıdaki farklı derz kalınlıklarının ve kullanılan taş boyutlarının yapısal davranışa etkileri incelenmiştir. Derz kalınlığı, taş örme tekniği gibi değişkenlere bağlı olarak yapının izotrop ve anizotrop malzeme tanımıyla analizleri gerçekleştirilmiştir (Demirkan, 2014). Deneysel olarak beton briket yığma prizmalar üzerinde eksenel basınç deneyi, teorik olarak ise Sonlu Elamanlarla idealize edilen nümerik model üzerinde doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve prizmaların basınç dayanımları hakkında bağıntılar önerilmiştir (E. Köksal, H.O. Köksal ve Yıldırım, 2004).

Bu çalışmada, laboratuvarında yığma türünde inşa edilen yapının elastisite modülü değerinin yapıya herhangi bir zarar vermeden farklı yaklaşımlarla belirlenebilmesi amacıyla inşasında kullanılan iki temel malzeme olan tuğla ve harç üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, harç ve tuğla malzemeleri kullanılarak üç ve dört sıra tuğladan oluşan iki farklı boyutta duvar numuneleri oluşturulmuştur. Harç, tuğla ve duvar numuneleri üzerinde tek eksenli basınç deneyi uygulanarak, numunelere ait maksimum basınç dayanım değerleri ve gerilme-birim deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Eğrilerin eğimi kullanılarak da malzemelere ait elastisite modülü değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları ve elastisite modülü değerleri doğrudan ya da yönetmeliklerde veya önceki çalışmalarda önerilen yöntemler ile birlikte kullanılarak, mevcut yapıya temsil eden elastisite modülü için değişim aralığı tespit edilmiştir.

## 2. Yapı Modeli

Harman tuğlası ve horasan harcı kullanılarak, laboratuvarında yığma taşıyıcı sisteme sahip bir yapı inşa edilmiştir. Yapının ana taşıyıcı sistemi, uzun doğrultudaki sağ ve sol dış köşelerindeki beden duvarlarından ve orta kısımlardaki mermer sütun başlıkları üzerine oturan çift taraflı kemer yapılarından oluşmaktadır. Sistemin üzeri ise tek doğrultulu tonoz yapısı ile kapatılmıştır (Şekil 1). Yapının plandaki boyutları 391x196 cm, toplam yüksekliği ise 234 cm'dir. Temel hariç yaklaşık ağırlığı da 5460 kg'dır (Güner, 2018).



Şekil 1. Yığma yapı modeli.



### 3. Deneysel Çalışma

İki farklı boyuttaki duvar numuneleri ve yapıyı oluşturan harç ve tuğla malzemeleri üzerinde ayrı ayrı tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Deney verileri kullanılarak numunelere ait maksimum basınç dayanım değerleri ve gerilme-birim deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Eğrilerin lineer kabul edilen bölgesindeki eğimleri kullanılarak ise malzemelerin elastisite modülü değerleri yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin ağırlıkları hacimlerine bölünerek, birim hacim ağırlık değerleri de tespit edilmiştir.

#### 3.1. Harç numuneleri

Yapının inşasında kullanılan harç malzemesinden bir kenarı 15 cm olan küp numune örneklerinden altı adet alınmıştır. Bu numunelerin ilk üçü yapı ile eşdeğer koşullarda bekletilirken diğerleri ise 28 gün su içerisinde bekletilmiştir. Süreç sonunda tüm numuneler basınç testine tabi tutularak gerilme-birim deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Şekil 2’de harç numunelerinde yükleme sonunda meydana gelen hasar biçimleri görülmektedir. Tablo 1 ve 2’de ise numunelerin bekletilme koşullarına göre deney sonuçları ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 2. Tek eksenli basınç deneyi sonucunda harç numunelerinde meydana gelen hasar biçimleri.

**Tablo 1.** Yapı ile eşdeğer koşullarda bekleyen harç numunelerinin deney sonuçları.

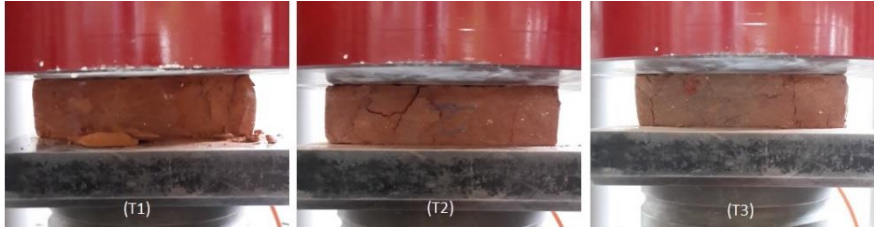
Numune	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)
YG1	2.23	1.98	618
YG2	1.95	1.87	413
YG3	1.63	1.92	434
<b>Ortalama</b>	<b>1.94</b>	<b>1.92</b>	<b>488</b>

**Tablo 2.** Su içerisinde bekleyen harç numunelerinin deney sonuçları.

Numune	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)
YG4	1.63	1.91	356
YG5	1.73	1.90	380
YG6	2.11	1.94	560
<b>Ortalama</b>	<b>1.82</b>	<b>1.92</b>	<b>432</b>

### 3.2. Tuğla numuneleri

Boyutları yaklaşık olarak 5x8x17.5 cm olan üç adet harman tuğlası üzerinde benzer çalışmalar yapılmış ve malzemeye ait ortalama maksimum basınç dayanımı, elastisite modülü ve birim hacim ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3’de tuğla numuneleri üzerinde yüklemeye bağlı hasar oluşum şekilleri, Tablo 3’de ise deney sonuçları görülmektedir.



**Şekil 3.** Tek eksenli basınç deneyi sonucunda tuğla numunelerinde oluşan hasar biçimleri.

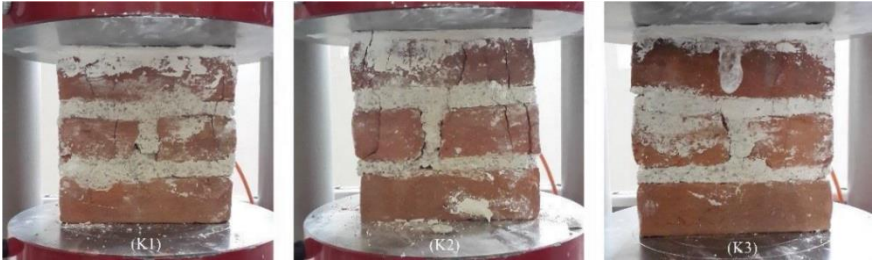
**Tablo 3.** Tuğla malzemesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları.

Numune	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)
T1	5.39	1.78	97
T2	5.94	1.66	148
T3	7.24	1.78	104
<b>Ortalama</b>	<b>6.19</b>	<b>1.74</b>	<b>116</b>

### 3.3. Duvar numuneleri

Yığma yapıların homojen olmayan bir taşıyıcı sisteme sahip olması nedeniyle tek bir malzemeye ait parametrelerle tüm yığma sistemin ifade

edilmesi her zaman doğru olmamaktadır. Bu heterojen yapıyı doğrudan temsil edebilmek adına iki farklı boyutta duvar numuneleri oluşturulmuştur. Küçük duvar numunesinin boyutları (3 sıra tuğla duvar) 8x17x17.5 cm (derinlik-boy-en), büyük duvar numunesinin boyutları ise (4 sıra tuğla duvar) 8x24x27 cm'dir (derinlik-boy-en). Mevcut yapıda olduğu gibi duvar numunelerinde de tuğlalar arasında kullanılan harcın kalınlığı yaklaşık olarak 1.5 cm'dir. Basınç dayanım testi öncesinde yükün tüm modele eş dağılabilmesi için duvar numunelerinin üst yüzeylerine yaklaşık 0.8 cm kalınlığında alçı başlık yapılmıştır. Şekil 4 ve 5'de oluşturulan duvar numunelerinde basınç yüklemesi sonucunda meydana gelen hasar biçimleri görülmektedir. Deney sonucunda elde edilen veriler ise Tablo 4 ve 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Tek eksenli basınç deneyi sonucunda 3 sıra tuğla duvar numunelerinde oluşan çatlaklar.



Şekil 5. Tek eksenli basınç deneyi sonucunda 4 sıra tuğla duvar numunelerinde oluşan çatlaklar.

Tablo 4. Üç sıra tuğla duvar numunelerinin deney sonuçları (K: Küçük).

Numune	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)
K1	3.42	1.83	604
K2	3.18	1.85	268
K3	3.70	1.89	664
<b>Ortalama</b>	<b>3.43</b>	<b>1.86</b>	<b>512</b>

**Tablo 5.** Dört sıra tuğla duvar numunelerinin deney sonuçları (B: Büyük).

Numune	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)
B1	3.10	1.78	356
B2	2.72	1.88	203
B3	3.50	1.73	454
<b>Ortalama</b>	<b>3.11</b>	<b>1.80</b>	<b>338</b>

#### 4. Farklı Yaklaşımlarla Elastisite Modülünün Tespiti

Mevcut tarihi yapılarda dış görünüşe zarar verebilecek veya kalıcı hasarlara neden olabilecek çalışmalardan zorunlu haller dışında kaçınılmaktadır. Bu durum kullanılan malzemenin ve dolayısıyla yapının dayanımını tahmin etmeyi oldukça zorlaştırmaktadır. Daha önce yapılmış çalışmalardan veya uygulanabilen kısmi malzeme deneyleri ile yapıya ait mekanik parametre değerleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Dayanım değerini doğrudan temsil eden bir parametre olması nedeniyle elastisite modülünün ayrı bir önemi bulunmaktadır. Bu çalışmada, farklı hesap yöntemleri deney sonuçlarıyla birleştirilerek mevcut yığma yapı modeli için bir elastisite modülü değişim aralığı belirlenmiştir. Tablo 6'da formüllerde kullanılan ortalama deney sonuçları verilmiştir.

**Tablo 6.** Ortalama deney sonuçları (MPa).

	Tuğla	Harç	Duvar (K)	Duvar (B)
<b>Maksimum Gerilme</b>	6.19	1.88	3.43	3.11
<b>Elastisite Modülü</b>	116	460	512	338

#### 4.1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) madde 11.2.13'de taşıyıcı duvarların elastisite modülünün belirlenmesinde deneysel çalışma veya ampirik formül (Denklem 1) kullanılabileceği belirtilmektedir. Denklem 1'deki yığma duvar karakteristik basınç dayanım ( $f_k$ ) değerinin hesabı için ise madde 11.2.7'de belirtilen iki yöntem bulunmaktadır. İlki duvar numuneleri üzerinde yapılacak deneyler ile bulunması, ikincisi ise kâgir birim ve harç üzerinde yapılacak ayrı deneylerden elde edilen basınç dayanımlarının kullanılmasıdır. İkinci yöntemin kullanılması durumunda  $f_k$  değeri tablodan (TBDY Tablo 11.2) belirlenebilmektedir.

$$E = 750 \times f_k \quad (1)$$

3 ve 4 sıra tuğla duvar numuneleri üzerinde uygulanan basınç deneyi sonucunda gerilme-birim deformasyon eğrilerinin eğimi kullanılarak, mevcut yığma yapının elastisite modülü değeri sırasıyla 512 ve 338 MPa olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra deneyde elde edilen maksimum

basınç dayanım değerleri (Tablo 6)  $f_k$  olarak kabul edilerek, Denklem 1'de yerine konulduğunda:

$$E = 750 \times f_k = 750 \times 3.43 = 2572.5 \text{ MPa (3 sıra tuğla duvar)}$$

$$E = 750 \times f_k = 750 \times 3.11 = 2332.5 \text{ MPa (4 sıra tuğla duvar)}$$

Değerleri elde edilmektedir. Bu yöntem dışında malzeme özellikleri kullanılarak elastisite modülü değeri hesaplanmak istenildiğinde TBDY verilen Tablo 11.1 ve Tablo 11.2 kullanılarak  $f_k$ 'ın olması gereken değer aralığı 1.97 – 2.5 MPa olarak belirlenmiştir. Her iki verinin ortalaması olarak 2.24 MPa,  $f_k$  değeri olarak kabul edilirse malzeme parametrelerine dayalı yeni bir elastisite modülü değeri daha elde edilir.

$$E = 750 \times f_k = 750 \times 2.24 = 1680 \text{ MPa}$$

#### 4.2. Eurocode 6 (2005)

Eurocode 6 yığma yapılarda, basınç dayanımı için Denklem 2'deki, elastisite modülünün hesabı için ise Denklem 3'deki formülü önermiştir. Denklem 2'de  $\alpha$  ve  $\beta$  sembolleri yığma duvarın örgü biçimine, K ise morfolojik yapısına bağlı sabitlerdir.  $f_u$  ve  $f_m$  ise sırasıyla tuğla ve harcın basınç dayanımlarını temsil etmektedir. Yapının elastisite modülünün tahmin edilebilmesi için iki farklı yöntemden yararlanılabilmektedir. İlk yöntem yapı malzemelerine ait deney sonuçları kullanılarak, yığma yapının  $f_k$  değerinin belirlenmesi daha sonra ise elastisite modülünün tespit edilmesidir. İkinci yöntemde ise  $f_k$  değeri, doğrudan duvar numuneleri üzerinde yapılan basınç deneyi sonuçları kabul edilerek elastisite modülünün belirlenmesidir.

$$f_k = K \times f_u^\alpha \times f_m^\beta \quad (2)$$

$$E = 1000 \times f_k \quad (3)$$

Malzeme parametreleri üzerinden  $f_k$  değeri elde edilirken; mevcut yığma yapıda düzgün bir örgü biçimi olması nedeniyle de  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri sırasıyla 0.7 ve 0.3 olarak, K değeri ise Eurocode'da belirtilen tablodan 0.55 olarak alınmıştır. Veriler önce Denklem 2'de yerine konularak  $f_k$  değeri belirlenmiştir. Daha sonra ise  $f_k$  değeri, Denklem 3'de yerine konularak malzeme verilerine bağlı elastisite modülü değeri elde edilmiştir.

$$f_k = K \times f_u^\alpha \times f_m^\beta = 0.55 \times 6.19^{0.7} \times 1.88^{0.3} = 2.38 \text{ MPa}$$

$$E = 1000 \times f_k = 1000 \times 2.38 = 2380 \text{ MPa}$$

İkinci yöntemde ise 3 sıra ve 4 sıra tuğla duvar numunelerinin maksimum basınç dayanım değerleri,  $f_k$  olarak kabul edilerek Denklem 3'de yerine yazılırsa iki farklı elastisite modülü değeri daha elde edilir.

$$E = 1000 \times f_k = 1000 \times 3.43 = 3430 \text{ MPa (3 sıra tuğla duvar)}$$

$$E = 1000 \times f_k = 1000 \times 3.11 = 3110 \text{ MPa (4 sıra tuğla duvar)}$$

#### 4.3. Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu (2017)

Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzuna (2017) göre elastisite modülünün belirlenmesinde, basınç ölçümleri yeterli ise; gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğiminden elastisite modülünü belirleme yönteminin kullanılabileceğini söylemektedir. Ayrıca aynı kılavuzda “Kireç Harçlı Tuğla Yığma Duvar” için elastisite modülü değişim aralığı (Tablo 6.1) 1800 – 2400 MPa olarak verilmiştir.

#### 4.4. Lourenço vd. (2001) Tarafından Önerilen Denklem

Lourenço, Vasconcelos ve Ramos (2001) tarafından yığma yapılarda yapılan bir çalışmada, yapıyı oluşturan malzemelerin özelliklerinden ve uygulanış kalınlıklarından yararlanılarak tüm sistemin dayanımını tahmin edebileceğimiz bir denklem önerilmiştir (Denklem 4).  $t_u$ ,  $t_m$ ,  $E_u$  ve  $E_m$  sırasıyla tuğla ve harç malzemesinin kalınlarını ve elastisite modüllerini temsil etmektedir. Tablo 6'da verilen malzeme değerleri dışında harç ve tuğla kalınlıkları sırasıyla 1.5 ve 5 cm'dir.  $\rho$  ise tuğla ve harç arasındaki aderansa bağlı değişken bir sabittir ve genellikle 0.5 olarak alınabilir.

$$E = \frac{t_m + t_u}{\frac{t_m}{E_m} + \frac{t_u}{E_u}} \times \rho = \frac{1.5 + 5}{\frac{1.5}{460} + \frac{5}{116}} \times 0.5 = 70 \text{ MPa} \quad (4)$$

#### 4.5. Drysdale vd. (1993) Tarafından Önerilen Denklem

Tuğla ve harcın özelliklerini kullanarak Drysdale, Hamid ve Baker (1993) tarafından yığma yapının elastisite modülünün belirlenebilmesi için bir denklem önerilmiştir (aktaran Ulukaya ve Yüzer, 2017). Denklem 5 için gerekli parametre değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bunun haricinde harç ve tuğla kalınlıkları sırasıyla 1.5 ve 5 cm'dir.

$$E = \frac{1}{\frac{t_u}{t_u + t_m} + \frac{1 - \frac{t_u}{t_u + t_m}}{E_u}} = \frac{1}{\frac{5}{\frac{5}{5+1.5}} + \frac{1 - \frac{5}{5+1.5}}{460}} = 140.2 \text{ MPa} \quad (5)$$

#### 4.6. Ulukaya ve Yüzer (2017) Tarafından Önerilen Denklem

Ulukaya ve Yüzer (2017) laboratuvar deneylerinden elde ettikleri verileri kullanarak, yapıyı oluşturan malzeme parametrelerine bağlı tüm yapıyı temsil edebilecek teorik elastisite modülü değeri için yeni bir matematiksel model önermişlerdir (Denklem 6).

$$E = \frac{0.11 \times E_m^{1.35} \times E_u}{1.84 \times E_m + E_u} = \frac{0.11 \times 460^{1.35} \times 116}{1.84 \times 460 + 116} = 52.1 \text{ MPa} \quad (6)$$

#### 5. Sonuçların Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Harman tuğlası ve horasan harcı kullanılarak inşa edilen yığma yapı modelinin (Şekil 1) elastisite modülü değerini belirlemek amacıyla yapı malzemeleri ve iki farklı boyuttaki tuğla duvar numuneleri üzerinde tek eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler doğrudan veya bir formülasyon ile birlikte kullanılarak, yapı modeli için bir elastisite modülü değişim aralığı tespit edilmiştir. Farklı yaklaşımlar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Tablo 7'de görülmektedir.

**Tablo 7.** Farklı yaklaşımlar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri.

#	Yöntem	Açıklama	E (MPa)
1	Yük-Deplasman Eğrisi	3 sıra tuğla duvar	512
2	Deprem Yönetmeliği (2018)	3 sıra tuğla duvar	2572.5
3	Eurocode 6 (2005)	3 sıra tuğla duvar	3430
4	Yük-Deplasman Eğrisi	4 sıra tuğla duvar	338
5	Deprem Yönetmeliği (2018)	4 sıra tuğla duvar	2332.5
6	Eurocode 6 (2005)	4 sıra tuğla duvar	3110
7	Deprem Yönetmeliği (2018)	Malzeme verileri kullanılarak	1680
8	Eurocode 6 (2005)	Malzeme verileri kullanılarak	2380
9	Lourenço vd. (2001)	Malzeme verileri kullanılarak	70
10	Drysdale vd. (1993)	Malzeme verileri kullanılarak	140.2
11	Ulukaya ve Yüzer (2017)	Malzeme verileri kullanılarak	52.1
12	Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu	-	1800 - 2400

Yığıma yapı modelinin elastisite modülünün belirlenmesi için uygulanan farklı yaklaşımlar ile oldukça geniş bir aralıkta değişen sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum göstermektedir ki, yapının gerçek dayanımının belirlenmesinde, kullanılan malzeme özelliklerinin doğru tespiti kadar elastisite modülünün tespit edilmesinde kullanılacak yaklaşımda önemli bir rolü olduğu görülmüştür. Özellikle basınç dayanım değerlerinin doğrudan ampirik formüllerle birlikte kullanılması, diğer yöntemlere göre daha büyük elastisite modülü değerlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yığıma yapılarda yapısal dayanım, genellikle kendisini oluşturan malzemelerin dayanımlarının arasında fakat düşük dayanıma sahip olan daha yakındır. Bu malzemede genellikle yığıma yapılarda harç malzemesi ile ilişkilendirilebilir. Nitekim bu çalışmada da tuğla ve harç malzemeleri kullanılarak oluşturulan duvar numunelerinin basınç dayanımları, tuğla ve harç numunelerinin basınç dayanımları arasında ve harç numunelerinin basınç dayanımlarına daha yakındır. Ayrıca duvar numunelerinin boyutlarının büyümesiyle basınç dayanımında %9'luk azalma görülmektedir. Bu durum elastisite modülü değerinde ise yaklaşık olarak %34'lük bir değişim olarak yansımıştır.

## **6. Sonuç**

Homojen olmayan bir taşıyıcı sisteme sahip olan yığıma yapılarda elastisite modülünün belirlenmesi oldukça zor bir işlemdir. Aynı yapı içerisinde bile farklı duvarlarda farklı örgü tipleri, harç kalınları, malzeme türleri görülebilmektedir. Bu durumların her birinin ayrı ayrı ele alınıp incelenerek yapının değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada görülmektedir ki uygulanan farklı yaklaşımlarla elde edilen elastisite modülü değerleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Elastisite modülünün yığıma yapılarda yapısal dayanımı tarif eden en önemli parametre olduğu düşünüldüğünde doğru sonuca ulaşmanın oldukça zor olduğu görülmektedir. Bu nedenle en güvenilir sonuçların elde edilebileceği doğrudan yapı üzerinde hasar vermeden veya onarılması kolay hasarlara neden olabilecek test yöntemlerinin uygulanmasıyla, basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin tespit edilmesinin çok daha sağlıklı olacağı net bir şekilde görülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 16-MÜH-101



## Kaynaklar

- Çobanoğlu, A. B. (2014). Investigation of Material Properties For The Turkish Masonry Buildings, Master Science Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University, 118 p.
- Demirkan, D. Ş. (2014). Yığma Yapılarda Derz Kalınlığı ve Duvar Örne Tekniğinin Yapıya Etkisinin Anizotrop Bir Model Üzerinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 63 s.
- EN 1996-1-1 (2005). Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Güner, Y. (2018). Mevcut Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karimi, A.H., Karimi, M.S., Kheyroddin, A. and Shahkarami, A.A. (2016). Experimental and numerical study on seismic behavior of an infilled masonry wall compared to an arched masonry wall, Structure, 8, 144-153 pp.
- Köksal, E., Köksal, H. O. ve Yıldırım, H. (2004). Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığma Prizmaların Sonlu Eleman Analizi, İMO Teknik Dergi, 3249-3265 ss.
- Kuran, F. ve Dabanlı, Ö. (2016). Tarihi Yığma Yapıların Mekanik Özelliklerinin Yerinde Yapılan Flat-Jack (Yassı Kriko) Deneyi İle Belirlenmesi, Restorasyon Yıllığı, 12, 180-187 ss.
- Lourenço, P. B., Vasconcelos, G. and Ramos, L. (2001). Assessment of the stability conditions of a Cistercian Cloister, ResearchGate, 10 p.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018, 18 Mart). Resmi Gazete (Sayı:30364 (Mükerrer). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>
- Ulukaya, S. ve Yüzer, N. (2017). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarın Elastisite Modülünün Deneysel ve Matematiksel Model İle Belirlenmesi, 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon.
- Vakıflar Genel Müdürlüğü (2017). Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Ankara. Erişim Adresi: [https://cdn.vgm.gov.tr/organizasyon/organizasyon12\\_030619/kilavuz.pdf](https://cdn.vgm.gov.tr/organizasyon/organizasyon12_030619/kilavuz.pdf)

# ENJEKSİYON SIVILARININ BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNDE KAYA TUZU ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Ahmet Şahin ZAIMOĞLU\* & Elif AYIK\*\* & Fatih ARTUK\*\*\***

*\*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, zaimoglu@atauni.edu.tr*

*\*\* Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,  
elif.ayik@erzurum.edu.tr*

*\*\*\* Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, fatih.artuk@atauni.edu.tr*

**Özet:** Zemin enjeksiyonu taşıma gücü, oturma, sıvılaşma ve geçirimsizlik gibi koşullar bakımından yetersiz olan zeminlerin iyileştirilmesi, kayalarda boşluk ya da çatlakların doldurulması, tünel vb. diğer inşaa işlerinde kazı desteği amacıyla yapılan zemin iyileştirme yöntemidir. Kaya ortam içerisindeki kazılar sonucunda deformasyonlar olmakta ve bu deformasyonları önlemek amacıyla destek elemanları (iksaa) yapılmaktadır. İşçiliği zor maliyeti yüksek olan tünel ve benzeri inşaatlarda kazı destek elemanları (püskürtme beton, enjeksiyonlu bulon uygulaması ve çelik hasır) inşaa edilirken; bazı jeolojik oluşumlar içerisinde kaya tuzu, jips, kalsit ardalımalı formasyonlar ile karşılaşıla bilinmektedir. Bu gibi durumlarda enjeksiyon sıvılarının bazı mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilenebileceği aşıkardır.

Çalışmada enjeksiyon sıvısının kaya tuzu tabakaları ile karşılaşması durumunda dayanımının nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı su/çimento oranlarında, farklı kum ve kaya tuzuna doyunluk yüzdeleri ile enjeksiyon karışımları hazırlanmış ve hazırlanan karışımların 28 gün kür süreleri sonunda basınç dayanımları belirlenmiştir. Deneyle için Taguchi Optimizasyon Yöntemi'ne göre 3 parametrelili, 4 seviyeli L16 deney tasarım tablosu kullanılmıştır. Taguchi Yöntemi'nde parametreler su/çimento, kum ve kaya tuzuna doyunluk olarak seçilmiş ve seviyeleri ise sırasıyla 0.8-1-1.2-1.4, %0-%25-%50-%100 ve %0-%25- %50-%100 olarak belirlenmiştir.

Yapılan deney sonuçları Taguchi Yöntemi'ne göre değerlendirilmiş ve su/çimento oranının 1. seviyesi (0.8), kum yüzdesinin 3.seviyesi (%50), tuzun 1.seviyesi (%0) kullanıldığında optimum değerin elde edileceği görülmüştür. Bu sonuçlardan tuzun 1. seviyesinin yani %0 kullanıldığında enjeksiyon sıvısının 28 günlük basınç dayanımının en iyi dayanımı verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enjeksiyon sıvısı, kaya tuzu, Taguchi Yöntemi, basınç dayanımı

## Giriş

Enjeksiyon tekniği günümüzde inşaat alanında yaygın olarak kullanılmakta ve kullanımı da giderek artmaktadır. Zemin enjeksiyonu çatlaklı kaya veya zeminlerde boşlukların doldurularak; taşıma gücünün artırılması, meydana gelebilecek deformasyonların azaltılması, yine zayıf zeminlerde sıvılaşmanın önlenmesi ve geçirimsizliğin azaltılması için uygulanan zemin iyileştirme yöntemidir.

Enjeksiyon harçları, arazi koşullarına ve harcın amacına göre birçok yolla birleştirilen birkaç bileşen içerir. (Costas, 2005). Günümüz de zemin enjeksiyonunda enjeksiyon malzemesi olarak; çimento, çimento ve kum, kil-çimento, cüruf çimentosu, alçı-çimento, epoksi-polimer, kil-asfalt, ufulanmış yakıt külü ve çok sayıda kolloid ve düşük viskoziteli kimyasallar dahil olmak üzere kullanılmıştır. (Hussin, Lim ve Zakaria, 2007)

Çimento esaslı harç, 1800'lerden bu yana ve daha öncesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimento bazlı harçlar geoteknik mühendisleri tarafından, zayıf zeminlerin veya kaya kütlelerinin güçlendirilmesi, boşlukların doldurulması ve yer altı toprak kütlelerinin su sızdırmazlığının iyileştirilmesi gibi temel problemlerin çözümünde kullanılmıştır. (Siong Kang, Cher Siang, Kah Pin , Min Lee ve Wah Peng, 2012)

Bu yöntemle istenilen enjeksiyon malzemeleri ile hazırlanan enjeksiyon harcının başlangıçta akışkan olup doldurulmak istenilen boşluklara basınçla nüfuz etmesi istenir. Başlangıçta akışkan olan enjeksiyon sıvısı zamanla sertleşerek arzu edilen özelliklere gelmesi sağlanır.

Zemin enjeksiyonu ile ilgili yapılan bir çalışmada, enjeksiyon harçlarında çimento ve suyun yanında silis dumanı, uçucu kül ve bentonitin etkileri araştırılmak istenmiş ve bu amaçla çeşitli oranlarda hazırlanan enjeksiyon karışımları farklı rölatif sıklığa sahip zemin örneklerine enjekte edilerek 7, 14 ve 28 günlük serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları Taguchi optimizasyon yöntemine göre değerlendirilmiş ve karışımlarda en etkili parametrenin silis dumanı olduğu ve silis dumanının miktarı arttıkça dayanımların arttığı, uçucu kül miktarı arttıkça dayanımların azaldığı ve dayanımlar üzerinde en az etkili parametrenin bentonit olduğu gözlenmiştir. (Tan, Güngörmüş ve Zaimoğlu, 2003)

Çelik Semet (2016 tarafından yapılan bir diğer çalışmada, portlant çimento ile birlikte farklı oranlarda kırmızı çamur kullanılarak hazırlanan enjeksiyon karışımları ve bu karışımlarla hazırlanmış zemin örneklerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda enjeksiyon karışımlarına %15 oranında kırmızı çamur

katkısının eklenmesiyle hem saf karışımların hemde enjeksiyonlu numunelerin dayanımlarında artış görülmüştür.

Başka bir çalışmada ise kum gradasyonunun çimentolu enjeksiyon harçlarının akış süresi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı dane boyutlarına sahip kumlar kullanılarak sabit çimento/kum oranında, farklı su/çimento oranlarına sahip karışımlar hazırlanarak bahsedilen deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; su/çimento oranının arttıkça akış süresinin azaldığı ancak aynı su/çimento oranlarında kum dane gradasyonu küçüldükçe akış süresinin artmış olduğu gözlenmiştir. Düşük su/çimento oranlarında kaba kum ile üretilen numunelerin dayanımlarının ince kum ile üretilenlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek su/çimento oranlarında, ince kumlar ile hazırlanan numunelerin, eğilme, basınç ve yarmada çekme dayanımlarının kaba kumlar ile üretilenlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. (Siong Kang vd., 2012)

Yine yapılan başka bir çalışmada ise nükleer atıkların bertarafı için oluşturulan bariyer sistemlerinde var olabilen mikro çatlaklara yapılan enjeksiyon uygulaması için farklı konsantrasyonlarda Ethanol-bentonit ve %4 derişik NaCl-bentonit bulamaçları hazırlanmıştır. Hazırlanan bulamaçlar da dane boyutu, geçirimsizlik, viskozite ve penetre edilebilirliğe bakılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; tuzun bentonitin şişme özelliğini baskıladığı söylenebilir. (Larry, Sandow, Makoto, ve Francis, 2013)

Çalışmanın amacı; tünel yapım işlerinde kayalarda var olan çatlakların doldurulması ve zemin ankraji gibi geoteknik uygulamalarda kaya ortamlarında bir kaya formasyonu olan kaya tuzu ile karşılaşılması durumunda, kaya tuzunun enjeksiyon karışımlarının basınç dayanımları üzerindeki etkilerini Taguchi Yöntemi ile araştırmak ve incelenen özelliklere göre optimum karışım oranını belirlemektir.

## **Materyal ve Metod**

Çalışmada enjeksiyon sıvıları çimento esaslı olup çimento, su, kum ve kaya tuzu ile hazırlanmıştır.

Deney programı Taguchi yöntemine göre yapılmış ve deney sonuçları yine bu yöntemle değerlendirilmiştir.

## Materyal

### Çimento

Çalışmada Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası'ndan alınan CEM I 42,5 R türü çimento kullanılmış ve fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1' de verilmiştir. İçeriği: [% 95 Portland çimento klinkeri + % 5,0 kalker] + % 5 alçıtaşıdır.

**Tablo 1.** Çimentonun Özellikleri

<b>Standart Kimyasal Özellikler</b>	
Kükürt Trioksit (SO <sub>3</sub> )	≤ % 4,0
Klorür (Cl-)	≤ % 0,1
Kızdırma kaybı	≤ % 5,0
Çözünmeyen kalıntı	≤ % 5,0
<b>Standart Fiziksel Özellikler</b>	
Priz Başlama Süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	≤ % 10 mm
2 Günlük Dayanım	≥ 20,0 MPa
28 Günlük Dayanım	≥ 42,5 MPa ≤ % 62,5 MPa
<b>Diğer Özellikler</b>	
Özgül Yüzeysel (Blaine)	3400 – 3900 cm <sup>2</sup> /gr
Yoğunluk	3,00 - 3,15 gr / cm <sup>3</sup>

### Karışım Suyu

Enjeksiyon sıvılarında karışım suyu olarak Atatürk Üniversitesi'nden temin edilen çeşme suyu kullanılmıştır.

### Kum

Deneylerde Erzurum Horasan kum ocağından elde edilen dere kumu kullanılmıştır. Doğal halde temin edilen kum öncelikle 105 C° sıcaklıkta etüvde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra farklı elek çaplarına sahip eleklerden elenmiştir.

Kumun bazı özelliklerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ile elde edilen özellikler Tablo 2' de verilmektedir.

**Tablo 2.** Kullanılan kuma ait özellikler

Fiziksel Özellikleri	Değer	Fiziksel Özellikleri	Değer
$\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,8	D30 (mm)	0,39
$\gamma_{kmax}$ (gr/cm <sup>3</sup> )		D60 (mm)	0,62
$\gamma_{kmin}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,43	Cu	1,589744
$e_{max}$ (%)	0,96	Cc	0,943548
$e_{min}$ (%)		Zemin Sınıfı	SP
D10 (mm)	0,26		
D15 (mm)	0,3		

### Kaya tuzu

Enjeksiyon sıvıları hazırlanırken kaya tuzu, karışım suyuna eklenerek istenilen doygunluklarda kullanılmıştır. Kullanılan tuzun çözünürlüğü ise laboratuvarında deneylerle 36/100 g/ml olarak bulunmuştur.

### Yöntem

#### Taguchi Yöntemi

Bir ürün ya da deneyin sonuçları üzerinde farklı parametrelerin etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Taguchi yöntemi ile parametre ve seviyelerinin fazla olmasından dolayı yapılması gerekli olan deney sayısı azaltılarak maliyet ve iş yükü azaltılmaktadır. Yöntemde deney tasarımı oluşturmak için çeşitli standart ortogonal dizinler kullanılmaktadır.

Oluşturulan tasarıma göre elde edilen deney sonuçları ile en iyi veya optimum durumun belirlenmesi, faktörlerin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ve optimum koşullar altındaki durumun tahmini yapılabilir. Bu yöntemde; standart analiz ve S/N (signal to noise) analizi olmak üzere iki şekilde analiz yapılmaktadır. (Zaimoğlu, 2003)

Çalışmada su/çimento oranı, kum miktarı (çimentonun kütlece yüzdesi), kaya tuzuna doygunluk parametre olarak seçilmiş, seçilen bu parametreler ve seviyeleri Tablo 3' de verilmiştir.

**Tablo 3.** Çalışma için seçilen parametre ve seviyeleri

		Seviyeler			
Parametre		1.	2.	3.	4.
F1	su/çimento	0.8	1	1.2	1.4

F2	kum yüzdesi	0	25	50	100
F3	tuz yüzdesi	0	25	50	100

Deneyler için seçilen, 3 parametrelili 4 seviyeli standart L16 ortogonal dizin Tablo 4’de gösterilmiştir. Seçilen ortogonal dizine göre enjeksiyon karışımları laboratuvarında hazırlanmış ve 38 mm çapa 76 mm yüksekliğe sahip numuneler üretilmiştir.

Karışım numuneleri 28 gün hava kürüne bırakıldıktan sonra serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Standart L16 ortogonal dizin

<b>L16 TAGUCHİ</b>			
Deney No	F1	F2	F3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	1
7	2	3	4
8	2	4	3
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	3
15	4	3	2
16	4	4	1

**Tablo 5.** Çalışmada kullanılan deney tasarımı

<b>L16 TAGUCHİ</b>			
Deney No	F1(s/c)	F2(kum yüzdesi)	F3(tuza doygunluk yüzdesi)
1	0,8	0	0
2	0,8	25	25
3	0,8	50	50
4	0,8	100	100
5	1	0	25
6	1	25	0
7	1	50	100
8	1	100	50
9	1,2	0	50
10	1,2	25	100
11	1,2	50	0
12	1,2	100	25
13	1,4	0	100
14	1,4	25	50
15	1,4	50	25
16	1,4	100	0

## Bulgular

Deney sonuçlarından elde edilen serbest basınç mukavemet ve S/N değerleri Tablo 6' da verilmiştir.

**Tablo 6.** Serbest basınç mukavemet ve S/N değerleri

Deney No	1. Değer (kN/m <sup>2</sup> )	2. Değer (kN/m <sup>2</sup> )	3. Değer (kN/m <sup>2</sup> )	S/N
1	8029	8945	8644	79
2	4749	6924	4152	72
3	11859	7308	8535	79
4	5091	4844	6028	76
5	3534	4490	2611	68
6	8467	5850	4528	73
7	3260	3471	3300	70



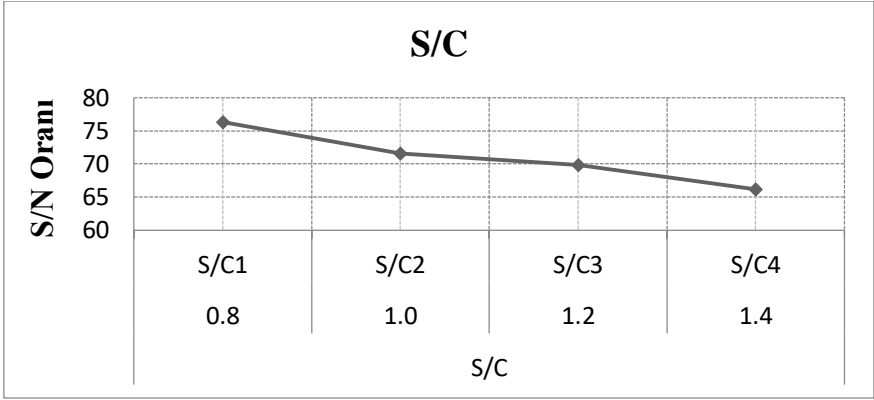
<b>8</b>	4758	5233	5239	74
<b>9</b>	1832	866	1678	64
<b>10</b>	1632	1769	1763	65
<b>11</b>	4789	4758	6553	76
<b>12</b>	7035	4621	4713	73
<b>13</b>	1100	1156	1121	61
<b>14</b>	2368	2309	1248	62
<b>15</b>	3421	5141	4537	73
<b>16</b>	3644	4486	2670	69
			Ortalama	71

L16 ortogonal dizin dikkate alınarak hesaplanan ortalama S/N etki değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

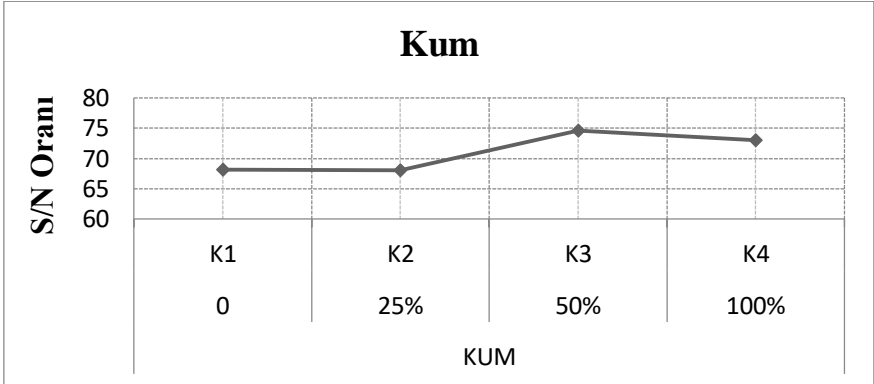
**Tablo 7.** Ortalama S/N etkileri

<b>S/C</b>	<b>KUM</b>	<b>TUZ</b>
76,305	68,114	74,151
71,552	68,083	71,825
69,803	74,614	69,856
66,145	72,996	67,974

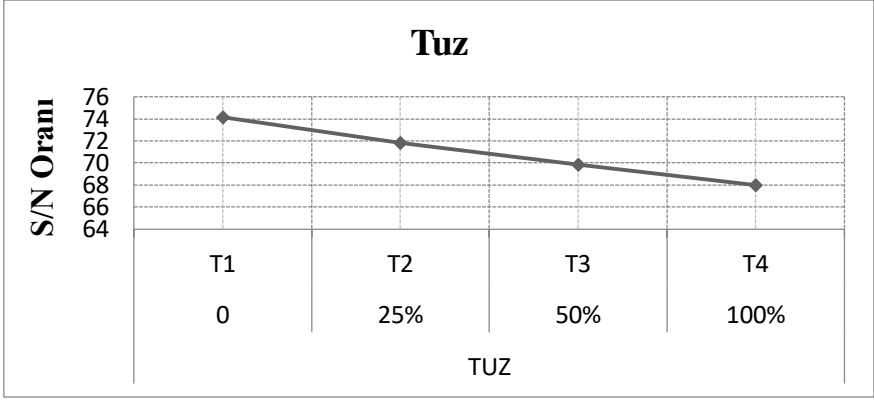
Tablo 7’de ilgili parametrenin en büyük değeri, o parametrenin serbest basıncı mukavemeti üzerindeki optimum seviyeyi göstermektedir. Bu değerler yardımıyla, parametre ve parametre seviyelerinin 28 günlük serbest basıncı dayanımı üzerindeki etkilerini belirlemek için çizilen grafikler Şekil 1., Şekil 2. ve Şekil 3.’ de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Parametrelerin Basınç mukavemeti üzerindeki etkileri (S/C, 28 gün)



**Şekil 2.** Parametrelerin Basınç mukavemeti üzerindeki etkileri (Kum, 28 gün)



**Şekil 3.** Parametrelerin Basınç mukavemeti üzerindeki etkileri (Tuz, 28 gün)

28 günlük serbest basınç mukavemeti için yapılan S/N analizleri, varyans analizleri ve çizilen grafiklerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Şekil 1. de görüleceği gibi S/C oranının artması ile 28 günlük basınç mukavemetinin azaldığı ve en iyi sonucu birinci seviyesinde verdiği anlaşılmaktadır. Bu sonuç literatürle benzerlik arz etmektedir.

Şekil 2. de verilen grafik incelendiğinde kum oranının üçüncü seviyesine kadar 28 günlük basınç mukavemeti artış eğiliminde olduğu bu seviyeden sonra azalmaya başladığı görülmektedir.

Benzer olarak Şekil 3. de görüleceği üzere tuzun doyma oranının artması 28 günlük basınç mukavemeti üzerinde olumsuz yönde etki etmiştir. En iyi 28 günlük basınç mukavemetinin tuzun hiç olmadığı birinci seviyesinde gerçekleştiği gözlenmektedir.

Bu sonuç tünel gibi önemli yapılarda yapılacak enjeksiyonlarda kaya tuzu formasyonunun olması durumunda dikkatli olunması gerektiğini ve enjeksiyon yapılmadan önce gerekli önlemlerin alınması hususunda uyarıcı niteliktedir. Aksi durumda kaya tuzu tabakasına yapılan enjeksiyonun basınç mukavemetinin olumsuz yönde etkileneceği ve enjeksiyon performansının beklenenden çok düşük seviyelerde gerçekleşeceği aşikardır.

### **Sonuç ve Öneriler**

Kaya tuzunun enjeksiyon sıvılarının serbest basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini belirlemek için laboratuvarında bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- S/C oranının artması ile 28 günlük basınç mukavemeti azalmıştır.

- Kum oranının üçüncü seviyesine kadar 28 günlük basınç mukavemeti artmıştır.
- Tuza doygunluk oranının artması 28 günlük basınç mukavemeti üzerinde olumsuz yönde etki etmiştir.
- En iyi 28 günlük basınç mukavemetinin tuzun hiç olmadığı birinci seviyesinde gerçekleştiği gözlenmiştir.
- Serbest basınç mukavemeti için S/C'nun birinci seviyesi, Kum oranının üçüncü seviyesi Tuz oranının birinci seviyesi optimum durumu vermektedir.

Kaya tuzunun enjeksiyon sıvısının mekanik ve reoljik özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla farklı parametreler ve seviyeleri kullanılarak daha kesin sonuçlara ulaşılabilir.

### **Kaynaklar**

- ASTM C305 - 14 Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency
- Celik (2016). An Experimental Investigation of Utilizing Waste Red Mud in Soil Grouting
- Costas (2005). Cement-Clay Grouts Modified with Acrylic Resin or Methyl Methacrylate Ester: Physical and Mechanical Properties,
- Hussin MW, Lim SK, Zakaria F. (2007). Engineering Properties of High Volume Slag Cement Grout in Tropical Climate.
- Larry, Sandow, Makoto, Francis (2013). Comparative Study on the Application of Ethanol-Bentonite Slurry and Salt-Bentonite Slurry as Effective Injection Materials for Barrier Sealing
- Siong, Cher, Kah, Min, Wah (2012). Effect of Different Sand Grading on Strength Properties of Cement Grout
- Tan, Güngörmüş, Zaimoğlu (2003). Bentonit, Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonlarının Daneli Zeminlerin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri
- Zaimoğlu (2003). Bentonit, Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Yöntemi ile İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum

# PMAT VE PMT DİZAYNLARINDA İNCE AGREGA OLARAK BAZALT VE KALKER KULLANIMI

**Muhammet Emre ASLAN\* & Havva İNAL\*\* & Dilay UNCU\*\*\***

\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
muhammetemreaslan@gmail.com*

\*\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, havva.inal35@gmail.com*

\*\*\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, dilay.yildirim@cbu.edu.tr*

**Özet:** Üstyapının ömrü boyunca oluşabilecek bozulmaları en aza indirmede en önemli faktörlerin başında Plentmiks Alt Temel (Pmat) ve Plentmiks Temel (Pmt) gelmektedir. Pmat ve Pmt'nin dizaynı ve serim anındaki unsurlar kalitesini etkilemektedir. Aynı zamanda kullanılacak olan malzeme cinsi, su içeriği gibi birçok faktör Pmat ve Pmt'nin kalitesine etki etmektedir. Ülkemizde genel olarak Pmat ve Pmt dizaynlarında kalker kullanılmaktadır. Ancak sıcak karışımlarda bazalt kullanımı görülmektedir. Aynı anda hem bazalt hem kalker malzemelerini bulmak oldukça zordur. Pmat ve Pmt dizaynlarında gradasyon aralıklarına bakıldığında karışımda en yüksek miktarda olan kısmı ince agrega kısmıdır. Bu yüzden genel olarak Pmat ve Pmt imalatlarında yaşanan en büyük sıkıntı ince agrega yetersizliği kısmında olmaktadır. Yapılan çalışmada Kuzey Ege otoyolunda kullanılan Pmat ve Pmt tipleri ele alınmıştır. Sadece kalker ile yapılan dizayn ve ince agrega kısmı bazalt, diğer kısımları kalker olan Pmat ve Pmt'ler incelenmiştir. Dizayn karşılaştırmaları yapılmış, serim esnasındaki avantaj ve dezavantajları ortaya koyulmuştur. Ayrıca dizayn aşamasında uygulanan deneyler birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu sayede bazalt ile kalker karışımının alt temel ve temelde göstermiş olduğu davranışlar ele alınmış ve ileride örnek teşkil edecek malzemelerin davranışları incelenmiştir. Pmat ve Pmt'nin üretim kaliteleri ileride üstyapıda oluşabilecek bozulmalara doğrudan etkili olduğu için deney sonuçları göz önüne alınarak güvenlik ve maliyet açısından karşılaştırma yapılmıştır. Dizayn sonuçları kıyaslandığında bazalt ile yapılan karışımın ince kısmı kalker ile yapılan dizayna göre daha kaba olmuştur. Modifiye proktor ve titreşimli tokmak değerleri kalker ile yapılan dizaynda bazalt ile yapılan dizayna göre daha yüksek bir maksimum kuru birim ağırlık değeri vermiştir. Optimum su içeriği değeri kalker ile yapılan dizaynda %5, bazalt ile yapılan dizaynda %4,7 çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pmat, Pmt, dizayn, bazalt, kalker

## Giriş

Yol üstyapısı tabakalardan oluşur. Bu tabakaların amacı yolun ömrü boyunca emniyetli bir şekilde hizmet verebilmesi, iklim koşullarından etkilenmesini minimuma indirgeyerek bozulmaları engellemesidir. Üstyapı iki sınıfa ayrılır. Bunlar esnek üst yapılar ve rijit üstyapılardır. Karayolu üstyapısı trafiği ekonomik ve güvenilir bir şekilde taşımalıdır.

Güvenli olarak taşıma araç tekerleği ile yüzey arasındaki sürtünme ile sağlanır. Ekonomi is yapımında kullanılan malzemelerle, taşıt maliyeti ve işletmelerle ilgilidir. Esnek üstyapılar Plent-miks Alt Temel (Pmat), Plent-miks Temel (Pmt), Bitümlü Temel, Binder ve Aşınma tabakalarından oluşur. Esnek üstyapılar tekerlek yükleri altında deforme olur ve her tabaka üzerine gelen yükü bir alttaki tabakaya biraz daha yayarak iletir. Bu sayede yük taban zemininde büyük bir alana yayılmış olur. (Kılıç, 2019; Özdamar, 2019)

Karayollarında artan yol yapım ve bakım sebebi ile agrega ihtiyacı artmaktadır. Kullanılan doğal agregaların zamanla azalması nedeni ile alternatif agregaların kullanılması gereken durumlar ile karşı karşıya gelinmiştir. (İlçalı, 1988)

### **Plent-Miks Alttemel(PMAT) ve Plent-Miks Temel (PMT)**

Üstyapının ilk katmanı alttemel, ikinci katmanı ise temel tabakasıdır. Plentte belirli bir gradasyona sahip agregalar belirli oranlarda su ile birlikte mikser yardımıyla karıştırılarak oluşturulan karışıma pmat ve pmt denir. (Özdamar,2019)

### **Plent-Miks Alttemel (PMAT)**

PMAT taban yüzeyi ile temel tabakası arasında yerleştirilmiş daneli veya bağlayıcı bir malzeme ile stabilize edilmiş belirli bir gradasyona sahip malzemedir. Pmat tabakasının trafik yüklerinden doğan gerilmelerin taban zemine yayılmasını sağlar ve su ve don tesirlerine karşı koruma sağlar.

**Tablo 1.** Alttemel malzemesi gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	in	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	1 1/2	85 - 100	80 - 100
25	1	-	60 - 90
19	3/4	70 - 100	45 - 80
9,5	3/8	45 - 80	30 - 70
4,75	No.4	30 - 75	25 - 55
2,00	No.10	-	15 - 40
0,425	No.40	10 - 25	10 - 20
0,075	No.200	0 - 12	0 - 12

Tablo 1’de görüldüğü üzere Pmat belirli gradasyonlar içerisinde olmalıdır. Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) gradasyon limitleri TİP-

A ve TİP-B için tablodaki gibi olmalıdır.

Malzemenin; 0,075 mm eleği geçen kısmı 0,425 mm eleği geçen kısmının 2/3'ünden fazla olmayacaktır.

Alttemel malzemesi, kum-çakıl ocaklarından sağlandığında, tüvenan malzemenin gradasyonu Tip-A gradasyon limitlerine uygun olacaktır. Gradasyonu Tip-A limitlerine uymayan malzemeler elenerek gradasyonu ayarlanacaktır. Alttemel malzemesinin kum-çakıl veya taş ocaklarından kırılarak hazırlanması durumunda malzemenin gradasyonu Tip-B gradasyon limitlerine uygun olacaktır. Kum-çakıl ocağından kırılarak malzeme hazırlanması durumunda 4,75 mm elek üzerinde kalan kısmının en az % 50'sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış olacaktır.

**Tablo 2.** Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO <sub>4</sub> ile kayıp, %	≤ 25 (MS <sub>25</sub> )	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 45 (LA <sub>45</sub> )	TS EN 1097 - 2* AASHTO T 96
Yassılık İndeksi, %	35 ≤ 30 (FI <sub>30</sub> )	BS 812 TS EN 933-3*
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3,5 (WA <sub>243,5</sub> )	TS EN 1097 - 6
Likit Limit, %	≤ 25	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %	≤ 6	TS 1900 - 1 AASHTO T 90
Kil Topağı ve Dağılılabilen Dane Oranı, maksimum %	İri Malzeme (4,75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
METİLEN MAVİSİ MB g/kg	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 4,0 (MB <sub>4,0</sub> ) ≤ 5,5 (MB <sub>5,5</sub> )** ≤ 5,5 (MB <sub>5,5</sub> )** TS EN 933-9
* Referans Metot ** Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.		

Tablo 2'de görüldüğü üzere, Pmat yapımında kullanılacak malzemenin diğer fiziksel özellikleri belirtilmiştir.

Modifiye Proctor Deneyi (AASHTO T 180, TS 1900-1) ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığın % 98'sine kadar sıkıştırılan numunelerin

yaş CBR (AASHTO T 193, TS 1900-2) değerleri Tip-A için minimum % 30, Tip-B için ise minimum % 50 olacaktır.

Tek tip veya kazanmış asfalt malzemesi dahil iki veya daha fazla dane boyutu grubu ile oluşturulacak alttemel malzemesinin su dahil plentte karıştırılıp finişer ile serilmesi durumunda bu malzeme plent-miks alttemel olarak tanımlanacak ve bu durumda Tip-B gradasyon limitlerine uyulacaktır. (KTŞ, 2013)

### **Plent-Miks Temel (PMT)**

PMT tabakası kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak aşağıdaki tabloda verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan malzemenin pmat üzerine plan, profil ve enkesitlere uygun olarak bir ya da birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır. (KTŞ, 2013)

**Tablo 3.** Plent-Miks Temel Tabakası gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	in	Tip - I	Tip – II
37,5	1 ½	100	
25	1	72 - 100	100
19	¾	60 - 92	80 - 100
9,5	3/8	40 - 75	50 - 82
4,75	No.4	30 - 60	35 - 65
2,00	No.10	20 - 45	23 - 50
0,425	No.40	8 - 25	12 - 30
0,075	No.200	0 -10	2 - 12

Tablo 3’de görüldüğü üzere Pmt gradasyon limitleri Tip – I ve Tip – II için tablodaki aralıklarda olmalıdır.

Üstyapı Projelendirme veya Üstyapı Takviye Raporlarında verilmiş plent-miks temel tabakası kalınlığının 15 cm ve üzerinde olması durumunda PMT Tip-1, plent-miks temel tabakası kalınlığının 15 cm’den düşük olması durumunda ise PMT Tip-1 veya Tip-2 kullanılmalıdır (KTŞ, 2013).

Pmt yapımında kullanılan malzemenin kaba ve ince kısımları aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır. Kaba kısım 4,75mm elek üzeri, ince kısım ise 4,75 mm elek altı malzemedir.



**Tablo 4. Kaba Agreganın Fiziksel Özellikleri**

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO <sub>4</sub> ile kayıp, %	≤ 20 (MS20)	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 35 (LA35)	TS EN 1097-2* AASHTO T-96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, %	≤ 1,0	ASTM C-142
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS 812
	≤ 25 (F125)	TS EN 933-3*
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3,0 (WA243)	TS EN 1097-6 (Madde 8)
* Referans Metot		

Tablo 4’de görüldüğü üzere Pmt’de kullanılacak kaba agrega tablodaki standartları sağlamalıdır.

**Tablo 5. İnce Agreganın Fiziksel Özellikleri**

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı	
Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 89	
Plastisite İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 90	
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)	
Metilen Mavisi, MB, g/kg	İnce agreganın 0/2 m’lik kısmına	≤ 3,0 (MB <sub>3,0</sub> ) ≤ 4,5 (MB <sub>4,5</sub> )*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 4,5 (MB <sub>4,5</sub> )*	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Tablo 5’de görüldüğü üzere Pmt’de kullanılacak ince agrega tablodaki standartları sağlamalıdır.

## Materyal

Çalışmamda Aliğa-Menemen-Çandarlı (Kuzey Ege) Otoyolunda Pmat ve Pmt dizaynlarımı inceleyeceğim. Dizaynlarda kullanılacak olan malzemelerden (25-38)mm, (12-25)mm, (5-12)mm boyutlarındaki 3 grup agrega malzemesi Zeytinadağ Kalker Taş Ocağından kullanılacaktır. (0-5)mm gruplu agrega olarak ise Zeytinadağ Kalker ve Aldur Bazalt Taş Ocaklarından malzemeler kullanılarak 2 farklı dizayn yapılacak ve bu dizaynlar kıyaslanacaktır. 2 dizayndaki malzemelerin elek analizleri,

agregaya ve karışma uygulanan deneylerin sonuçları tablolar halinde kıyaslanacaktır.

## Yöntem

Bu çalışmada KTŞ baz alınarak agregalara elek analizleri ve deneylerin (Los Angeles Aşınma Kaybı , Don Kaybı, Absorbsiyon, Yassılık İndeksi, Metilen Mavisi) yapılmıştır. Oluşturulan karışıma ise Maksimum Kuru Birim Ağırlık, Optimum Su İçeriği, Likit Limit, Plastisite İndeksi, Yaş Cbr deneyleri uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Değerler KTŞ standartlarına uygun olup olmadığı kontrol edilerek karşılaştırılması yapılmıştır.

## Bulgular

### İnce Agregada Olarak Bazalt Kullanımı

Aldur Madencilik Aliaga Bazalt Taş Ocağından (0-5)mm agrega ve Zeytindağ Taş Ocağından (5-12)mm, (12-35)mm, (25-38)mm agregalar alınarak Plent-miks Temel (Tip-1) ve Plent-miks Alttemel (Tip-B) dizaynları hazırlanmış ve malzeme gruplarının karışım oranları ile diğer deney sonuçları yapılmıştır.

**Tablo 6.** Bazalt ile yapılan PMT TİP-1 dizayn gradasyonu

KULLANIM ORANLARI		15	20	20	45	100	KTŞ PMT Tip-1 Kısım 402.4 Tablo 402-6 Limitleri	
ELEK AÇIKLIĞI (mm)		(25-38)	(13-25)	(5-13)	(0-5)	KARIŞIM GRAD.		
mm	inch	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen		Şartname	
37,5	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	
25	1"	10	93	100	100	85	72	100
19	3/4"	0,1	40	100	100	73	60	92
9,5	3/8"	0,1	0,1	82	100	61	40	75
4,75	No.4	0,1	0,1	7	98	46	30	60
2,00	No.10	0,1	0,1	0,1	66	30	20	45
0,425	No.40	0,1	0,1	0,1	31	14	8	25
0,075	No.200	0,1	0,1	0,1	12	5	0	10

Tablo 6’da görüldüğü üzere, konkasörde üretilen (25-38)mm, (12-25)mm, (5-12)mm, (0-5)mm dane boyutlarında agregalara ait elek analizi ortalaması, agregaların kullanım oranları ile dizayn gradasyon ve tolerans limitleri gösterilmiştir.

**Tablo 7. Agregada deney sonuçları**

Ocak Adı	Zeytindağ Kalker-Aldur Bazalt Taş Ocağı				
Kayanın Cinsi	Kalker-Bazalt				
Deney Adı	Deney Sonucu	Pmt Şartname Limitleri	Pmat Şartname Limitleri	Deney Yılı	Deney Standardı
LosAngeles Aşınma Kaybı, %	24,0	≤ 35	≤ 45	2019	AASHTO T-96
Don ( $MgSO_4$ ) Kaybı, %	10,5	≤ 20	≤ 25	2019	TS EN 1367-2
Absorbsiyon, %	0,4	≤ 3,0	≤ 3,5	2019	TS EN 1097-6
Yassılık İndeksi, %	15,4	≤ 30	≤ 35	2019	BS-812
Metilen Mavisini (Bazalt)	4,5	≤ 4,5*	≤ 5,5*	2019	TS EN 933-9

\*Magmatik kökenli kayalar

Tablo 7’de görüldüğü üzere, Pmat ve Pmt malzemesi üretiminde kullanılacak malzemelere ait agregada deney sonuçları verilmiştir.

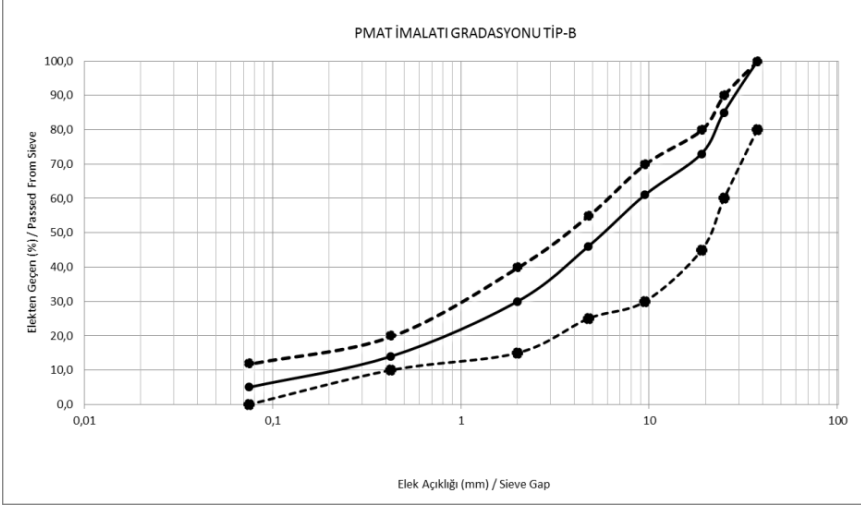
**Tablo 8. Karışım deney sonuçları**

Deney Adı	Deney Sonucu	
	Modifiye Proktor	Titreşimli Tokmak
Mak.Kuru Birim Ağırlık, $t / m^3$	2,090	2,216
Optimum Su İçeriği, %	5,5	4,7
Likit Limit	N.P.	-
Plastisite İndeksi	N.P.	-
Yaş CBR, %	127	-

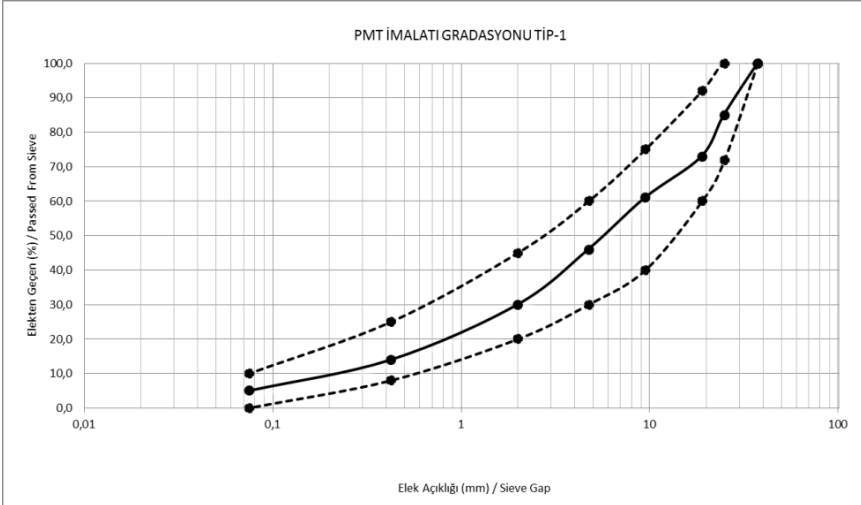
Tablo 6’de belirlenen karışım gradasyonunda hazırlanan numunelerin Kuru Birim Ağırlık-Su İçeriği İlişkileri, Modifiye Proktor ve Titreşimli

Tokmak yöntemleri saptanmıştır. Ayrıca Modifiye Proktor Yöntemi ile hazırlanan numunelerin yaş CBR değerleri ölçülmüştür. Tablo 8’de buna ait değerler verilmiştir. Sonuç olarak Pmat ve Pmt karışım gradasyonu esas alınarak Titreşimli Tokmak yöntemi ile bulunan Optimum Su İçerikleri %4,7 ve Maksimum kuru birim ağırlık 2,216 bulunmuştur. Sıkışma sonucunda en az %97 sıkışma sağlanması gerekmektedir.

**Tablo 9.** Pmat imalatı gradasyonu TİP-B



**Tablo 10.** PMT imalatı gradasyonu TİP-1



Tablo 9. ve Tablo 10’da Plent-miks Alttemel ve Plent-miks Temel Gradasyon eğrileri gösterilmiştir.

### İnce Agrega Olarak Kalker Kullanımı

Zeytinadağ Kalker Taş Ocağından (0-5)mm, (5-12)mm, (12-35)mm, (25-38)mm agregalar alınarak Plent-miks Temel (Tip-1) ve Plent-miks Alttemel (Tip-B) dizaynları hazırlanmış ve malzeme gruplarının karışım oranları ile diğer deney sonuçları yapılmıştır.

**Tablo 11.** Kalker ile yapılan PMT TİP-1 dizayn gradasyonu

KULLANIM ORANLARI		21	19	15	45	100	KTŞ PMT Tip-1 Kısım 402.4 Tablo 402-6 Limitleri	
ELEK AÇIKLIĞI (mm)		(25-38)	(13-25)	(5-13)	(0-5)	KARIŞIM GRAD.		
mm	inch	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen		Şartname	
37,5	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	
25	1"	24	100	100	100	84	72	24
19	3/4"	5	70	100	100	74	60	5
9,5	3/8"	1	2	81	100	58	40	1
4,75	No.4	0,1	0,3	9	100	46	30	0,1
2,00	No.10	0,1	0,1	1	63	29	20	0,1
0,425	No.40	0,1	0,1	0,1	27	12	8	0,1
0,075	No.200	0,1	0,1	0,1	13	6	0	0,1

Tablo 11’de görüldüğü üzere, konkasörde üretilen (25-38)mm, (12-25)mm, (5-12)mm, (0-5)mm dane boyutlarında agregalara ait elek analizi ortalaması, agregaların kullanım oranları ile dizayn gradasyon ve tolerans limitleri verilmiştir.

**Tablo 12.** Agrega deney sonuçları

Ocak Adı	Zeytindağ Taş Ocağı				
Kayanın Cinsi	Kalker				
Deney Adı	Deney Sonucu	Pmt Şartname Limitleri	Pmat Şartname Limitleri	Deney Yılı	Deney Standardı
Los Angeles Aşınma Kaybı, %	26,8	≤ 35	≤ 45	2018	AASHTO T-96
Don ( $MgSO_4$ ) Kaybı, %	10,5	≤ 20	≤ 25	2018	TS EN 1367-2
Absorbsiyon %	0,4	≤ 3,0	≤ 3,5	2018	TS EN 1097-6
Yassılık İndeksi, %	13,5	≤ 30	≤ 35	2018	BS-812
Metilen Mavisini (Bazalt)	1	≤ 4,5*	≤ 5,5*	2018	TS EN 933-9

Tablo 12’de görüldüğü üzere, Pmat ve Pmt malzemesi üretiminde kullanılacak malzemelere ait agrega deney sonuçları tabloda verilmiştir.

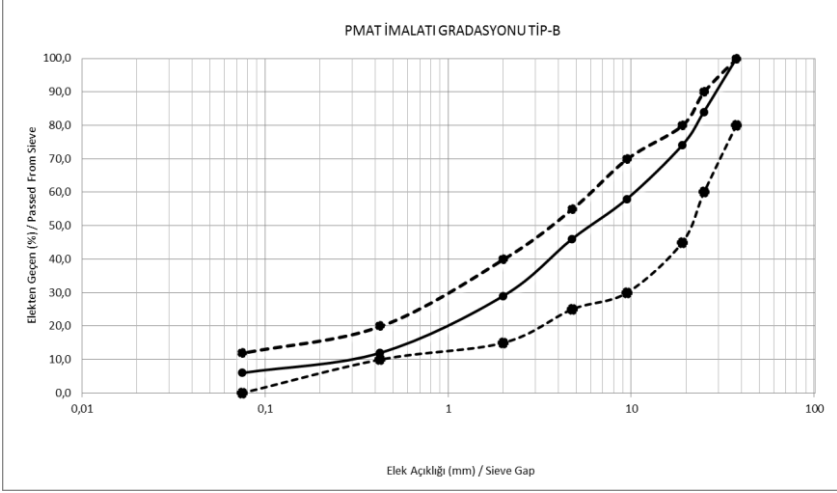
**Tablo 13.** Karışım deney sonuçları

Deney Adı	Deney Sonucu	
	Modifiye Proktor	Titreşimli Tokmak
Mak.Kuru Birim Ağırlık, $t / m^3$	2,243	2,315
Optimum Su İçeriği, %	5,0	5,0
Likit Limit	N.P.	-
Plastisite İndeksi	N.P.	-
Yaş CBR, %	227	-

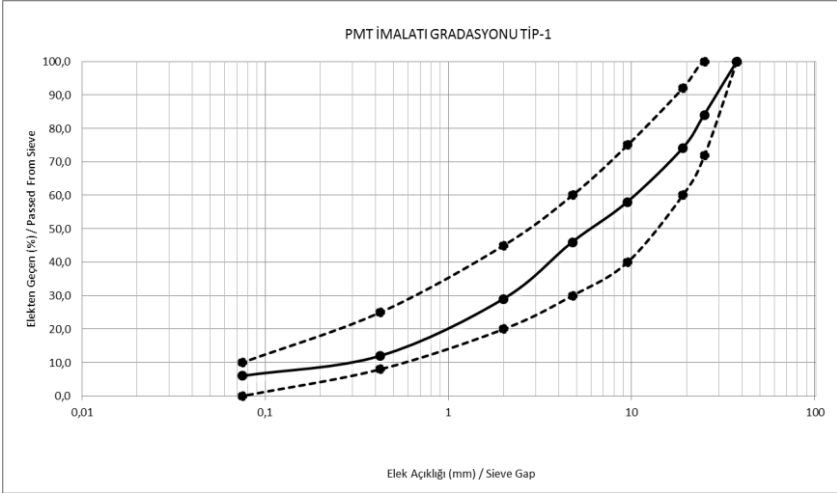
Tablo 11’de belirlenen karışım gradasyonunda hazırlanan numunelerin Kuru Birim Ağırlık-Su İçeriği İlişkileri, Modifiye Proktor ve Titreşimli Tokmak yöntemleri saptanmıştır. Ayrıca Modifiye Proktor Yöntemi ile hazırlanan numunelerin yaş CBR değerleri ölçülmüştür. Tablo 13’de

buna ait değerler verilmiştir. Sonuç olarak Pmat ve Pmt karışım gradasyonu esas alınarak Titreşimli Tokmak yöntemi ile bulunan Optimum Su İçerikleri %5 ve Maksimum kuru birim ağırlık 2,315 bulunmuştur. Sıkışma sonucunda en az %97 sıkışma sağlanması gerekmektedir.

**Tablo 14.** Pmat imalatı gradasyonu TİP-B



**Tablo 15.** PMT imalatı gradasyonu TİP-1



Tablo 14. ve Tablo 15’de Plent-miks Alttemel ve Plent-miks Temel Gradasyon eğrileri gösterilmiştir.

## Sonuç

Pmat ve Pmt dizaynları ince agrega olarak bazalt ve kalker kullanımı kıyasladığımızda bazalt kullanımında Optimum Su İçerikleri %4,7 ve Maksimum kuru birim ağırlık 2,216 bulunmuştur. Kalker kullanımından ise Optimum Su İçerikleri %5 ve Maksimum kuru birim ağırlık 2,315 bulunmuştur. Dizaynlar kıyaslandığında ise kalkerin ince agrega kısmı daha kaba olduğu gözlenmiştir. Bazalt daha kirli bir malzeme olmasına rağmen metilen mavisi değeri standartlar içinde kaldığı görülmüştür. Dizaynlar Pmt ye göre yapılmıştır. Çünkü Pmat dizayn tolerans aralığı daha geniştir. Bu yüzden dizaynlar Pmt'ye göre yapılmıştır. Bu yüzden grafiklerde görüleceği gibi Pmat dizaynı daha ince olmuştur ancak standartlar içinde kaldığı için problem teşkil etmemektedir. Yaş CBR değeri kalkerle hazırlanan karışımda daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Serim esnasında bazalt ile hazırlanan karışımın sıkıştırılma esnasında çok daha fazla su gerektiği gözlenmiştir. Kalkerli karışımda serim esnasında çok fazla su verildiğinde ise lokal oynamalara sebep olduğu gözlenmiştir.

## Kaynaklar

<https://www.medeniyetmuhendisleri.com/index.php?topic=467.0>

Ilıcalı,M. (1988). Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürüfunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması.Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013.

Kılıç, Ö.; Özdamar, E., (2019). Karayolu Temel/Alttemel Zemin Uygulamaları: Çorum/Merzifon Ayrımı-Mecitözü-Amasya/Turhal Ayrımı, Çukurova Üniversitesi, Adana.



# DISPLACEMENT MEASUREMENT ON BUILDING MODEL WITH COMPUTER

Nuh Muhammed PİŞKİN<sup>1</sup>-M.Serdar AVCI<sup>2</sup>-Emre ERCAN<sup>3\*</sup>-Ayhan  
NUHOĞLU<sup>4</sup>

*Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,  
Izmir/Turkey, nmpiskin@gmail.com*

<sup>2</sup> *Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,  
Izmir/Turkey, mserdaravci@gmail.com @ege.edu.tr*

<sup>3</sup> *Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,  
Izmir/Turkey, emre.ercan@gmail.com*

<sup>4</sup> *Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,  
Izmir/Turkey, ayhan.nuhoglu@ege.edu.tr*

**Abstract:** Computer vision is widely used in the solution of many engineering problems in recent years. Displacement measurement of structural elements are difficult to measure in civil engineering. In order to measure these displacements in a more practical and sound way, object tracking algorithm were developed. As an application, displacement at the peak of a model structure was measured by displacement meter and also the displacement of the point was measured through the video image by a computer algorithm of the same structure. In addition, experiments are repeated with different quality videos. The results were compared and the effect of video quality and other parameters on displacement measurement were investigated.

**Keywords:** Computer Vision, Displacement, Object Tracking, Structural Health Monitoring

## **Inttroduction**

With the developing technology, structures with different characteristics emerge. The displacement of these structures under load is very important for the healthy use of the structure.

To monitor displacements occurring in the existing systems, acceleration and displacement meters should be placed at each point. Due to the different architectural features of the buildings, the installation of the devices is difficult. For these reasons, displacements need to be measured by image-based systems. In order to develop such systems, deficiencies and defects of the system must be tested. (Feng and Feng, 2018).

In this study, the displacements formed at the top of the model under vibration applied on a 19 storey building model were recorded. In addition, the same experiment was performed with video recordings at different resolutions. At the end of the study, error rates between actual displacements and image based displacement measurements were compared.

## **Method**

### **Object Tracking and Displacement Measurement**

Object tracking is to identify the object within the tracked area by tracking algorithms and monitor that object from the video frames. By having information about the movement direction and position of the monitored object, parameters such as displacement, speed and acceleration can be accessed. The unit of the displacement which is found is pixel. Therefore, in order to achieve the actual displacement, the actual length of an edge of the tracked area must be known. The metric value corresponding to one pixel is calculated from the ratio between the actual length and the length in pixels of this edge. With the obtained ratio, displacement values were converted to metric system.

### **Experimental Study**

The displacements of a 19 storey model structure under vibration were investigated. As a result of the investigations, a potentiometric displacement meter was placed at the top end of the structure where maximum displacement is predicted (Figure 1.). A reference object is also placed at the same point. The width of the reference body is set to 4 cm. Then, for the follow-up, the square was placed on a square reference object with an edge of 4 cm.



**Figure 1.** Displacement Meter Connection and Tracking Point

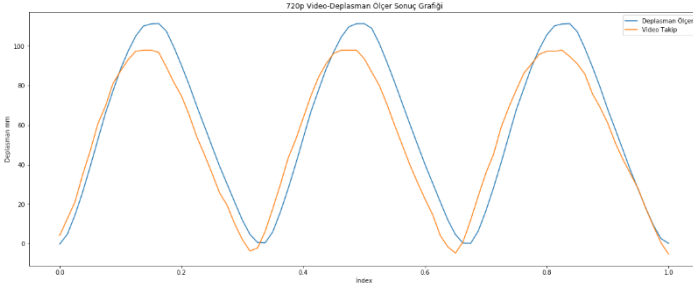
Sinusoidal vibrations were given to the structure model and displacements were created at the reference point. The displacements were recorded with 720p, 1080p, 2k format video recordings and potentiometric displacement meter.

### **Application and Findings**

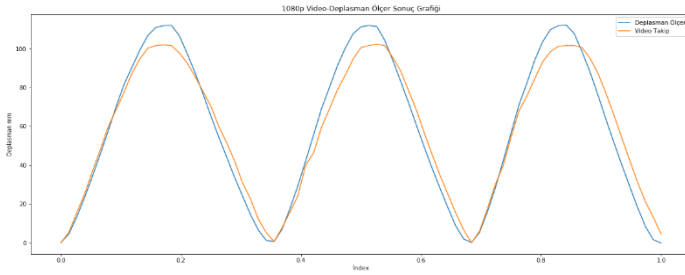
The potentiometric displacement meter can record up to 8 data per second while videos record at 30 FPS (30 data / second). In order to put these two data in the same time interval, the video data was marked with the time tag and brought to the same time interval with the potentiometric data. Then the error between the potentiometric displacement meter data and the displacements obtained from the videos was calculated. Figure 2 shows the displacement result graphs taken from the potentiometric displacement meter and videos. In Table 1, the errors between the displacement values obtained from the 2k, 1080p, 720p video formats and the actual displacements are given.

**Table 1.** Error values between potentiometric and video displacements

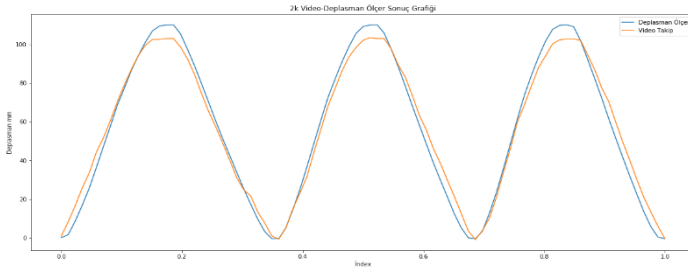
Unit mm	2k Video	1080p Video	720P Video
R2 Score	%97.6	% 94.9	% 91.73
Square Mean Error	5.3	7.6	10.21
Absolute Mean Error	4.6	6.44	8.64



a)



b)



c)

**Figure 2.** Different format video-displacement meter results graphs a) 720p, b) 1080p, c) 2k

## Conclusion and Suggestions

### Result

In this study, the effect of image quality on image based displacement measurements was investigated and the potential of image based displacement measurements in displacement measurement was investigated. The performance of image-based displacement measurement has been seen to be adequate and consistent, and it has been found to have

great advantages over standard methods in terms of cost and usability when considering the setup processing.

### **Suggestions**

Setting the video resolution according to the computer which is used

It is important for the accuracy of the results that the selected reference length is clearly visible. To be sensitive in determining initial conditions,

It is suggested that the researches in this field will be further expanded and different tracking algorithms will contribute to the development of precise measurements.

### **References**

Feng, D., and Feng, M. Q., 2017, Identification of Structural Stiffness and Excitation Forces In Time Domain Using Noncontact Vision-Based Displacement Measurement, *Journal of Sound and Vibration*, 406: 15–28 pp.

Gündoğan, M., 2012, Çelik Model Köprünün Yapı Sağlığının Gözlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97 s.

Gazar E., 2018, Object Tracking with OpenCV, <https://ehsangazar.com/object-tracking-with-opencv-fd18ccdd7369>, (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2019).

Kim, S. W., and Kim, N. S., 2011, Multi-point Displacement Response Measurement of Civil Infrastructures Using Digital Image Processing, *Procedia Engineering*, 14: 195–203 pp.

# CLUSTERING ACOUSTIC EMISSION ACTIVITIES IN CONCRETE USING UNSUPERVISED PATTERN RECOGNITION METHODS

Nuh M. PİŞKİN<sup>1</sup> - Sena TAYFUR<sup>2</sup> - Emre ERCAN<sup>3</sup> - Ninel ALVER<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir/Turkey, nmpiskin@gmail.com

<sup>2</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir/Turkey, sena.tayfur@ege.edu.tr

<sup>3</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir/Turkey, emre.ercan@gmail.com

<sup>4</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir/Turkey, ninel.alver@ege.edu.tr

**Abstract:** Acoustic Emission (AE) is one of structural health monitoring methods used in different fields of engineering to detect defects such as cracks and leakages. The method is based on detection of elastic waves released from local sources in a stressed material. In civil engineering, by means of AE, location, type and orientation of the crack in concrete are obtained utilizing different algorithms. Pattern recognition, which is a subfield of artificial intelligence based on classifying objects, is also a proper tool for identifying types of AE activities. In this study, AE activities obtained from cracking sources of concrete material were clustered using two approaches of unsupervised pattern recognition: k-means and Gaussian Mixture Model. The results were evaluated and compared with each other to reveal effectiveness of these two processes.

**Keywords:** pattern recognition, acoustic emission, concrete testing, k-means, Gaussian mixture model.

## Introduction

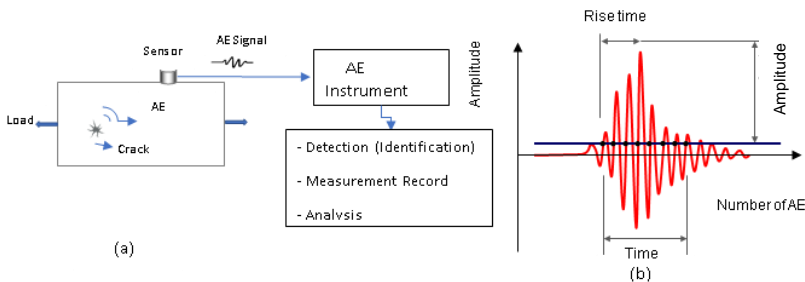
In the last century, reinforced concrete has been used for construction of different types of structures, particularly for bridges, tunnels, buildings and nuclear power plants. These structures have a certain lifetime. In addition, natural disasters (earthquakes, floods, etc.) as well as environmental effects (sulfate/chloride penetration, freezing-thawing, water penetration resulting in corrosion of the steel reinforcement etc.) shorten the lifespan of these structures. Accurate assessment of structures' health is crucial to maintain their service life safely. Identifying crack originations in RC structures have attracted researchers' attention (Jahanshahi et al, 2013). Nondestructive damage detection methods, which provide information about damages without any

harming, are the safest and most common methods preferred in this field. Acoustic Emission (AE), which is one of the nondestructive damage detection methods, provides a good solution to monitor the formation time, type, growth and orientation of cracks in RC members by evaluating waveform parameters. The method also provides information on the type of the crack (A. Farhidzadeh et al,2013;2014).

In this study, in order to determine the type of crack such as tensile- and shear-type, AE activities obtained from three-point-bending of an RC beam were clustered using average frequency vs. RA value parameters. For this purpose, k-means and Gaussian mixture algorithms which are two of the unsupervised learning methods were used as clustering method and the results were compared.

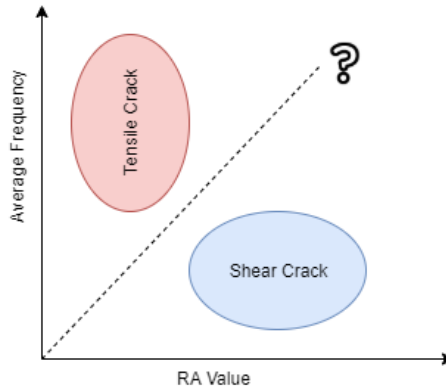
## Method

Acoustic Emission (AE) method is based on the propagation of elastic waves caused by an active source in a stressed material, detection them by sensors placed on the surface, conversion of these waves into signals and analysing them with various techniques (Figure 1.a). A typical AE signal has the parameters shown in Figure 1.b.



**Figure 1.** a) AE methodology b) AE parameters

With the aid of these parameters, crack type classification is made by using rise time, amplitude, AE count, and duration. In Figure 2, the ratio of rise time to maximum amplitude is called “RA value” and the number of AE counts per duration is called “average frequency”. With the aid of the distribution of the average frequencies versus the RA values, the cracks can be divided into two classes as shear and tensile. Hits with high average frequency and low RA value is defined as tensile, while the vice versa are defined as shear activity (JCMS-IIIB5706, 2003).



**Figure 2.** Crack classification according to JMCS IIIB 5706 (2003)

Since these data sets are not known, these activities should be clustered in accordance with the data characteristics. The algorithms used to solve such problems are called unsupervised learning algorithms. These algorithms enable us to classify and label the data according to unlabeled data characteristics. There are numerous unsupervised learning algorithms among which k-mean and gauss mix algorithms have been utilized in this study.

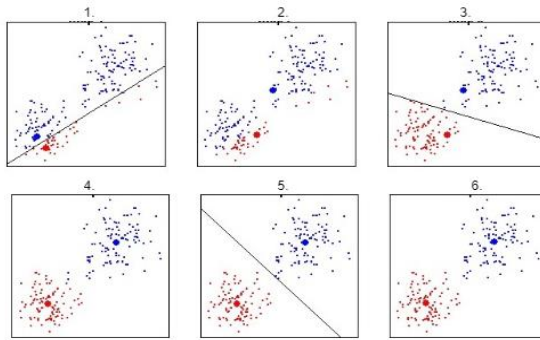
### **K-Means**

K-means is one of unsupervised clustering algorithms. The “K” in the name of the algorithm represents the number of clusters the data will be divided into. First of all, we decide to how many clusters should be divided according to the characteristics of the data. The center point is tried to be found. Then, the closest points are gathered around the determined center point and the cluster members are brought together. This process is repeated until the clusters formed with the common points become the most efficient. In Figure 3 clustering stages of K-means algorithm are given.

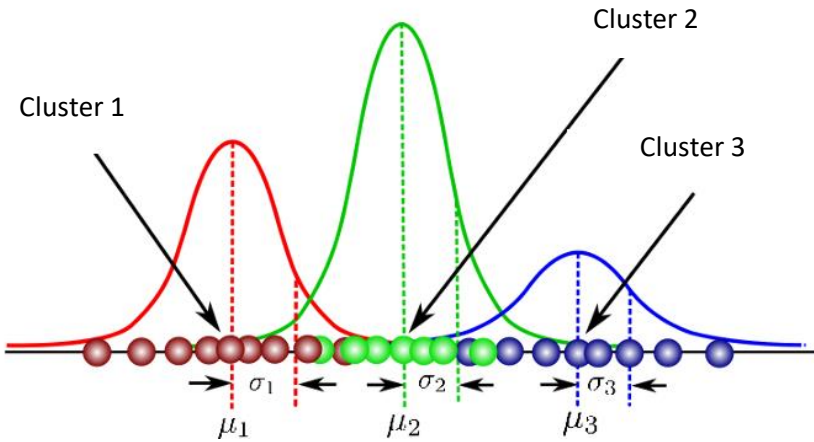
### **Gaussian Mixture Model**

The Gaussian Mixture Model (GMM) is a probability distribution. It is used to detect normally distributed sub-data sets within a general data set. GMM does not need to know which classes the subsets belong to. It learns by itself which sets belong to the data distributions. Since the labels are not subset, GMM is also known as unsupervised learning. Figure 4 shows the parameters needed by GMM algorithm for clustering.





**Figure 3.** Stages of k-means clustering

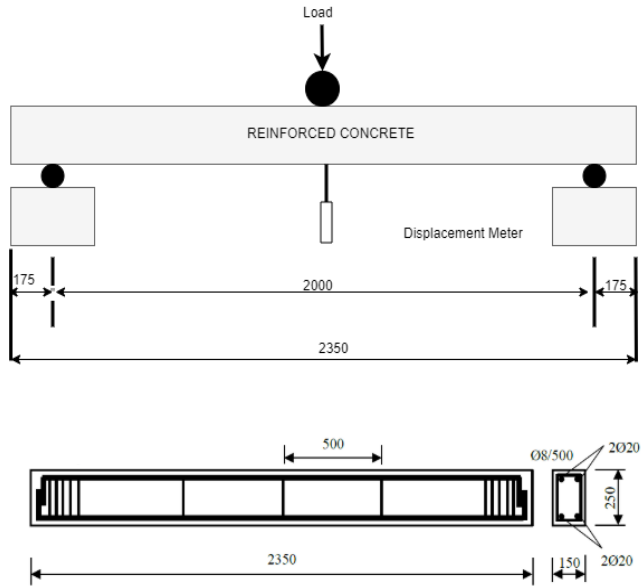


**Figure 4.** Parameters used in GMM

### Experimental Study

In the experimental study, three-point-bending test was applied to the reinforced concrete beam specimen having properties given in Figure 5. Mix design of concrete used for production of the specimen is also presented in Table 1.

During the mechanical test, AE activities were recorded by eight piezoelectric sensors having resonance frequency of 150 kHz. They were attached on the surfaces of the beam with a silicon grease to provide a good detection. Threshold was set as 40 dB to eliminate ambient noise and eight preamplifiers were also used with 40 dB gain. Recorded AE activities were filtered and meaningful AE hits were extracted.



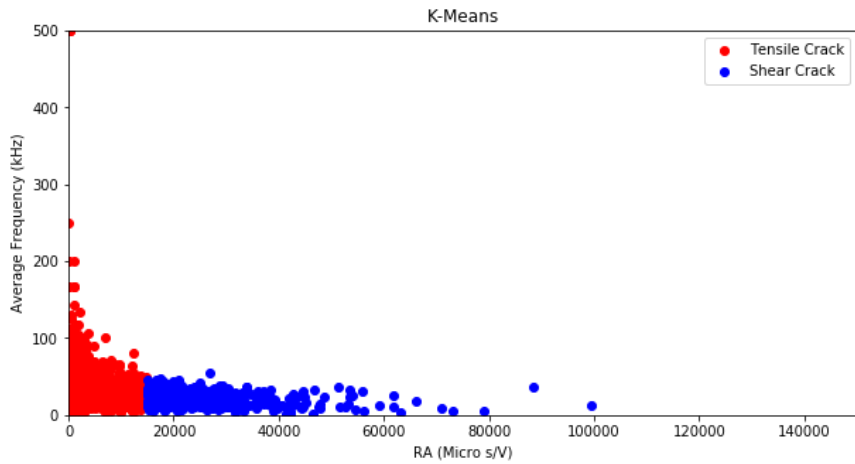
**Figure 5.** Geometric and reinforcement details of test specimen and test setup

**Table 1.** Mix design of concrete (kg/m<sup>3</sup>)

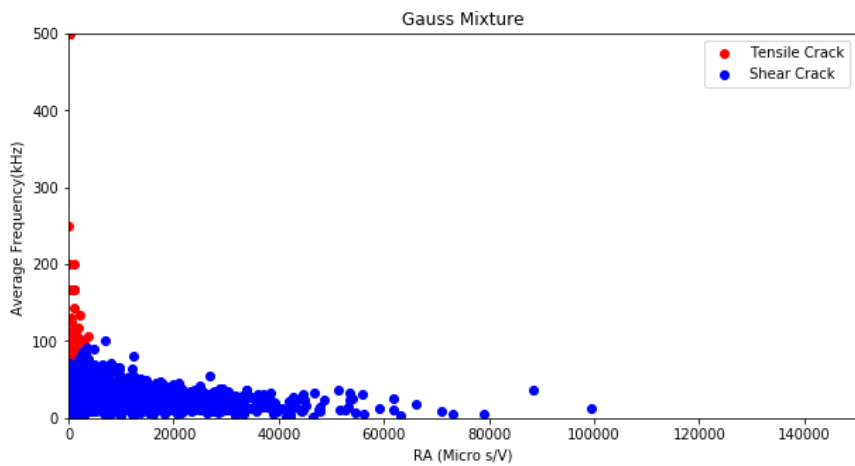
Amount	Materials						
	Cement	Water	Aggregate (mm)			Plasticizer	Fly ash
			0-3	5-15	15-25		
	255	167	934	429	485	4.24	84

## Results

RA value and average frequency parameters of these 4298 AE hits were used to cluster concrete cracking activities by k-means and GMM. Clustering results were visualized by scattering both clustered activities in Figure 6 and Figure 7.



**Figure 6.** Clustering of AE activities attributed to concrete cracking by k-means.



**Figure 7.** Clustering of AE activities attributed to concrete cracking by GMM.

The k-mean algorithm yielded theoretically expected results. Separation by such a sharp line is proof that the k-mean only looks at the distant intimate relationship, not according to the data characteristics. The Gaussian mixture algorithm, on the other hand, is a more flexible algorithm than the k-mean since it classifies the data according to the probability of statistical values. Therefore, the clustering in the segregation zone is separated as shown in the standard and as we have foreseen.

## Conclusion and Suggestions

By evaluating literature findings and results obtained from this study, it is seen that GMM algorithm gave more suitable clustering results for crack type classification. One of reasons of this situation is directly center calculation in k-means algorithm. However, as the actual types of the activities are not known exactly, these current results are not precise.

Studies in this field have been developing and investigation of appropriate signal parameters for clustering has been continued. For the studies in future, it is recommended to use and investigate different waveform parameters. In addition, it is envisaged that the development of supervised learning algorithms using specific labeled data would be more appropriate for the solution of this problem.

## References

- A. Farhidzadeh, S. Salamone, and P. Singla, "A probabilistic approach for damage identification and crack mode classification in reinforced concrete structures," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, 2013.:vol 24, Issue 14
- A. Farhidzadeh, A. C. Mpalaskas, T. E. Matikas, H. Farhidzadeh, and D. G. Aggelis, "Fracture mode identification in cementitious materials using supervised pattern recognition of acoustic emission features," *Constr. Build. Mater.*, 2014,67:129-138
- JCMS: Japan Construction and Material Standard.
- Jahanshahi MR, Masri S, Padgett CW, et al. (2013) An innovative methodology for detection and quantification of cracks through incorporation of depth perception. *Machine Vision and Applications* 24: 227–241.

# UZUN-KISA VADELİ HAFIZA İLE AKIM TAHMİNİ MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Nuh Muhammed PİŞKİN\* & Ebru ERİŞ\* & Emre Ercan\***

*\*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
nmpiskin@gmail.com, ebru.eris@ege.edu.tr, emre.ercan@ege.edu.tr*

**Özet:** Yapay sinir ağları birçok mühendislik problemin de sıkça kullanılmaktadır. Kullanılan sinir ağ modelleri arasında, zaman serilerinde iyi sonuçlar veren Tekrarlı Sinir Ağlarının (Recurrent Neural Network-RNN) hidrolojik çalışmalarda kullanımı henüz çok yenidir. Tekrarlı Sinir Ağları içerisinde bulunan Uzun-Kısa Vadeli Hafıza (Long Short-Term Memory-LSTM) ağı uzun vadeli bağımlılıkları hatırlamada iyi sonuçlar vermektedir. Yapılan çalışmada akarsudaki akımı tahmin etmek için farklı girdilere sahip modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin birinde sadece akım verisi farklı ardışıklık oranlarında girdi olarak verilmiştir. Diğerinde ise hem yağış hem de akım aynı ardışıklık oranı ile modele girdi olarak tanılanmıştır. Oluşturulan farklı modeller ile akım tahmin edilerek karşılaştırılmıştır. Uygulama bölgesi olarak Akdeniz havzası seçilmiş ve yöntem bu havzadaki E09A020 no.lu Şahapkörü akım gözlem istasyonuna ait günlük akım ile 17954 no.lu Manavgat yağış gözlem istasyonuna ait günlük yağış verilerine uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uzun-Kısa Vadeli Hafıza, Akım Tahmini, Akdeniz havzası

## Giriş

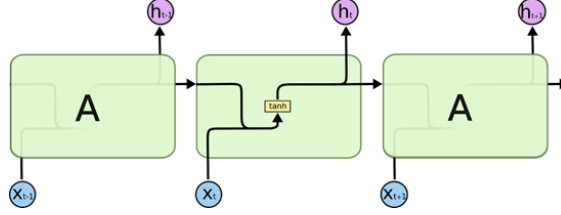
Su kaynaklarının planlaması ve doğru olarak kullanılmasında, hidrolojik çalışmalarda akarsu akımının modellenmesi ve tahmini önem taşımaktadır. Akarsu akımının modellenmesinde, fiziksel tabanlı matematiksel model formülasyonları içeren modeller, süreçlerin mekansal değişkenliğini, sınır koşullarını ve havzaların fiziksel özelliklerini ayrıntılı bir biçimde ele almaktadır. Bu nedenle bu tür modeller çok çeşitli ve sayıda hidrometeorolojik veriye ihtiyaç duyarlar.

Son yıllarda yapay sinir ağları mimarisi hidrolojik modellemelerde sıkça kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Tekrarlayan sinir ağları (RNN'ler), veri girişini sırayla işleyerek geçici dinamikleri anlamak için özel olarak tasarlanmış özel bir tür sinir ağı mimarisidir. RNN'de görülen zayıflığın üstesinden gelmek ve uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmek için ilk kez Uzun Kısa Vadeli Hafıza (Long Short-Term Memory-LSTM, UKVH) sinir ağı Hochreiter ve Schmidhuber (1997) tarafından geliştirilmiştir. UKVH ağları, bilgileri uzun süre hatırlama kapasiteleri nedeniyle son zamanlarda çalışmalarda kullanılmaktadır.

Akarsu akımının tahmininde UKVH yönteminin kullanımı çok yenidir (Kratzert ve ark., 2018; Tian ve ark., 2018), ülkemizde ise bu yöntem ile akım tahmini yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, UKVH yönteminin akım modellenmesinde kullanılabilme potansiyeli karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

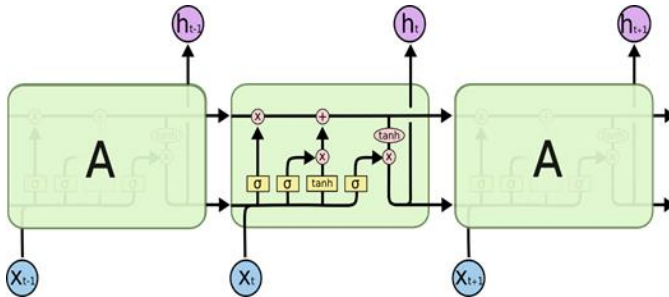
## Yöntem

Tekrarlayan Sinir Ağı (TSA), temelde ardışık sıralı bilgi kullanmaktadır. Geleneksel sinir ağında bütün girdi ve çıktılar birbirlerinden ayrı oldukları varsayılır. Fakat gelişen veri toplama sistemleri ve mühendislik alanlarındaki birçok problem için kullanışlı değildir. Ardışık ve birbirleri ile bağımlı hareket eden veriler ile oluşturulacak modeller için geliştirilmiş olan TSA'lar bu problemi çözmektedir. TSA'lar teorik olarak uzun vadeli bağımlılıkları hatırlayabilir, ancak pratikte sadece birkaç adım geriyi hatırlayabilmektedir. Şekil 1'de bir TSA örneği görülmektedir.



Şekil 1. TSA Örneği

Uzun-Kısa Vadeli Hafıza (UKVH'lar) temelde TSA'lardan farklıdırlar, fakat UKVH'larda uzun vadeli ardışık verileri hesaplayabilmek için farklı fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar UKVH'lar içerisindeki sıralı hücrelerde bulunurlar ve fonksiyonlar sayesinde hücrelerde geçmişten gelen veri ile yeni giren veri arasındaki benzerliklere göre veri unutulur veya ardışık bilgi sistemine dahil edilir. Bu sistemin uzun vadeli bağımlılıklarda çok daha etkili olduğu görülmüştür. Şekil 2'de bir UKVH örneği görülmektedir.

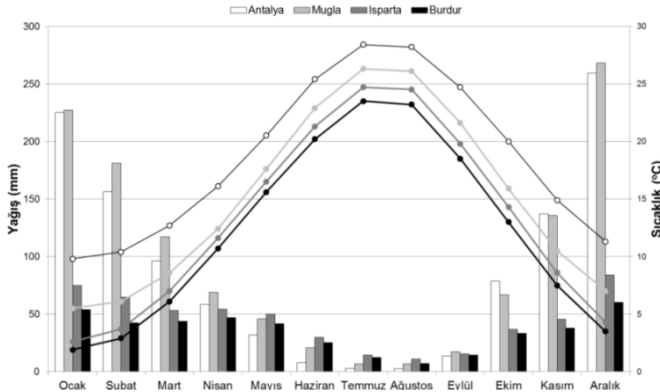


Şekil 2. UKVH Örneği

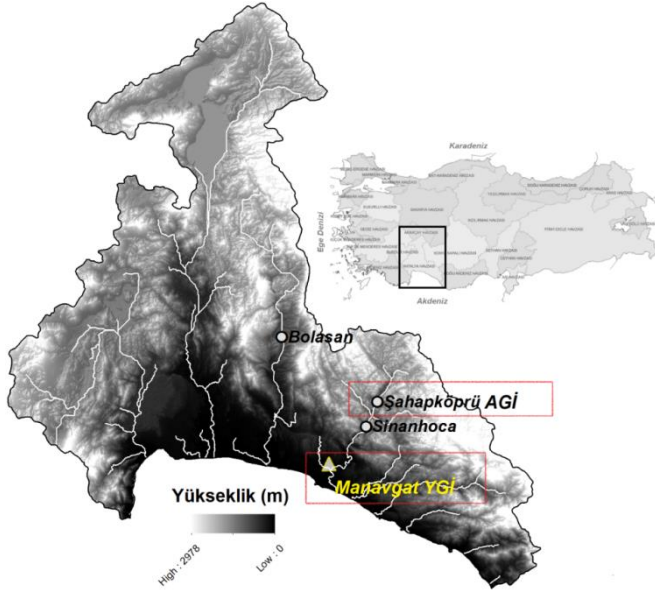
## Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

Çalışma alanı karstik yapıya sahip Akdeniz Bölgesi'dir. Kışın ılık ve yağışlı, yazın kurak ve sıcak iklime sahip Akdeniz Bölgesinde nadiren kar yağışı görülmektedir. Şekil 3'ten anlaşılacağı üzere bölgenin iç kesimi kıyı kesimlerine göre daha az yağış almaktadır. Antalya, Muğla, Isparta ve Burdur verilerine dayanarak bölgenin yıllık toplam yağış ortalaması yaklaşık 420 mm ile 1160 mm arasında değişmektedir. Bölgenin sıcaklık ortalaması ise 15 °C'dir.

Akım tahmini için yukarıda söz edilen yöntem Akdeniz havzasındaki E09A020 no.lu Şahapkörü akım gözlem istasyonuna (AGİ) ait günlük akım ile 17954 no.lu Manavgat yağış gözlem istasyonuna (YGI) ait günlük yağış verilerine uygulanmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma alanına ait uzun yıllar (1954-2013) yıllık toplam yağış ve sıcaklık ortalaması



Şekil 4. Çalışma alanı, AGİ ve YGI'nin konumları

### Uygulama ve Bulgular

Akım tahmini için aynı ardışıklık düzeyine sahip iki farklı model oluşturulmuştur. İlk model de sadece akım verisi ardışık olarak girdi verilmiştir. İkinci model de ise hem akım verisi hem de aynı zaman dilimine giren yağış verisi girdi olarak verilmiştir. İki model aynı katmanlar ve hiper parametreler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma aşamasında Ortalama Karese Hata Karakökü (RMSE), determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve Nash-Sutcliffe Hata (NSE) değerleri kullanılmıştır. (Denklem 1 ve 2).

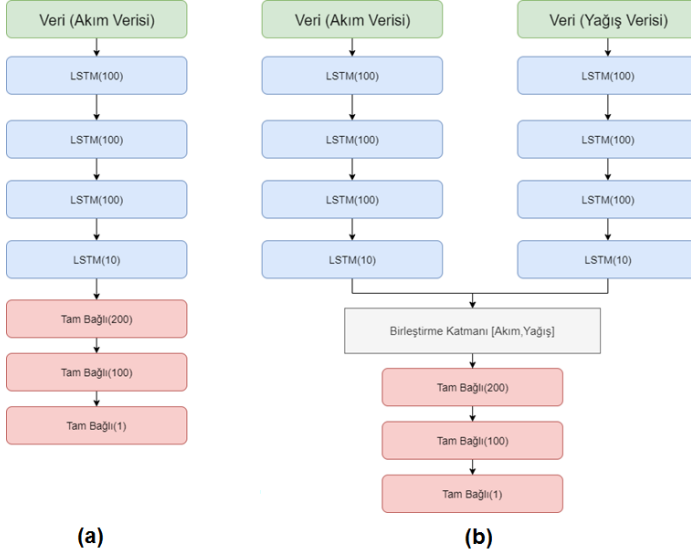
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_s^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_s^t)^2} \quad (2)$$

Burada;  $Q_0^t$  ve  $Q_s^t$  sırasıyla gözlem ve tahmin akım değerlerini,  $T$  ise zaman serisi uzunluğunu göstermektedir.



Oluşturulan UKVH modelleri Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 5(a)’da sadece akım verisi ile oluşturulan model. Şekil 5(b)’de akım ve yağış verisi ile oluşturulan model görülmektedir.



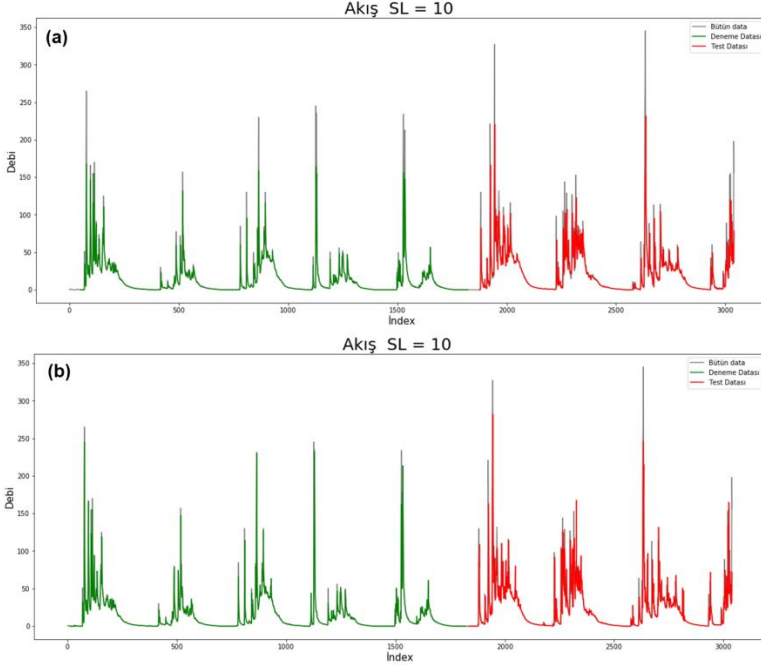
**Şekil 5.** Karşılaştırılan UKVH Modelleri

Modeller içerisinde aşırı öğrenmeyi engellemek için L2 Regülerizasyonu kullanılmıştır. Epoch parametresi 300, batch size 32 seçilmiştir. Optimizer olarak Adam optimizer, öğrenme hızı da 0.0001 seçilmiştir. Modeller oluşturulurken verinin %60’ı eğitim (kalibrasyon), %40’ı test (validasyon) için kullanılmıştır.

Akım tahminlerinde kullanılan modeller için “ardışıklık uzunluğu (sequence-length SL)” kaç adım geriye dönüp bakacağımızı temsil etmektedir. Eğer ardışıklık değeri 3 ise her 3 günlük veya aylık akım veya akım yağış verisinden sonraki akım değeri tahmin edilir. Bu işlem kayan pencere mantığı gibi düşünülebilir. Veriler birer birer kaydırılarak bütün veri seti taranır. Bu kapsamda oluşturulan iki model içinde aynı ardışıklık değeri kullanılmıştır. Çalışmada ardışıklık değeri 10 olarak seçilmiş olup her 10 günlük değer için 11. gün tahmin edilmiştir. Her iki model için elde edilen sonuçlar RMSE,  $R^2$  ve NSE değerlerine göre değerlendirilmiştir.

Şekil 6(a)’da sadece akım verisinin modelinden çıktı olarak alınan eğitim (kalibrasyon), test (validasyon) ve ölçüm değerlerinin grafiği görülmektedir. Şekil 6(b)’de ise akım ve yağış verisi girdi olarak verildiğinde tahmin edilen ve ölçüm değerlerin olduğu grafik görülmektedir. Her iki modele ait eğitim ve test verisinin model çıktılarının hata istatistikleri ise Tablo 1 ve 2’de verilmiştir. Model sonuçlarına

bakıldığında yağış ve akış verisinin girdi olarak verildiği modellerde daha iyi tahminler yapıldığı görülmüştür.



**Şekil 6.** Model sonuçları (a) akım ve (b) akım-yağış girdisi

**Tablo 1.** Eğitim (Kalibrasyon) verileri için hata istatistikleri

Hata Türü (Eğitim)	Model (Akım girdi)	Model (Akım ve yağış girdi)
RMSE	12	9
$R^2$	0.61	0.83
NSE	0.77	0.86

**Tablo 2.** Test (Validasyon) verileri için hata istatistikleri

Hata Türü (Test)	Model (Akım girdi)	Model (Akım ve yağış girdi)
RMSE	17	16
$R^2$	0.6	0.69
NSE	0.76	0.77

## **Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışmada, akarsu tahmininde özel bir Tekrarlayan Sinir Ağı olan Uzun Kısa Vadeli Hafıza yönteminin kullanılabilir potansiyeli araştırılmıştır. Akış ve yağış girdilerine sahip modeller ile sadece akım verisi ile oluşturulan modellerin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar; UKVH'nın performansının, farklı girdilere sahip modellerin sadece akım verisi girdili modellere göre daha yeterli ve tutarlı olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışma olarak, zaman serisi problemlerinde başarılı olduğu bilinen UKVH modelini, farklı akım gözlem istasyonları verilerinde de kullanılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca bu tip modellerin girdi verilerinde, akım verisi olmadan da akım verisini tahmin edilmesi konusunda test edilmesi önerilmektedir.

## **Kaynaklar**

Hochreiter, S., Schmidhuber, J., 1997, Long Short-Term Memory, *Neural Comput.*, 9, 1735–1780.

Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., Herrnegger, M., 2018, Rainfall–runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 6005–6022, <https://doi.org/10.5194/hess22-6005-2018>.

Tian, Y.; Xu, Y.-P.; Yang, Z.; Wang, G.; Zhu, Q., 2018, Integration of a Parsimonious Hydrological Model with Recurrent Neural Networks for Improved Streamflow Forecasting, *Water*, 10, 1655.

# MANİSA YENİ TERMİNALİ İLE AKGEDİK MAHALLESİ ARASINDAKİ TOPLU TAŞIMA HATTINDA MAZOTLU VE ELEKTRİKLİ OTOBÜS KULLANIMLARININ KIYASLANMASI

**Havva İNAL\* - Muhammet Emre ASLAN\*\* - Tülin ÇETİN\*\*\***

\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, havva.inal35@gmail.com*

\*\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
muhammetemreaslan@gmail.com*

\*\*\* *Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, tulin.cetin@cbu.edu.tr*

**Özet:** Son yıllarda, kara yollarında artan trafik yoğunluğu sebebiyle birçok sorunla karşılaşmaktadır. Bu sorunların en başında toplumu psikoloji ve sağlık gibi önemli konularda etkileyen, araç sayısının fazla oluşundan kaynaklı trafik yoğunluğu, ses ve çevre kirliliği gelir. Hava, kendi kendini yenileyebilmesine rağmen artan ulaşım çeşitliliği nedeniyle yenilenme gerçekleşmemektedir. Motorlu taşıtlarda ve enerji santrallerinde petrol ve kömür gibi yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan dumanın sisle birleşmesi sonucunda meydana gelen hava kirliliği deri, üst solunum yollarında birçok hastalığa yol açmaktadır. Bundan dolayı çevre, gürültü kirliliğine ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sebep olan zehirli gaz bileşenlerine sahip olan mazotlu otobüsler yerine enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynakları ile elde edilebildiği, yenilikçi ve çevreci ulaşım sistemlerine geçilmelidir. Toplu ulaşımında yaşam standartlarının iyileştirilmesi dikkate alınarak elektrikli otobüslere yer verilmiştir. Elektrikli otobüsler mazotlu otobüslerin neden olduğu gürültü ve çevre kirliliğine son vermesi, düşük işletme maliyetine sahip olması, ulaşım esnasında oluşabilecek problemlere yüklenen yazılımdan dolayı uzaktan müdahale edilmesine, uzun süre bakım ve onarım çalışmasına ihtiyaç duyulmamasına ek olarak insan sağlığı için hava kirliliğine sebep olmaması açısından da avantaj sağlamaktadır. Elektrikli otobüslerin kapasitesinin yüksek oluşu daha az otobüs kullanımını, daha az trafik yoğunluğu ve çevre kirliliğini sağlayacaktır. Çalışmaya konu olarak Manisa ilinin Yunusemre ilçesine bağlı olan Akgedik mahallesi seçilmiştir. Seçilen güzergah, Celal Bayar Üniversitesi'nin ana kampüsü olan Muradiye kampüsüne, İzmir iline, Manisa merkeze, Muradiye tren istasyonuna ve Manisa Organize Sanayi Bölgesine ulaşım sağlanmasından dolayı önem taşımaktadır. Çalışmanın amacı, Akgedik mahallesindeki toplu taşıma hattının 2018-2019 yılına ait veriler kullanılarak mevcut durum analizi ile toplu taşıma hatlarının hem mazotlu otobüslerle hem de elektrikli otobüslerle sağlanması durumunu ortaya çıkarmaktır. Çalışmanın sonucunda mevcut güzergâhta ki mazotlu otobüslerle yapılan ulaşımında yeni düzenlemelerle beraber yerini dünya çapında kullanımı yaygınlaşmaya başlayan elektrikli otobüslere bırakmasıyla ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli otobüs, Mazotlu Otobüs, Çevrecilik, Maliyet Karşılaştırılması, İnsan Sağlığı

## Giriş

Kara yollarında kullanılan araçların tümünün fosil kaynaklı yakıtlar ile çalışmaları ve kaynakların da zaman içinde tükenebilecek olması durumu, toplumu alternatif enerji kaynakları ile çalışabilen araçların arayışı içine sokmuştur. Yalnızca yakıt konusunun uygunluğu değil aynı zamanda ekonomik olması, doğada önemli tahribata neden olmaması, insan sağlığına zarar vermemesi, gürültü ve çevre kirliliğine neden olmaması açısından da uygunluğu hakkında çalışmalar yapılmıştır.

Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği, birçok ülkede karbondioksit (CO<sub>2</sub>) 'e göre vergilendirme yapılmış, elektrikli araç teşviklerini ülke bazında güncellemiştir. Pek çok Avrupa Birliği'ne üye ülke CO<sub>2</sub> vergisinin çeşitli türlerini, otomobil tescil ve/ veya mülkiyetinde uyguluyor. Avrupa Birliği ülkeleri; Avusturya, Belçika, Hırvatistan, Kıbrıs, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Portekiz, Slovenya, İspanya, İsveç ve İngiltere şeklinde sıralanıyor. Örneğin: İTALYA, elektrikli araçlar ilk tescil tarihinden itibaren beş yıl boyunca yıllık plaka vergisinden (alım vergisi) muaf tutulur. Bu beş yıllık dönemden sonra, eşdeğer benzinli araçlara uygulanan vergi oranı üzerinden yüzde 75'lik indirimden yararlanırlar. KIBRIS, 120 gramdan az CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleştiren araçlar, tescil vergisinden muaf tutulur. LETONYA, elektrikli araçlar, firma araç vergisinin en düşük miktarını öder (10 euro). LÜKSEMBURG, elektrikli ve yakıt hücreli araçlar, 5 bin euro tutarındaki tescil ücreti üzerinden vergi muafiyetinden yararlanır. Elektrikli araçlar aynı zamanda yıllık plaka vergisinin en düşük oranını öder. MACARİSTAN, elektrikli araçlar tescil vergisi, yıllık plaka vergisi ve firma araç vergisinden muaf tutulur.(Otomotiv Distribütörleri Derneği)

Elektrikli araçların, ülke ekonomisine de katkı sağladığı çalışmalar sonucunda raporlanmıştır. Örneğin: Avrupa Tüketici Örgütü (BEUC), IndustriAll European Sendikası, Air Liquide, European Aluminium, Enedis, Ulaşım & Çevre (T&E), EUROBAT, ABB, BMW, Lease Europe, Michelin, Valeo, ETUC ve Renault-Nissan'nın da katkı verdiği raporda: Elektrikli taşıma sayesinde, Avrupa 2030'da 49 milyar euro daha az petrol ithalatı yapacak. Hâlihazırda, Avrupa Birliği ham petrolünün yüzde 89'unu ithal etmekte ve bunun büyük bir kısmı ulaşım yakıtı olarak kullanılmaktadır. İthal petrol yerine yerel olarak üretilen enerji kullanımı, milyarlarca euro'nun Avrupa ekonomisinde kalmasını sağlayacaktır.

Karayollarında kullanılan araçların çevre ve gürültü kirliliğine yol açmaması, insan sağlığını tehdit etmemesi, sera gazı emisyon seviyelerini düşürmesi, yakıt için kullanılan ham maddenin sürdürülebilirliği göz önüne alınması açısından; daha sağlıklı, avantajlı toplu taşıma imkânı

sağlamak ve yaşanılabilir bir çevrenin gelecek nesillere bırakılabilmesi için elektrikli otobüsler toplu taşıma sistemlerinde kullanılmalıdır. Elektrikli otobüsler, düşük işletme maliyetleri ve sessiz çalışmalarıyla da avantaj sağlamaktadır.

Ulaşım sistemlerini daha verimli bir hale getirmek adına, önceki yıllarda da benzer çalışmalar yapılmıştır.(M.Sc.Thesis,2018) çalışmasında, hidrojenin yakıt hücreli otobüsler de faaliyetleri sırasında sıfır egzoz emisyonuna sahip olduğunu belirtmiştir. Ancak hidrojenin elde edilmesi ve bunun için gerekli olan sistemlerin altyapı maliyetleri sebebi ile yaygın olarak kullanımının kolay olamayacağı görülmektedir. Bu durum hidrojen yakıt hücreli otobüslere göre maliyet ve altyapı yatırımları açısından daha uygun olan elektrikli otobüsleri ön plana çıkarmaktadır.( Yeşil,2018) çalışmasında, elektrik motorlarının, fosil yakıt kullanan motorlara göre kaynak kullanımı açısından daha verimli olmaları ve bu nedenle tercih edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Yapılan benzer bir çalışmada; “Dizel bir otobüs %20’lik bir yolcu kapasitesi ile çalıştırıldığında, aynı sayıdaki yolcunun bireysel araçlar ile yapacakları bir yolculuk ile karşılaştırmasında; kilometrede yolcu başına düşen sera gazı salımının oranının bireysel taşımacılık araçları ile yapılan oranla üçte bir oranında daha az olması ve aynı deneysel çalışmada; yolcu sayısı arttırıldığında bu emisyon farkının arttığı gözlemlenmektedir. Otobüs tam kapasiteye ulaştığında, kişi başına emisyonunda otobüs, %90 daha az karbon salımı gerçekleştirmektedir.” (MRCagney Electric Bus Technology Transport Research Report).

Çalışmamızda, incelenen çalışmalardaki gibi hedeflenen güzergâhta; ekonomik , doğa dostu, insan sağlığına zarar vermeyen, gürültü ve çevre kirliliğine neden olmayan ulaşım sistemi araştırılmıştır.

### **Akgedik Mahallesi**

Akgedik, Manisa ilinin Yunussemre ilçesine bağlı bir mahalledir. 2018 yılı sayımlarına göre 2546 kişilik nüfusa sahiptir. (TÜİK) Manisa organize sanayi bölgesine ve İzmir iline, tren istasyonu ve Celal Bayar Üniversitesi’nin ana kampüsüne yakınlığı açısından önem taşımaktadır. Akgedik Mahallesi özel araç harici ulaşım, sadece belediyeye ait mazotlu otobüslerle yapılmaktadır.

Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı’ndan otobüs hatlarındaki araçların yolcu taşıma kapasiteleri, sefere başlama ve bitirme saatleri, güzergahın uzunluğu, gün içinde yapılan tur sayısı, bir turun toplam süresi, araç başı yapılan km, araç başı tur sayısı, aracın seferde

kaldığı süre, aracın toplam çalışma süresi, sefer başına yolcu sayısı, toplam yolcu sayısı, km. başına düşen yolcu sayısı gibi bilgiler alınmıştır. Bu veriler kullanılarak çalışma kapsamında, Akgedik Mahallesi için ulaşım sağlayan 2 hattın 17 ve 19 no.lu hatlar için mevcut yolcu sayısı, yolcu potansiyeli ve sefer süreleri tespit edilerek yolcu – zaman analizleri ve hem mazotlu hem de elektrikli otobüslerle ilgili yeni sefer düzenlemeleri yapılmıştır.

### **Akgedik Mahallesi Hatları İçin Kullanılan Mazotlu Otobüslerin Özellikleri**

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan bilgilere göre, çalışma kapsamında ki güzergah için kullanılan 8 m. boyundaki 57 kişi kapasiteli mazotlu otobüslerin fiyatı 350.000,- TL'dir. Belediyede kullanılan mazotlu otobüslerin yakıt giderleri ile ilgili Ulaştırma Daire Başkanlığının yaptığı çalışmaya göre, otobüslerin km başı mazot masrafları 2019 yılı itibariyle 1,75-TL'dir.

### **Akgedik Mahallesi Hatlarında Kullanılması Planlanan Elektrikli Otobüs Özellikleri**

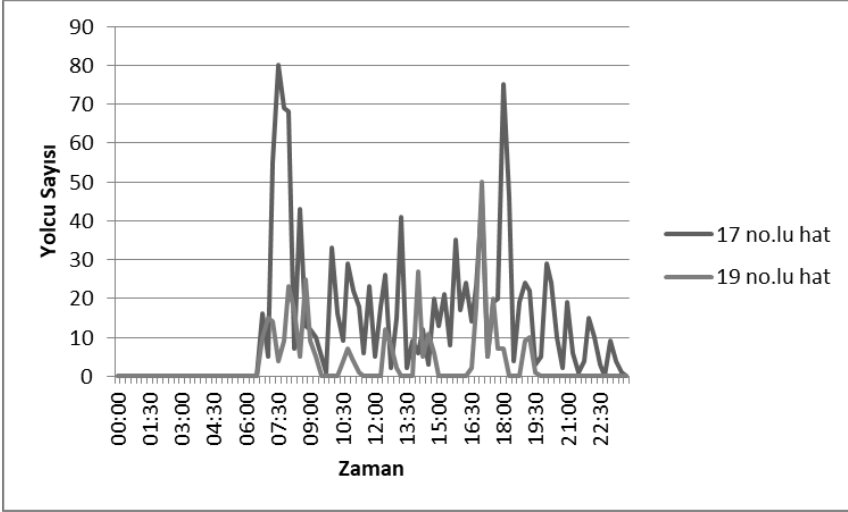
MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan bilgilere göre, Manisa şehir içinde kullanılan 18 m. boyundaki 125 kişi kapasiteli elektrikli otobüslerin birim fiyatları 2.760.655,-TL'dir. Elektrikli otobüslerin toplandığı alanda, otobüslerin bakımı için alanlar ve otobüsleri şarj etmek için şarj üniteleri bulunmaktadır.1 adet şarj ünitesi fiyatı 376.691,- TL'dir. Bu birim fiyatlar, belediyenin elektrikli otobüslerle ilgili alım bedelleridir. Elektrikli otobüslerin yakıt yani elektrik masrafı km başına 1,- TL'dir.

### **Akgedik Mahallesi Toplu Taşıma Hatları Mevcut Durum Analizi**

Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal arası hatta 17 no.lu otobüs sefer gerçekleştirmektedir. Hat için 8 adet araç çalışmaktadır. Güzergâh 38 km. uzunluğundadır ve 45 dk. sürmektedir.

Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal arası hatta 19 no.lu otobüs sefer gerçekleştirmektedir. Hat için 2 adet araç çalışmaktadır. Güzergâh 48 km. uzunluğundadır ve 55 dk. sürmektedir.

**Şekil 1.** Yolcu Adedi - Zaman Grafiği



Şekil 1’de hatların 15 dakikalık yolcu yoğunlukları gösterilmektedir. Çalışma kapsamında, yolcu yoğunluk değerlerine göre hat sefer sürelerine ve her bir hat için sefer arası mola süresine göre, her bir hatta bir aracın yapabileceği maksimum sefer sayısı çıkarılmıştır. Belirlenen maksimum sefer sayılarına göre her bir hattın sefer saatleri, sefer sıklıkları ve araç sayıları belirlenmiştir.

### **Hatlarda Mazotlu Ve Elektrikli Otobüs Kullanımı İçin Kapasite Belirleme**

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 18.Mart.2019 tarihli alınan günlük yolcu sayım verilerine göre 17 ve 19 no.lu güzergâh boyunca kullanılan otobüs sayısına göre araç başına düşen yolcu sayısı, Formül.1’de gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Araç Başına Yolcu Sayısı} = \text{Günlük Yolcu Sayısı} / \text{Araç Sayısı} \quad (1)$$

Hatlar için belirlenen araç sayıları ve maksimum sefer sayılarına göre, hatların günlük yolcu taşıma kapasiteleri Formül.2’de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan araçların yolcu kapasiteleri 57’dir.

$$\text{Günlük Yolcu Taşıma Kap.} = \text{Araç Kap.} \times \text{Araç Sayısı} \times \text{Max. Sefer Sayısı} \quad (2)$$

Otobüs sefer sayıları Formül.3’te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Bu



formül mevcut durumda kullanılan mazotlu otobüsler için kullanılırken araç yolcu kapasitesi 57 olarak alınmıştır.

$$\text{Otobüs Sefer Sayısı} = \text{Yolcu Sayısı} / \text{Otobüsün Kapasitesi} \quad (3)$$

Formül.3 ile hesaplanan toplam otobüs sefer sayıları ile hatlarda kullanılması planlanan 10 adet otobüs dikkate alındığında, Formül.4 ile otobüs başına düşen günlük sefer sayısı hesaplanmıştır.

$$\text{Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı} = \text{Otobüs Sefer Sayısı} / \text{Otobüs Sayısı} \quad (4)$$

Alınan verilere ve verilen formüllere göre 17 ve 19 no.lu hatlarla ilgili hesaplanan yolcu kapasite değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1.** 17 ve 19 No.lu Hatların Yolcu Kapasiteleri

Hat No	Günlük Yolcu Sayısı	Araç Sayısı	Araç Başına Yolcu Sayısı	Günlük Yolcu Taşıma Kapasitesi
17 No.lu	1278	8	160	3648
19 No.lu	352	2	176	912

Tablo 1’de de görüldüğü gibi günlük toplam yolcu sayımız 1630 kişidir.

**Tablo 2.** 17 ve 19 No.lu Hatların Sefer Sayıları

	Kişi S.	Kapasi te S.	Sefer S.	Otobüs S.	Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı	17no.Lu Hat S.S.	19no.Lu Hat S.S.
Mazot. Ot.	1630	57	30	10	3	24	6
Elek. Ot.	1630	125	16	2	8		

Alınan verilerle ve verilen bilgilere göre Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal hattı mevcut durum analizindeki mazotlu otobüsler ile elektrikli otobüsler için 17 ve 19 no.lu hatlarla ilgili hesaplanan gerçekleştirilmesi gereken sefer sayıları Tablo 2’de verilmektedir.

## **Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Hattında Mazotlu Ve Elektrikli Otobüs Kullanımına Göre Maliyet Karşılaştırılması**

### **Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Hattı Arasında Yalnızca Mazotlu Otobüs Kullanımı İle Oluşan Maliyet Hesabı:**

Mazot, benzin gibi akaryakıt türlerine KDV'ye ek olarak özel tüketim vergisi (ÖTV)'de alınmaktadır. Türkiye'de söz konusu yakıtların piyasa bedelleri diğer ülke ortalamalarının çok üstündedir. Bu nedenle bu yakıtlara dayalı toplu taşıma sistemlerinde yakıt masrafları, ekonomik açıdan dezavantaj sağlamaktadır.

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 2019 yılı mart ayı verilerine göre mazotlu otobüslerle ilgili günlük giderler Tablo 3'te verilmektedir. Şoförler ortalama 2.523,- TL maaş almaktadır. Belediyenin kullandığı mazotlu otobüslerin alım maliyeti 350.000,- TL ve km başı yakıt masrafı 1,75- TL'dir. Mazotlu araçların 20.000 km. 'de bir periyodik bakımlarının yapılması gereklidir ve bu bakımın maliyeti 1.500,- TL'dir. Mazotlu otobüsün motorlu taşıtlar vergisi (MTV) 6 aylık 1.300,-TL'dir. Tüm gider değerleri günlüğe çevrilerek, Tablo 3'te gösterilmiştir.

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 18.Mart.2019 tarihli alınan günlük yolcu sayım verilerine göre 17 ve 19 no.lu güzergâh boyunca kullanılan otobüslerin;

$$\text{TOAM} = (\text{Otobüs Alım Maliyeti} / \text{Faydalı Ömür (5yıl)/ Gün}) \times \text{Araç Sayısı}(10) \quad (5)$$

Otobüs Sayısına Göre Toplam Otobüs Alım Maliyeti (TOAM)

$$\text{ŞMÜ} = (\text{Şoför Aylık Maaş} / 30) \times \text{Araç Sayısı} \quad (6)$$

Günlük Şoför Maaş Ücreti (ŞMÜ)

$$\begin{aligned} \text{GYM} &= (17 \text{ no.lu hat) Yakıt km. bedeli } (1,75) \times 38 \times \text{Günlük Sefer Sayısı}(8 \times 3) \\ &+ (19 \text{ no.lu hat) Yakıt km. bedeli } (1,75) \times 48 \times \text{Günlük Sefer Sayısı}(2 \times 3) \quad (7) \end{aligned}$$

Günlük Yakıt Masrafı (GYM)

$$\text{PBM} = (((17 \text{ no.lu hat günlük sefer sayısı}) \times 38 \text{ Km} + (19 \text{ no.lu hat günlük sefer sayısı}) \times 48 \text{ Km}) \times 1500) / 20.000 \quad (8)$$

Günlük Periyodik Bakım Masrafı (PBM)

$$\text{TGM} = \text{Vergi Ücreti} + \text{TOAM} + \text{ŞMÜ} + \text{GYM} + \text{PBM} \quad (9)$$

Toplam Gider Maliyeti (TGM) , gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Günlük Mazotlu Otobüs Giderleri

MTV	Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Yakıt Maliyeti	Günlük Periyodik Bakım	Toplam Gider
72.2	1917.8	841	2100	90	5021

Tablo 3'te mazotlu otobüslerin günlük toplam maliyeti gösterilmiştir.

**Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Hattı Arasında Yalnızca Elektrikli Otobüs Kullanımı İle Oluşan Maliyet Hesabı:**

Elektrikli otobüs kullanımı birçok ekonomik avantaj sağlar. Bunlardan bazıları, bakım ve yakıt maliyetinin az olmasıdır. Çalışmada dikkate alınan güzergâhta elektrikli otobüsler için sadece başlangıç noktasındaki şarj istasyonu, otobüslerin menzilleri dikkate alındığında şarj dolumu için yeterlidir. Bu nedenle göz önüne alınan maliyette sadece 1 adet şarj ünitesi dikkate alınmıştır. 1 adet şarj ünitesi 376.691,- TL'dir. Tablo 4'de elektrikli otobüsün günlük gider maliyeti gösterilmektedir.

**TABLE 4.** Günlük Elektrikli Otobüs Giderleri

Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Enerji Maliyeti	Şarj Cihazı Bedeli	Toplam Gider
3025.38	168.2	608	0.41	3801.99

Tablo 4'de elektrikli otobüslerin günlük toplam maliyeti gösterilmiştir.

Formül.10'da Toplam Kilometre Gideri (TKG) hesaplanmıştır. Elektrikli otobüslerde 17 no.lu hattın uzunluğu olan 38 km uzunluğundaki yol tercih edilmiştir.

$$\text{Toplam Km. Gideri} = \text{Toplam Sefer Sayısı} \times 38 \times 1 \quad (10)$$

Formül.11'de Şarj Cihazı Maliyeti hesaplanmıştır.

$$\text{Şarj Cihazı Maliyeti} = (\text{Şarj Cihazı Maly.} / \text{Faydalı Ömür})$$

$$(5\text{yıl})/\text{Gün} ) \times \text{Araç Sayısı} \quad (11)$$

Formül.12’de Toplam Gider Maliyeti hesaplanmıştır.

$$\text{TGM} = \text{TOAM} + \text{ŞMÜ} + \text{Toplam Km. Gideri} + \text{Şarj Cihazı Maliyeti} \quad (12)$$

### **Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Hattı Arasında Yarısı Mazotlu Yarısı Elektrikli Otobüs Kullanımı İle Oluşan Maliyet Hesabı:**

1630 yolcunun yarısı mazotlu otobüslerle yarısı ise elektrikli otobüslerle taşınması durumu için maliyet durumu araştırılmıştır. Tablo 5’de ulaşımda yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüs tercih edilirse, otobüs sayıları ve sefer sayılarının nasıl olacağı gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Mazotlu ve Elektrikli Otobüslerin Adet ve Sefer Sayıları

	Kişi S.	Kapasite S.	Sefer S.	Otobüs S.	Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı	17 no.lu Hat S.S.	19 no.lu Hat S.S.
Mazotlu Ot.	815	57	16	2	8	1	1
Elektrikli Ot.	815	125	7	1	7		

### **Yarısı Mazotlu Yarısı Elektrikli Otobüs Kullanımı Seçimlerine Göre Maliyet Hesabı:**

Tablo 6’da güzergâhta yolcuların yarısının mazotlu otobüslerle yarısının elektrikli otobüslerle taşınması durumunda otobüslerin gider maliyet durumları gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Yarısı Mazotlu ve Yarısı Elektrikli Otobüslerin Gider Maliyetleri.

	MTV	Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Yakıt Maliyeti	Günlük Periyodik Bakım	Şarj Cihazı	Toplam Gider
Mazotlu O.	14.4	383.56	168.2	2408	103.2	-	3077.36
Elektrikli O.	-	1512.69	84.1	266	-	0.21	1863

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yalnız elektrikli otobüslerin kullanımı sonucu gider maliyeti daha düşük çıkmaktadır.

## **Sonuç**

Çalışmaya konu olarak Manisa ilinin Yunusemre ilçesine bağlı olan Akgedik mahallesi seçilmiştir. Akgedik mahallesi, Celal Bayar Üniversitesi'nin ana kampüsü olan Muradiye kampüsüne, İzmir iline, Manisa merkeze, Muradiye tren istasyonuna ve Manisa Organize Sanayi Bölgesine yakın mesafededir. Akgedik mahallesi, gelişmekte olan bir yerdir. Konumundan dolayı önem taşımakta ve son yıllarda çalışmalar yapılmaktadır. 2018 yılında yapılan TOKİ'ler nedeniyle nüfusu hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Çalışmamızda mazotlu ve elektrikli otobüslerle toplu ulaşım adına analizler yaparak daha ekonomik, çevreci ve yenilikçi ulaşım sistemlerinden yararlanmayı hedefledik.

Elektrikli otobüslerin kullanımı ile hem yakıt tüketiminin azaltılması maddi olarak kazanç sağlanmakta hem de zehirli gaz bileşenlerinin çevreye verdiği zarar indirgenmektedir. Aynı zamanda elektrik enerjisinin üretim kaynağının yenilenebilir enerji kaynaklarından olması elektrikli otobüsün çevre dostu oluşunu desteklemektedir. Bunun nedeni elektrikli otobüsün sifıra yakın CO<sub>2</sub> salınımını sağlamasıdır.

Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Arası hatta yalnızca elektrikli otobüs ile sağlanan ulaşım, yalnızca mazotlu ve yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüs kullanımı ile sağlanan ulaşımdan mali açıdan daha avantajlıdır. Yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüsle sağlanan ulaşım, yalnızca mazotlu otobüs kullanımı ile sağlanan ulaşımdan daha fazla maliyete sahiptir. Yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüsle sağlanan ulaşım kullanımı mali açıdan en yüksek gidere sahiptir.

Çalışma sonucunda, Akgedik Mahallesi-Manisa Yeni Terminal Arası hatta yalnızca elektrikli otobüs kullanımı çevre dostu olması, gürültü kirliliğini indirgemesi, bakım/onarım kolaylığı, ulaşım anında herhangi bir olumsuzluğa karşı uzaktan önlem alınabilirliği gibi birçok açıdan avantajlıdır.

## **Teşekkür**

Çalışmamız süresince yardımları ve destekleri için, Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığına teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

[http://www.odd.org.tr/web\\_2837\\_1/entitalfocus.aspx?primary\\_id=1894&target=categorial1&type=31&detail=single](http://www.odd.org.tr/web_2837_1/entitalfocus.aspx?primary_id=1894&target=categorial1&type=31&detail=single)

<https://www.dunya.com/dunya/elektrikli-araclar-avrupada-petrol-tuketimini-azaltiyor-haberi-404322>

M.Sc.Thesis, (2018) , Economic Evaluation Of Urban Electric Bus Charge Stations: Case Of Eindhoven, The Netherlands İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü

MRCagney Electric Bus Technology Transport Research Report

OtomotivDistribütörleriDerneği,[http://www.odd.org.tr/web\\_2837\\_1/entitalfocus.aspx?primary\\_id=1894&target=categorial1&type=31&detail=single](http://www.odd.org.tr/web_2837_1/entitalfocus.aspx?primary_id=1894&target=categorial1&type=31&detail=single)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)

Yeşil, (2018),Şehir İçi Ulaşımında Enerji Verimliliği Ve Çevre Kirliliği Açısından Elektrikli Otobüs Kullanımının Araştırılması : İzmir Örneği, Yüksek Lisans Tezi,Ege Üniversitesi

**CHEMICAL ENGINEERING / KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

## TRAGACANTH GUM BASED SELF-HEALING HYDROGELS

İsmail Kutlugün AKBAY & Müge AŞIK UĞURLU & Rükân GENÇ\*

\* Mersin University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering,  
33343, Yenişehir/Mersin

**Abstract:** Hydrogels are widely used in biomedical areas because of their high adsorption capacity, large surface area, and chemical stable properties. The Tragacanth Gum (TG) hydrogels was prepared cross-linked with glutaraldehyde to self-healing hydrogel. TG hydrogels were loaded with a model drug is cefazolin, to investigate their controlled release characteristics. Drug release is an advanced topic for pharmacological studies. To ensure its controlled delivery in the right place at the right time, the release model of the prepared drug system should be well defined. In this study, Tragacanth gum-based self-healing hydrogels were synthesized for drug release studies of Cefazolin as model therapeutic molecule. Different concentrations of gum were studied for evaluation of the studied release models. Several different release models were evaluated to understand the main mechanism of the release. Concentration based models cannot be fitted with this hydrogel/drug system. Other model-dependent models are also studied and concluded with better regression values. Weibull Model has the best regression values for all samples and selected as the best defining release model for Tragacanth/Cefazolin based drug release system.

**Keywords:** Tragacanth gum, self-healing gel, drug release, release models

**Corresponding author:** Assoc. Prof. Rükân GENÇ

### Introduction

In the last decades, drug delivery systems have enrolled as tiny vehicles protecting pharmacological properties of drugs and carry/release them into the targeted specific organs in a controlled manner. Many of the early problems that can affect the recovery process have been overawed and several drug release systems now accepted for medical usage. Recently, drug release systems are researched to vary the kinetics and dispersal of their accompanying drugs or to utilize as drug reservoirs.

Hydrogels, which practices a group of polymeric materials, deliver them proficient of possessing high amounts of water with their three-dimensional networks. The capability of hydrogels to absorb water is the result of hydrophilic functional groups attached to the polymeric backbone, whereas their conflict to dissolution occurs from cross-links within the polymeric matrix. Hydrogels have received significant awareness in the



past decades, owing to their remarkable promise in a wide range of applications.

The model of self-healing materials depends on the utilization of noncovalent, transient bonds to create networks. The self-healing polymers are capable of healing the damaged matrix. When the ruptured sides are in close nearness to each other, fluid agents, or active functional groups can tie the crack to repair the physical properties of the polymeric materials and composites.

Tragacanth gum is a natural sap that can be attained from numerous Middle Easternian plants and is a complex polysaccharide mixture of D-galactose, D-xylose, D-galacturonic acid, and L-arabinose. Tragacanth gum is a viscous, unscented, crude sap and has a long history of usage such as illness remedy, coughing paste, coloring binder and so on. With its high hydrophilicity as well as self-healing capabilities, it draws the attention of researchers for numerous studies. Moreover, with its non-toxic character, it could be a valuable substance when it comes to drug release studies.

In this study, we synthesized Tragacanth-based hydrogels and released the encapsulated drug in a controlled environment. Various drug release models were employed to the data, to determine the release models and the results were compared with different studies.

## **Materials and Methods**

Tragacanth Gum (TG) was obtained from an herbs market in Istafan, Iran. The obtained TG was purified to obtain pure TG particles. Gluter Aldehyde (25 % w/v) was obtained from Acros Organics. Citric acid was purchased from Sigma-Aldrich with a purity of 99 %. PBS tablets were purchased from Sigma-Aldrich. Ultra-pure water was used for all experiments throughout the study with an 18 M $\Omega$ .cm current.

Cefazolin was utilized as the model drug. The drug was added to the reaction solution by 1% w/v. Various amounts (60, 80 and 120 mg/mL) of TG were added to the 2 mL of gluteral aldehyde solution. Citric acid was used as the activator and (20 mg/mL) pre-decided amount was added. The solution was stirred until a homogenous solution was obtained. The prepared solution was transferred into a plastic tube. The prepared tubes were kept at 4 °C for 24 hours. The prepared samples were named after the TG concentration as TG60, TG80, and TG120.

Drug release models were studied in 0.01 M PBS solution. The pH of the solution was 7.4 before the experiments. 0.1 g of each wet hydrogel was

added to the 10 mL of PBS in a glass tube. To simulate the circulatory system, all the solutions for each sample were replaced with pristine PBS solution for different time periods. Collected samples were kept at 4 °C for further analysis. The amount of release was found with a UV spectrometer with calibration plot.

#### Self-Healing Test

The hydrogels were cut with the aid of a scalpel and reassembled from the incision site. Self-healing behaviour of hydrogels was recorded with photographs.

#### Tensile Test

The hydrogel was bound with a rope and 3.5 grams of magnets were slowly added to the tip, and the weight at which the gel was fractured was recorded. Moreover, the elongation after fracture values were also calculated with a laboratory type calliper.

#### Release Models

##### *Zero-Order Model*

Data obtained from the drug release study were plotted as cumulative amount versus time. This model does not depend on drug concentration. Zero-order model can be presented by,

$$Q_t = Q_0 + Kt \quad (1)$$

where  $Q_t$  is the amount of drug released at a time,  $Q_0$  is the initial amount in the solution and  $t$  is the time.

##### *First-Order Model*

The release of the drug for First-order model can be presented by,

$$\ln C = \ln C_0 - k \cdot t \quad (2)$$

where  $C_0$  is the initial amount of drug concentration,  $k$  is the first-order constant and  $t$  is the time. The plotted data would yield a linear line with a slope of  $-k$ .

##### *Second-Order Model*

Data obtained from the drug release study were plotted as inverse cumulative release amount versus time. This model defines the

concentration dependant release models. The second-order model can be given by,

$$1/C_0 - 1/C = k.t \quad (3)$$

where  $C_0$  is the initial amount of drug concentration,  $k$  is the second-order constant and  $t$  is the time.

#### *Higuchi Model*

This model defines the drug release from a matrix system. There are several limiting hypotheses that, initial drug amount should be higher than drug solubility in the release medium, only one dimension should be active for diffusion, drug particles should be smaller than hydrogel thickness, there should be no dissolution of matrix, diffusivity of drug should be continuous and the release medium should be changed for each sample. The model can be given as,

$$Q/A = \sqrt{D(2C - C_s)C_s t} \quad (4)$$

where  $Q$  is the amount of released drug per area  $A$ ,  $C$  is the initial drug amount,  $C_s$  is the solubility of the drug,  $D$  is the diffusivity coefficient and  $t$  is the time.

Baker-Lonsdale model is a modified Higuchi model and it should be plotted as  $d(M_t/M_\infty)/dt$  versus root of time inverse.

#### *Hixson-Crowell Model*

To study the release kinetics for the Hixson-Crowell model, the data should be plotted as the cube root of the drug released from matrix versus experiment time. The equation can be expressed by,

$$W_0^{1/3} - W_t^{1/3} = k.t \quad (5)$$

where  $W$  is the amount of drug in the hydrogel,  $t$  is the time and  $k$  is the surface-volume relation constant.

#### *Korsmeyer-Peppas Model*

This model usually used for cylindrical hydrogels and tablets. To study this model, release data should be plotted as the log released drug amount versus log time.

$$\log\left(\frac{M_t}{M_\infty}\right) = \log K + n.log t \quad (6)$$

where  $M$  is the released drug amount,  $M_{\infty}$  is the equilibrium released drug amount,  $K$  is the release constant and  $n$  is the release exponent.

### Weibull Model

This model can be expressed as,

$$-\ln\left(1 - \frac{M_t}{M_{\infty}}\right) = \ln\alpha + \beta \ln t \quad (7)$$

where  $M$  is the released drug amount,  $M_{\infty}$  is the equilibrium released drug amount,  $\alpha$  and  $\beta$  are the release constants and  $t$  is the time.

## Results and Discussion

### Self-Healing Tests

Figure 1 shows that the prepared hydrogels and their self healing property. The prepared gels were cut purposely and with less than minutes, the cut gels healed with perfect condition. Moreover, the self-healed gels can be bend, elongate or compress like undamaged gels.

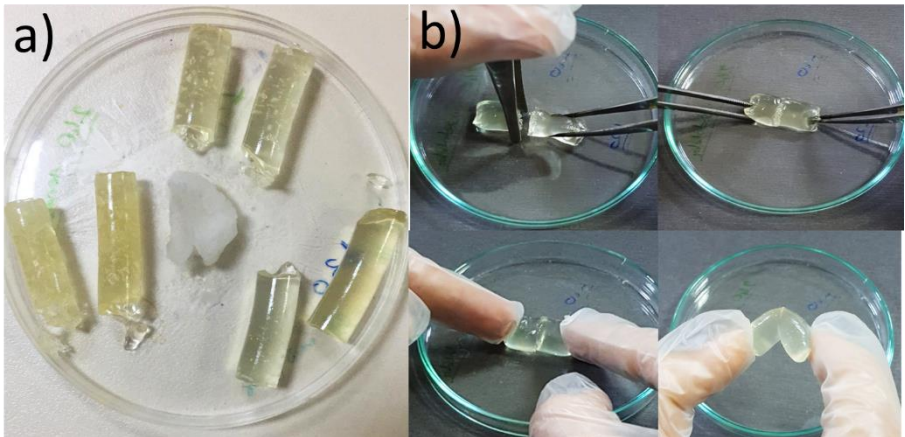


Figure 1. The prepared gels and their self-healing behaviour

### Tensile Tests

The tensile values after self healing is one of the most defining values for self-healing materials. Even with self-healing mechanism, a low tensile value means nothing for the reusability ability. Table 1 shows the tensile strength values for the samples and Table 2 shows the elongation after fracture values before and after the self healing mechanism. The results showed that the TG80 sample shows the best mechanical strength after self

healing mechanism. The results showed that the self-healed samples can be used after healed with similar properties.

Table 1. Tensile Strength values of samples before and after self-healing

Temperature	TG60 (kPa)	TG80 (kPa)	TG120 (kPa)
24 °C	0.51 / 0.51	2.53 / 1.85	2.47 / 1.47
4 °C	0.73 / 0.65	2.78 / 2.05	1.35 / 0.78
-20 °C	0.48 / 0.36	2.21 / 1.65	1.75 / 1.45

Table 2. Elongation after Fracture values of samples before and after self-healing

Temperature	TG60 (%)	TG80 (%)	TG120 (%)
24 °C	10 / 10	17.5 / 16	5 / 5
4 °C	7.5 / 5	5 / 5	5 / 5
-20 °C	16.5 / 12.5	7.5 / 6	15 / 12.5

## Release Studies

In order to describe the drug release for different time periods within the release medium, different concentration-based and model-based release models should be studied. The release plots for zero-order release model are given in Figure 2. The figure shows that the release model is not fit the zero-order model. Low  $R^2$  values also indicate that the fitted data is not suitable for the zero-order model.

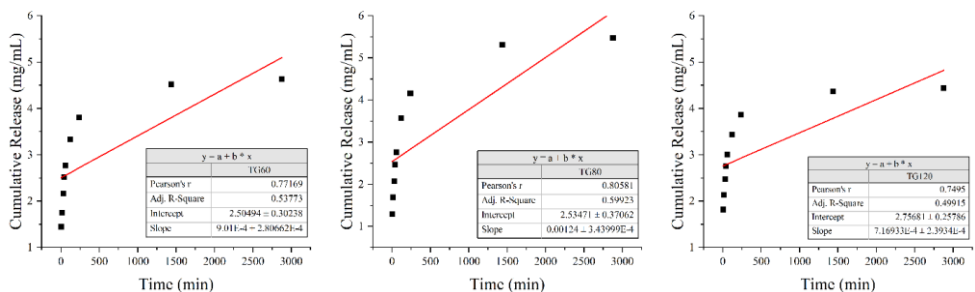


Figure 2. Zero-order model plots for release study

The release plots for the first-order release model are given in Figure 3. First order release mechanism depends on drug concentration within the hydrogel matrix. Figure 3 indicates that the release model for our study is concentration-dependent. Unfortunately, first-order release mechanism not suitable for our case due to low  $R^2$  values for all three sets.

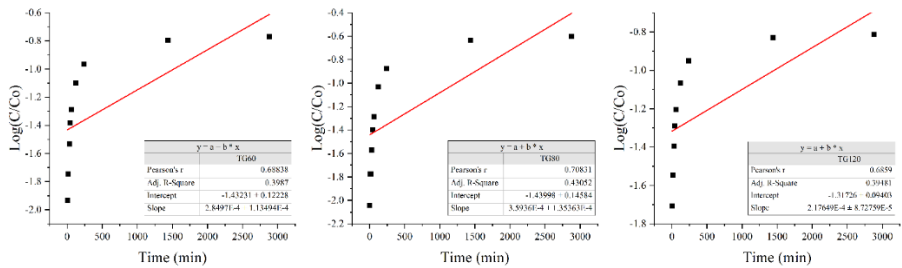


Figure 3. First-order model plots for release study

The release plots for the second-order release model are given in Figure 4. Like first order, second order release mechanism depends on drug concentration within the hydrogel matrix. Figure 4 indicates that the release data is not fit due to low Pearson's r values for each set. This implies that our release mechanism could not be modeled by concentration based release models.

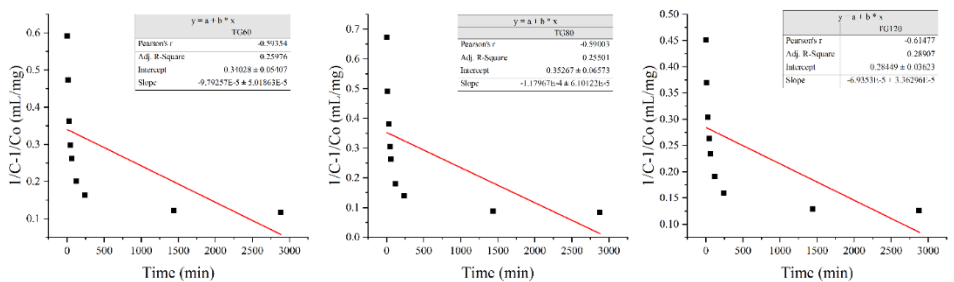


Figure 4. Second-order model plots for release study

The release plots for the Hixson-Crowell model are given in Figure 5. The fitted data shows that the release mechanism cannot be expressed with this model. The model could only be used if the release would occur on the edges of the hydrogel. It could be possible that the samples are releasing the drug from all of its surfaces.

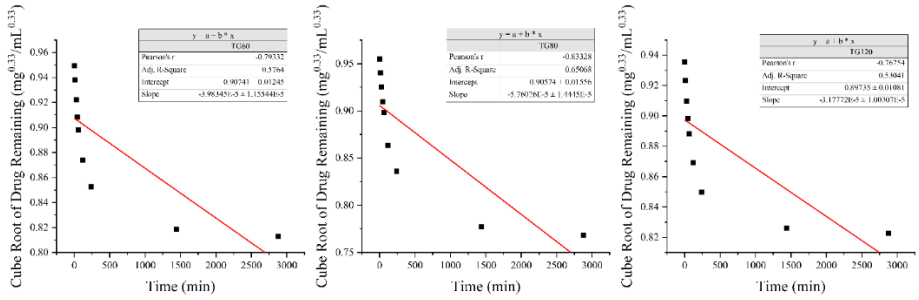


Figure 5. Hixson-Crowell model plots for release study

The release plots for the Baker-Lonsdale model are given in Figure 6. The data shows that TG60 sample is well fitted for this model. Unfortunately, increased gum content has diminished the fitting of the data. One can say that the increased gum content for this case could decrease the drug to hydrogel interaction due to the decrement of free space within the hydrogel matrix.

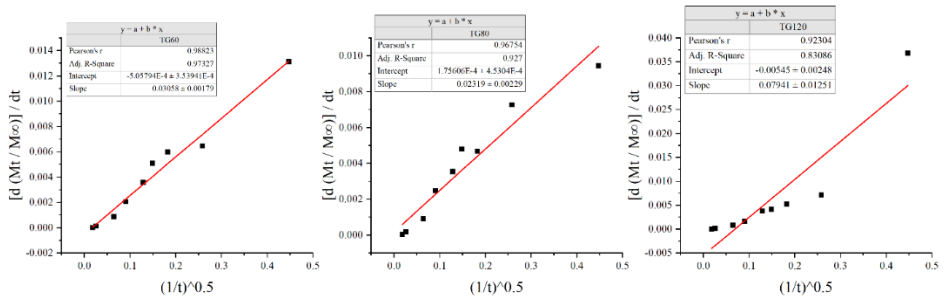


Figure 6. Baker-Lonsdale model plots for release study

The release plots for the Korsmeyer-Peppas model are given in Figure 7. It can be seen that the data is well-matched with the model. Moreover, the slope of the plots showed that the release law for our case could be implied as Fickian diffusion. High regression values were achieved for all samples.

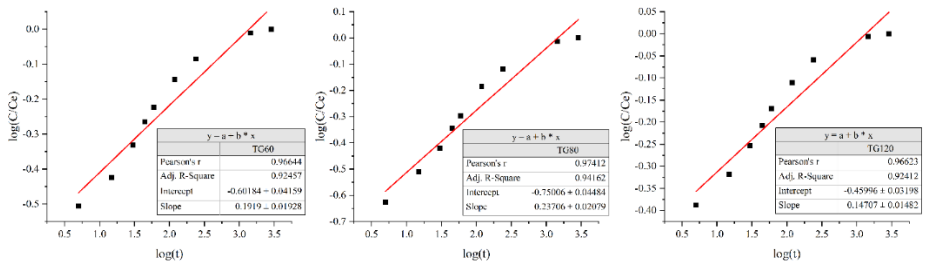


Figure 7. Korsmeyer-Peppas model plots for release study

The release plots for the Higuchi model are given in Figure 8. It can be seen that the data is well-matched with the model. High  $R^2$  and Pearson's  $r$  values were achieved for each sample. Only the TG120 sample has rather low results than other two samples. These results showed that drug diffusion is constant.

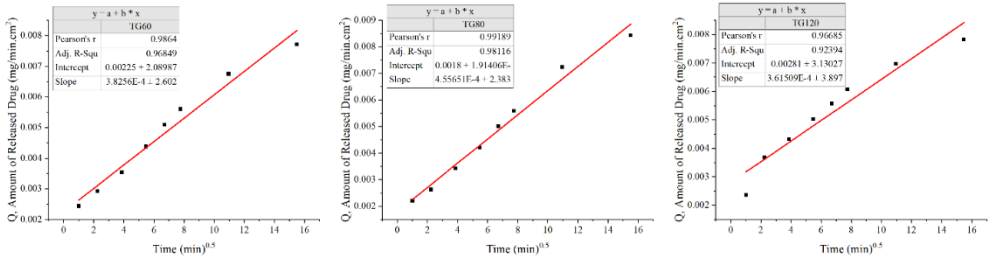


Figure 8. Higuchi model plots for release study

The release plots for the Weibull model are given in Figure 9. All samples well matched for this model. Both Pearson's  $r$  and regression coefficient values are very high for this model. Moreover, slope values for all sample, which corresponds for  $\beta$  in Weibull model, indicates that the release of Cefazolin is Fickian diffusion ( $\beta \leq 0.75$ ).

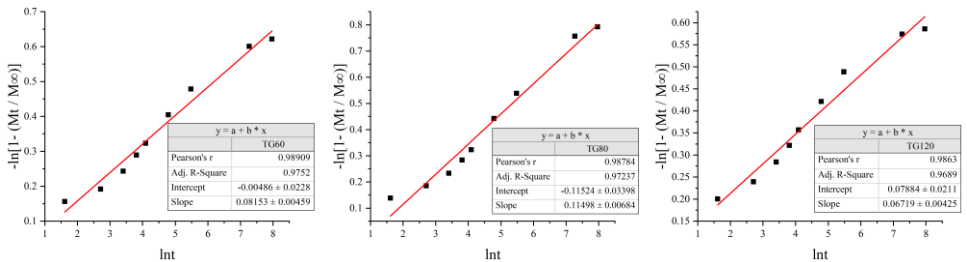


Figure 9. Weibull model plots for release study

The results showed that the prepared hydrogel can be used effectively for drug delivery studies according to fitted models. With this study, different release medium can be studied with ease. The well-fitted models indicate that the release mechanism for Cefazolin/Tragacanth gum-based hydrogel is Fickian diffusion. The regression values for all studied models are given in Table 3.



Table 3. Regression values for the studied release models

Model	TG60				TG80				TG120			
	P. r	R <sup>2</sup>	Int.	Slp.	P. r	R <sup>2</sup>	Int.	Slp.	P. r	R <sup>2</sup>	Int.	Slp.
<i>Zero</i>	0.77	0.54	2.50	9.01E-4	0.81	0.60	2.53	1.24E-3	0.75	0.50	2.76	7.17E-4
<i>First</i>	0.69	0.40	-1.43	2.85E-4	0.71	0.43	-1.44	3.59E-4	0.69	0.39	-1.32	2.18E-4
<i>Second</i>	-0.59	0.26	0.34	-9.79E-5	-0.59	0.26	0.35	-1.18E-4	-0.61	0.29	0.28	-6.93E-5
<i>Hixson</i>	-0.79	0.58	0.91	-3.98E-5	-0.83	0.65	0.91	-5.76E-5	-0.77	0.53	0.90	-3.18E-5
<i>Baker</i>	0.99	0.97	-5.06E-4	0.031	0.97	0.93	1.76E-4	0.023	0.92	0.83	-0.0055	0.080
<i>Peppas</i>	0.97	0.92	-0.60	0.19	0.97	0.94	-0.75	0.24	0.97	0.92	-0.46	0.15
<i>Higuchi</i>	0.99	0.97	0.0023	3.83E-4	0.99	0.98	0.0018	4.56E-4	0.97	0.92	0.0028	3.61E-4
<i>Weibull</i>	0.99	0.98	-0.0049	0.081	0.99	0.97	-0.12	0.11	0.99	0.97	0.079	0.068

## Conclusion

In this study, we aimed to investigate the possible release models for Cefazolin release for this purpose various release models are studied. In this regard, cumulative release data for TG60, TG80 and TG120 samples were used. The results for zero, first, and second-order release mechanisms showed that the release of Cefazolin from Tragacanth Based hydrogel is concentration-dependent. Hixson-Crowell's model shows that the release mechanism cannot be expressed with this model. Baker-Lonsdale, Korsmeyer-Peppas, and Higuchi models show well-fitting with the data but some limitations on these models have diminished the regression values of the samples, especially TG120 sample. Weibull release model attains high regression values for all three samples. The model parameters of the Weibull model shows that the release mechanism is based on Fickian diffusion. Changing the gum content in the hydrogel implies that this release model can be used for different Tragacanth based hydrogels for drug carrier purposes. In further studies, different release conditions like pH, solvent, hydrogel shape and dimensions can be studied.

## References

Allen, T. M., & Cullis, P. R. (2004). Drug delivery systems: entering the mainstream. *Science*, *303*(5665), 1818-1822.

Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, *6*(2), 105-121.

Herbst, F., Döhler, D., Michael, P., & Binder, W. H. (2013). Self-healing polymers via supramolecular forces. *Macromolecular rapid communications*, *34*(3), 203-220.

Billiet, S., Hillewaere, X. K., Teixeira, R. F., & Du Prez, F. E. (2013). Chemistry of crosslinking processes for self-healing polymers. *Macromolecular rapid communications*, *34*(4), 290-309.

Elder, R. L. (2011). Final report on the safety assessment of tragacanth gum. *J Am Coll Toxicol*, *6*(1), 1-22.

# DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS FOR THE FABRICATION OF GUM TRAGACANTH-CHITOSAN BLEND SCAFFOLDS

Müge AŞIK UĞURLU & Didem DEMİR & Burcu SAKIM  
Rükan GENÇ \* & Nimet BÖLGEN\*

*Mersin University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department,  
Mersin, Turkey*

**Abstract:** New types of scaffolds that combine biocompatible and biodegradable natural compounds are attracting interest in tissue engineering applications due to their non-toxic nature, biodegradability, high resistance to bacterial attacks and curative effect against various diseases. Gum tragacanth is one of the most widely used natural gums in food, pharmaceutical, cosmetic and personal care products for years as stabilizing, suspending, gelling, emulsifying, thickening, binding and coating agents. In recent years, it shows great potential to be used as tissue engineering scaffolds, protective clothing, drug carrier and wound healing materials. It is an anionic, highly branched heterogeneous polysaccharide consisting of two fractions: one termed tragacanthin is water-soluble and the other known as bassorin is water-swelling. Fabrication of pure tragacanth gum as a scaffold poses many challenges because of the high viscosity of the solution, poor mechanical properties and repulsive interaction between the polyanions along the chains. To overcome these problems, we used chitosan as a natural, biocompatible and antimicrobial biopolymer in order to facilitate the scaffold formation and enhance the final structural, physical and chemical properties of the scaffolds. Three-dimensional biodegradable scaffolds containing chitosan and gum tragacanth were successfully fabricated through cryotropic gelation and hydrogelation. The produced blend cryogels and hydrogels were characterized. The results were discussed in the light of their potential usefulness as a scaffold in tissue engineering applications.

**Keywords:** gum tragacanth, chitosan, scaffold, cryogel, hydrogel, tissue engineering

**Co-corresponding authors:** Assoc. Prof. Rükan GENÇ and Assoc. Prof. Nimet BÖLGEN

## Introduction

The development of new types of scaffolds that include natural compounds is attracting interest in tissue engineering applications. The demand for natural ingredients increases over time. For this purpose, there is an intense concern about combining the polymers with natural

compounds. Gum tragacanth is one of the most widely used natural gums in food, pharmaceutical, cosmetic and personal care products. It is an anionic, highly branched heterogeneous polysaccharide which is a mixture of two soluble and insoluble fractions: one termed tragacanthin is water-soluble and the other known as bassorin is water-swellaable. In addition, the gum includes trace amounts of amino acids and derivatives, calcium, magnesium and potassium salts (Boran, Uğur, & Saraç, 2018).

Gum tragacanth is an excellent support material for use in the biomedical field due to its non-toxic, renewable, biodegradable, biocompatible, antimicrobial, readily available and economical properties. In recent years, various studies have been reported on the use of gum tragacanth based materials for drug delivery, wound healing, bone tissue engineering, immobilization, and cell growth matrix or other biomedical applications (Nazarzadeh Zare, Makvandi, & Tay, 2019). Among these areas of applications, gum tragacanth has an important role, particularly for wound healing, because it accelerates cell proliferation and collagenation phases of wound repair (Ranjbar-Mohammadi, Zamani, Prabhakaran, Bahrami, & Ramakrishna, 2016). The materials based on gum tragacanth have been fabricated by using different techniques such as freeze-drying, hydrogelation, electrospinning, gas foaming, and cryogelation to be used as suitable materials for various biomedical applications.

Studies to date have shown that various polysaccharide-based biopolymers such as chitosan, alginate, and glycosaminoglycans are effective in wound healing applications. Among them, chitosan is one of the most attractive polymeric candidates used for tissue engineering applications due to its unique features such as biocompatibility, biodegradability and antimicrobial properties (Demir, Öfkeli, Ceylan, & Bölgen, 2016). Chitosan as a natural polymer can be blended with other polymers, functional nanoparticles or natural plant derivatives to enhance its mechanical properties or biological and healing performance.

In this study, we reported a gum tragacanth-chitosan blend scaffold prepared at various crosslinking agent ratios via hydrogelation and cryogelation techniques. The composite gels prepared at room temperature are called as “hydrogels”, on the other hand, the gels obtained at subzero temperature are called “cryogels”. All gels were fabricated via crosslinking of chitosan and gum tragacanth in the presence of glutaraldehyde as a crosslinking agent. Further, the physical and mechanical properties of the obtained cryogel and hydrogel samples were characterized.

## Materials and methods

### Materials

Chitosan with medium molecular weight was purchased from Sigma Aldrich. Glutaraldehyde (25%, v/v) and glacial acetic acid (100%) were obtained from Merck, Germany. Gum tragacanth was obtained from an herbs market in Istafan, Iran. Distilled water was used for the preparation of all solutions.

### Methods

Gum tragacanth-chitosan scaffolds were prepared in hydrogel and cryogel forms at different reaction temperatures using the mixtures solutions of chitosan and gum tragacanth. The ratio between gum tragacanth and chitosan was 1:1 (w:w) and the total concentration was 4% (w/v). Firstly, the calculated amounts of chitosan and gum tragacanth were dissolved in a 6% (v/v) acetic acid solution. The mixture was then stirred uniformly and held at room temperature until a homogeneous solution was formed. Then, 1 mL of glutaraldehyde solution was added as a crosslinking agent at different ratios (3, 6, 12 and 24%, v/v) to prepared gum tragacanth-chitosan solutions. The mixtures were quickly poured into plastic syringes. Some of the plastic syringes were incubated in cryostat -16°C to produce cryogels while the others were incubated at room temperature to produce hydrogels. The abbreviations of scaffold names prepared with different glutaraldehyde ratios are summarized in Table 1.

**Table 1.** Abbreviations of the name of scaffolds

Sample name		Glutaraldehyde ratio, %
Cryogel	Hydrogel	
C3	H3	3
C6	H6	6
C12	H12	12
C24	H24	24

### Characterization of scaffolds

As prepared hydrogels were oven-dried at 40°C and cryogels were freeze-dried until they reach a constant weight (Wo). The unreacted

components (gum tragacanth, chitosan, and glutaraldehyde) were removed by immersing the samples in distilled water for 48 h at room temperature. The samples were dried again and re-weighed ( $W_f$ ). The gel fraction percentage was calculated by the following equation:

$$\text{Gel fraction (\%)} = (W_f/W_o) \times 100 \quad (1)$$

The compressive test for each scaffold was performed through manual compression measurements. The gel was placed vertically between the two coverslips and a determined amount of weight was added on the coverslip (Figure 1). At the point where the gel was broken or no longer jammed, the weight on the gel was recorded as the weight of compression.



**Figure 1.** The compressive tests of the prepared samples

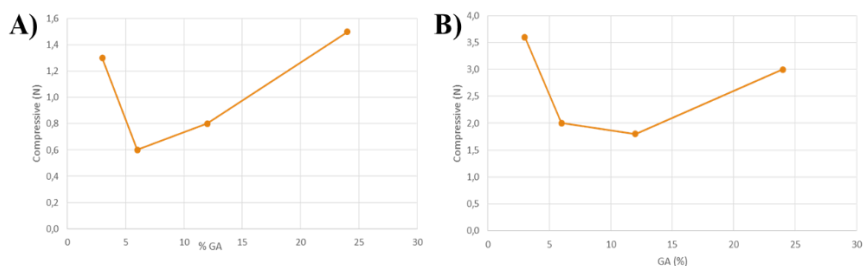
## Results and discussion

This is a preliminary optimization study to blend chitosan and tragacanth gum in hydrogel and cryogel form by using glutaraldehyde as a crosslinker. In our experimental conditions, plain gum was not crosslinked conveniently by low concentrations of glutaraldehyde. As we increase the amount of glutaraldehyde to higher ratios, phase separation occurs between chitosan and gum. The gel fraction results are presented in Table 2. High gel fraction yields were observed for optimized glutaraldehyde ratios which indicated that about 85-95% of the polysaccharides (chitosan and gum tragacanth) in the feed was incorporated into the gel network.

**Table 2.** Gel fraction values of scaffolds

Samples (Hydrogel)	Gel fraction, %	Samples (Cryogel)	Gel fraction, %
H3	96.80	C3	95.69
H6	82.56	C6	87.86
H12	68.52	C12	78.41
H24	52.57	C24	65.73

Figure 2 shows the preliminary compressive strength values of the prepared samples. The results showed that gels were able to withstand greater weight at low and high glutaraldehyde rates. Higher glutaraldehyde rates reduce the free space within the gel matrix and therefore higher compression values have been achieved for both gel types. Gels were more flexible and had high compression properties at low glutaraldehyde ratios. Hydrogels showed higher mechanical strength than cryogels at the same crosslinking agent ratios. This situation can be explained by the fact that cryogels have higher mechanical stability compared to hydrogels.



**Figure 2.** Compressive values for cryogels (A) and hydrogels (B)

## Conclusions

Composite scaffolds were developed using cryogelation and hydrogelation techniques. Chitosan and gum tragacanth were used to produce blended scaffolds for future tissue engineering applications as potential wound dressing materials. Varying the concentration of glutaraldehyde, a series of cryogels and hydrogels were prepared and preliminary physical characteristics of these scaffolds were analyzed. It has been shown that gum tragacanth can be blended successfully with chitosan at low glutaraldehyde ratios in both hydrogel and cryogel forms. According to mechanical analysis of scaffolds, gels prepared at low glutaraldehyde amounts were more flexible and had high compression

strength. In the next part of the study, chemical structure, swelling and degradation ability and morphological structure of the produced scaffolds will be determined for possible tissue engineering applications.

## References

- Boran, R., Ugur, A., & Sarac, N. (2018). İki Doğal Polisakkaritin Hiyalüronidaz, Kollajenaz ve Elastaz İnhibitör Potansiyellerinin Araştırılması ve Antimikrobiyal, Antioksidan ve Homeostatik Aktivitelerinin Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1182–1189. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.471994>
- Demir, D., Öfkeli, F., Ceylan, S., & Bölgen, N. (2016). Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from Blue Crab and Synthesis of Chitosan Cryogel Scaffolds. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 3(3), 131–144. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.00634>
- Nazarzadeh Zare, E., Makvandi, P., & Tay, F. R. (2019). Recent progress in the industrial and biomedical applications of tragacanth gum: A review. *Carbohydrate Polymers*, 212, 450–467. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.076>
- Ranjbar-Mohammadi, M., Zamani, M., Prabhakaran, M. P., Bahrami, S. H., & Ramakrishna, S. (2016). Electrospinning of PLGA/gum tragacanth nanofibers containing tetracycline hydrochloride for periodontal regeneration. *Materials Science and Engineering C*, 58, 521–531. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.08.066>



# ANTIPROLIFERATIVE EFFECT OF CUCURBITACIN I ON CANCER CELLS – GROWTH KINETIC EVALUATION

**Emir TOSUN\* & Ahmet BAYSAR\*\***

*\*İnönü University, Faculty of Engineering, emir.tosun@inonu.edu.tr*

*\*\*İnönü University, Faculty of Engineering, ahmet.baysar@inonu.edu.tr*

**Abstract:** Cucurbitacin I (Cu I) is a triterpenoid compound commonly found in the Cucurbitaceae family. It has potential as a new drug for inhibiting cancer progression because of having anti-proliferative activity against various cancer cell lines. The present study focused on the evaluation of the antiproliferative effect of Cu I (as growth limiting substrate) on colon cancer cell lines LS174T and SW620 via several growth kinetic models such as Monod and Tessier models. When antiproliferative agents (Cu I in the present study) added to growth media, cell growth decreased according to the no added. Therefore, the growth rate was remodeled by multiplying with minus the right side of the equation and then this equation integrated. The specific growth rate was designated as the specific growth inhibition rate ( $\mu_i$ ) at this stage. The cell sensitivity was determined by (3-[4,5-dimethyl-thiazol-2-yl]-2, 5-diphenyltetrazolium bromide) (MTT) dye reduction assay following exposure to various concentrations (5-250 nM) of Cu I for 6-96 h. Optical density was measured at 570-nm wavelength. The specific growth inhibition rates as a function of the substrate concentration were obtained from these data. As determining how the specific growth inhibition rate changes depending on the Cu I concentration, model fitting was made according to the Monod and Tessier models. Evaluation of the accuracy of the fitted model was made using statistical analysis such as Root Mean Square (RMSE), Correlation Coefficient (R) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). All computations were performed using MATLAB. From all equations tested, the Monod model for LS174T cells and Tessier model for SW620 cells described the data best.  $\mu_{max}$  and  $K_S$  were 0.0134 h<sup>-1</sup> and 17.60 nM for LS174T cells and  $\mu_{max}$  and  $K_T$  were 0.0157 h<sup>-1</sup> and 54.35 nM for SW620 cells, respectively.

**Keywords:** cucurbitacin I, colon cancer, LS174T cell line, SW620 cell line, growth kinetic, Monod model, Tessier model

## Introduction

A variety of plants used in native folk medicine around the world has been a good source of therapeutic agents. More than half of the commercially available drugs so far are plant derived or mimics of plant-derived substances (Lee, Iwanski, Thoennissen, 2010). These drugs are very effective against a wide range of cancers but they have some disadvantages such as side effects, expensive, very complex, not eco-friendly and toxic [Iqbal et al., 2017]. Plant-derived compounds, cucurbitacins are tetracyclic triterpenes commonly found in Cucurbitaceae have been used in traditional medicine for a long time (Chen et al., 2012). Cucurbitacin-containing plants have been known for their anti-inflammatory, antimicrobial activities and anticancer effects on various tumor types (Jayaprakasam et al., 2003; Kim et al., 2013). Cucurbitacin I (Cu I) is one of the analogue of cucurbitacins, which has shown anti-cancer activity against various types of cancer. Natural compounds displays anti-proliferative and antitumor properties both *in vitro* and *in vivo* in many human cancers such as glioblastoma, adenocarcinoma of the lung and breast cancer cells. Cucurbitacin I is triterpenoid compound that acts as a potent inhibitor of the STAT3/JAK signaling pathway. Cu I has potential as a new drug for inhibiting cancer progression because of its anti-proliferative activity against various cancer cell lines (Blaskovich et al., 2003; Kester et al., 2008; Kim, Park&Kim, 2014). The purpose of the present study was to *in vitro* investigate the antiproliferative effect of Cu I on human colon cancer cell lines, LS174T and SW620 cells, respectively. Also, it was focused on the evaluation of the antiproliferative effect via several growth kinetic models such as Monod and Tessier models

## Material and Method

### *Materials and reagents*

Cucurbitacin I was isolated from *Ecballium elaterium* L. was collected from Adana city, Turkey. RPMI medium 1640 and L-glutamine were purchased from Lonza (Basel, Switzerland), fetal bovine serum (FBS) from Biowest (Nuaille, France), penicillin/streptomycin from GIBCO/Invitrogen (Karlsruhe, Germany), 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) powder from Serva (Heidelberg, Germany). All reagents and medium were prepared just before use.

### *Cell lines and culture conditions*

The colon adenocarcinoma cell lines, LS174T and SW620 were kindly provided from the German Cancer Research Center (Heidelberg, Germany). The cells were cultured in RPMI- 1640 medium supplemented with 10% (FBS) and L-glutamine (2mM). The cell lines were maintained in an incubator with a humidified atmosphere (5% CO<sub>2</sub> in air at 37°C). Cells were passaged 2 or 3 times weekly using a solution of trypsin/ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). Cu I was solubilized in methanol (HPLC grade - Sigma–Aldrich, Chemie GmbH, Germany), filtered (0.22 µm) and was added to the culture medium in such a way that the amount of methanol did not exceed 1%. Thus, the treatment solutions were prepared at 5, 25, 50, 100 and 250 nM concentrations. Control cells were also run in parallel and subjected to the same changes in medium with equilibrated to the amount of methanol in the treatment solutions. In addition, cells were treated for 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72 and 96 h.

### *Cell proliferation and viability tests*

Cells were seeded in 96-well plates at a density of 3000 cell/well and maintained at appropriate culture conditions for tested times. After treatments, MTT solution (5 mg/mL in PBS) was added (10 µL/well). Plates were further incubated for 3 h, and, following discarding of the medium, the cells were lysed and formazan crystals were dissolved by the addition of 100 µL solvent (0.04 N HCl acid in 2-propanol) per well and then thoroughly mixed. The optical density (OD) of the colored solution was measured at a 570 nm using a microplate reader (Epoch, BioTek). The antiproliferative effect was calculated as the percentage of cell proliferation values with respect to the control cells (1 % methanol; 100 %).

Using the control OD values, IC<sub>50</sub> values as the concentration that inhibits growth of cell by 50 % versus control cells were determined by a nonlinear regression fitting of experimental data to Weibull equation using Matlab program.

### *Model Performance Evaluation*

Evaluation of the accuracy of the fitted model was made using statistical analysis such as Root Mean Square (RMSE), Correlation Coefficient (R)

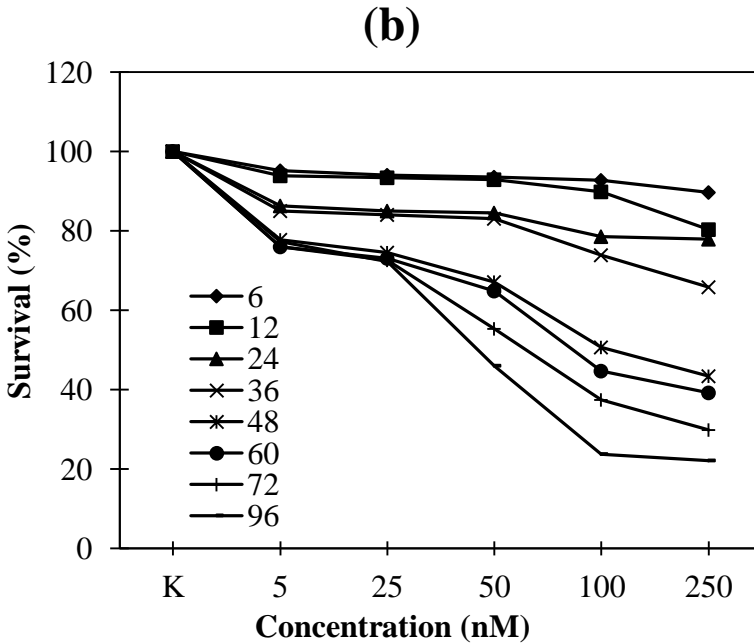
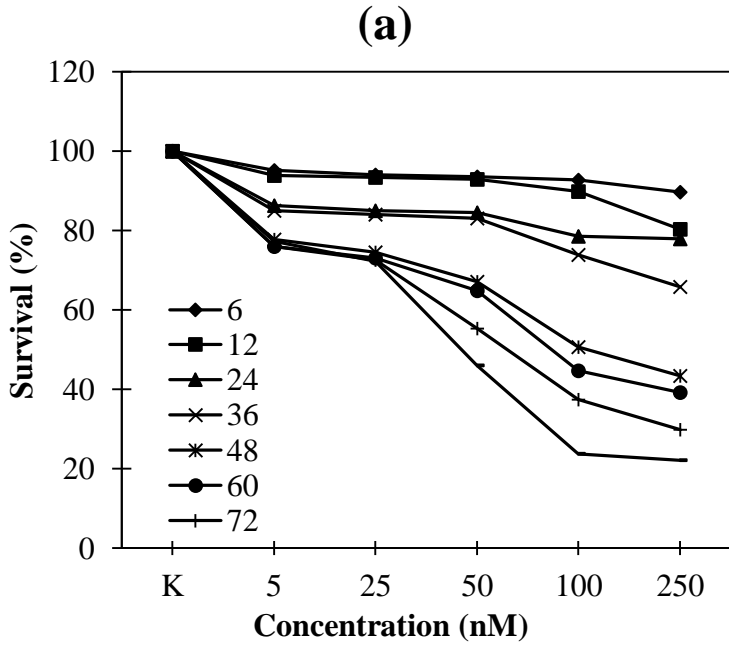
and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). All computations were performed using MATLAB.

## **Research Findings and Discussion**

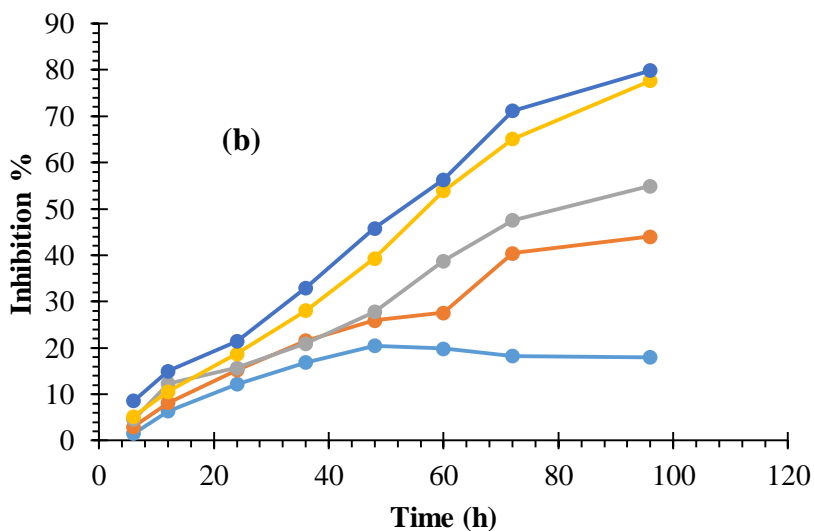
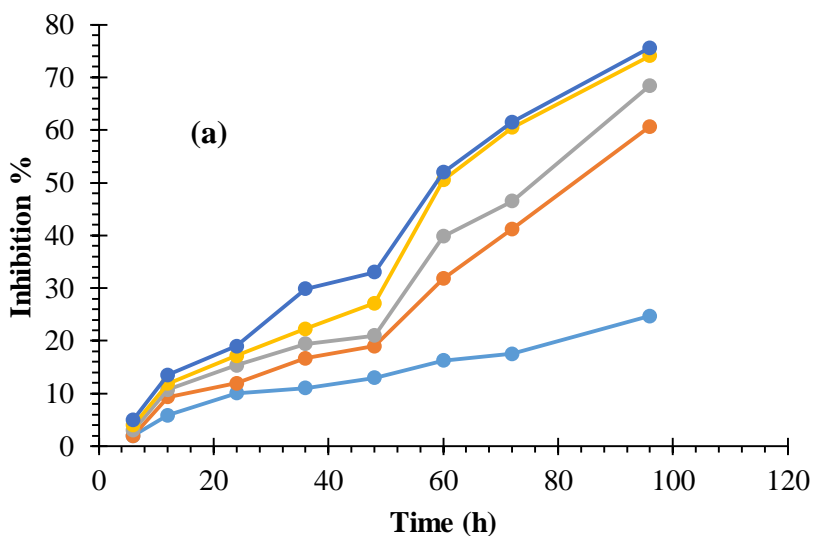
### *Effect of Cu I on cell proliferation inhibition*

The percentage proliferation (survival) of both cancer cells compared to the corresponding control cells (100%) were shown in Fig. 1. The proliferation of LS174T and SW620 cells were inhibited in a concentration- and time dependent manner. A significant difference from the control group was found at all concentrations for both cell lines at incubation times. Also, The antiproliferative effect of Cu I significantly increased with longer exposure times at all concentrations in both cell lines.

The calculated % inhibition values corresponding to the exposed times were illustrated in Fig. 2. The equations of the obtained curves were determined by model fitting method by a nonlinear regression fitting of experimental data to Weibull equation. The Weibull equation parameters were determined with using *fmincon* method in MATLAB program. The  $IC_{50}$  values of Cu I in both cell lines were calculated using these parameter values and corresponding  $R^2$  values were given in Table 1. The 50% inhibition values were obtained after 60 h exposed time for LS174T cells and 48 h exposed time for SW620 cell lines.



**Figure 1.** Survival (%) curve of LS174T cells (a) and SW620 cells (b) at 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72 and 96 h.



—●— 5 nM —●— 25 nM —●— 50 nM —●— 100 nM —●— 250 nM

**Figure 2.** Inhibition (%) curve of LS174T cells (a) and SW620 cells (b) at 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72 and 96 h. .

**Table 1.** IC<sub>50</sub> values of Cu I against LS174T and SW620 colon cancer cells

Compound	Cell line	Exposed time (h)	Calculated IC <sub>50</sub> (nM)	R
Cu I	LS174T	60	122	0.9942
		72	46	0.9946
		96	19	0.9999
	SW620	48	207	0.9961
		60	87	0.9935
		72	47	0.9937
		96	32	0.9936

It should be noted that SW620 human colon cancer cells were more sensitive to Cu I compared to LS174T colon cancer cells. *In vitro* results showed concentration and time dependent antiproliferative effects in both cell lines. After 48 and 72 h, similar inhibition effects were observed at a concentration of 250 nM in both cell lines, but lower concentrations, Cu I significantly more effective in LS174T cells. The IC<sub>50</sub> value decreased progressively with prolonged incubation times in the LS174T and SW620 cells. Following 96 h of exposure to Cu I, the IC<sub>50</sub> value for SW620 cells was nearly 2-fold higher than that of the LS174T cells.

#### *Mathematical Modelling*

The modeling of the effect of concentration on cell proliferation has been begun using Equation 1.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (1)$$

where X is the survival (%) of cancer cells, t is time, in h and  $\mu$  is the specific growth rate, in h<sup>-1</sup>.

After the application of the limiting substrate Cu I at different concentrations (5, 25, 50, 100 and 250 nM) and times to LS174T and SW620 cells, the number of viable cells was measured as absorbance at result of the MTT test. The survival % (X) which refers to a decrease in the growth rate of cells were calculated by proportioning these absorbance

values to the absorbance values of the control group. The Equation 2.1 which expressing the logarithmic proliferation rate was rewritten by multiplied with minus due to the % decrease in cell number over time (Equation 2).

$$\frac{dX}{dt} = -\mu_1 X \quad (2)$$

where  $\mu_1$  was named specific growth inhibition rate, in  $h^{-1}$ . Equation 2 was integrated to provide the following equation:

$$\frac{\ln X_0}{\ln X} = \mu_1 t \quad (3)$$

where  $X_0$  is the % survival of the control group at any incubation time,  $X$  is the % survival of the treated group by growth-limiting substrate Cu I at any incubation time. The specific growth inhibition rate ( $\mu_1$ ) was obtained by plotting  $\ln X_0/\ln X$  versus time (Table 2).

**Table 2.** Specific growth inhibition rates of LS174T and SW620 cells after application of different concentration of Cu I

Cell Line	Cu I Concentration (nM)	Specific growth inhibition rate ( $\mu_1, h^{-1}$ )
LS174T	5	0.0030
	25	0.0077
	50	0.0094
	100	0.0012
	250	0.0013
SW620	5	0.0031
	25	0.0063
	50	0.0082
	100	0.0138
	250	0.0155

Here it was assumed that an increase in Cu I growth-limiting substrate concentration influences growth rate. The growth models namely Monod and Tessier models were tried to predict the growth kinetics of cancer cells.



These models were arranged according to specific growth inhibition rate and were described in the following equations.

$$\text{Monod, } \mu_I = \frac{\mu_{I,max}S}{K_S + S} \quad (4)$$

$$\text{Tessier, } \mu_I = \mu_{I,max}[1 - \exp(-K_T S)] \quad (5)$$

where  $\mu_I$  is the specific growth inhibition rate in  $h^{-1}$ ,  $\mu_{I,max}$  is the maximum specific growth inhibition rate in  $h^{-1}$ ,  $S$  is the Cu I concentration in nM,  $K_S$  and  $K_T$  are Monod and Tessier constants, respectively. Both the models were fitted to the experimental data from cell culture with varying initial Cu I concentrations using MATLAB.  $\mu_{I,max}$ ,  $K_S$  and  $K_T$  parameters were also calculated using *fmincon* method in MATLAB (R2009b). The best fitting model for the experimental data was chosen based on the model performance values R, RMSE and MAPE. The model and performance parameters were given in Table 3 and Table 4. Monod model was the best fitting model both experimental data.

**Table 3.** Monod and Tessier model parameters

Cell Line	Model Parameter Values			
	Monod		Tessier	
	$\mu_{I,max}$ ( $h^{-1}$ )	$K_S$ (nM)	$\mu_{I,max}$ ( $h^{-1}$ )	$K_T$ (nM)
LS174T	0.0134	17.5982	0.0123	27.62
SW620	0.0125	15.5965	0.0157	54.35

**Table 4.** Monod and Tessier model performance parameters

Cell Line	Model Performance Parameter Values					
	Monod			Tessier		
	R	RMSE	MAPE	R	RMSE	MAPE
LS174T	0.9965	0.00031	3.82	0.9887	0.00068	10.65
SW620	0.9802	0.0001	14.15	0.9846	0.001	16.7

*In vitro* results showed that similar inhibition effects were observed at all concentration of Cu I in both cell lines. The specific growth inhibition rates increase with increasing growth limiting substrate Cu I concentrations. The lower substrate affinity constants ( $K_S$ ) have positive meaning in point of anticancer activity. According to Monod model, it should be noted that SW620 human colon cancer cells were more sensitive to Cu I compared to LS174T human colon cells. According to Tessier model SW620 cells developed a resistance against to Cu I. In light of our findings, Cu I appears to be a promising chemotherapeutic agent in colorectal cancer.

## References

- Lee, D. H., Iwanski, G. B., Thoennissen, N. H. (2010). Cucurbitacin: Ancient Compound Shedding New Light on Cancer Treatment, *The Scientific World JOURNAL*, 10, 413 – 418.
- Iqbal, J., Abbasi, B.A., Mahmood, T., Kanwal, T., Ali, B., Shah, S.A., Khalil, A.T. (2017). Plant-derived anticancer agents: A green anticancer approach. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(12), 1129-1150.
- Chen, X, Bao J, Guo, J et al. (2012). Biological activities and potential molecular targets of cucurbitacins: A focus on cancer. *Anti-Cancer Drugs* 23, 777–787.
- Jayaprakasam, B., Seeram, N. P., Nair, M. G. (2003). Anticancer and antiinflammatory activities of cucurbitacins from *Cucurbita andrena*, *Cancer Letters*, 189, 11 – 16.
- Kim, S. R., Seo, H.S. et al. (2013). *Trichosanthes kirilowii* Ethanol Extract and Cucurbitacin D Inhibit Cell Growth and Induce Apoptosis through Inhibition of STAT3 Activity in Breast Cancer Cells, *Hindawi Publishing Corporation Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1-9.
- Kim, H.J., Park, J.H.Y., Kim, J. (2014). Cucurbitacin-I, a natural cell-permeable triterpenoid isolated from Cucurbitaceae, exerts potent anticancer effect in colon cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 219, 1-8.

Blaskovich, M.A., Sun, J., Cantor, A., Turkson, J., Jove, R., Sebt, S.M. (2003). Discovery of JSI-124 (Cucurbitacin I), a Selective Janus Kinase/Signal Transducer and Activator of Transcription 3 Signaling Pathway Inhibitor with Potent Antitumor Activity against Human and Murine Cancer Cells in Mice, *Cancer Research*, 63(6), 1270-1279.

Kester, M.S., Out-Luiting, J.J., Borne, P.A., Willemze, R., Tensen, C.P., Vermeer, M.H. (2008). Cucurbitacin I Inhibits Stat3 and Induces Apoptosis in Sézary Cells, *Journal of Investigative Dermatology*, 128(7), 1691-1695.

**MECHANICAL ENGINEERING / MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

# PİTOT-STATİK TÜPÜNÜN TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ VE SAYISAL ANALİZİ

## *Analysis And Determination of Design Criteria for Pitot-Static Tube*

**Mustafa ATMACA<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,  
İstanbul./TÜRKİYE  
matmaca@marmara.edu.tr*

**Özet:** Özellikle hava araçlarında kullanılan pitot statik tüpü, uçaklarda hız ve irtifanın belirlenmesi amacıyla kullanılır. Bu tüpler toplam ve statik basıncı ölçerek bu bilgileri pilotun yararlanacağı şekilde sisteme yansıtır. Ancak basınç ölçümü sırasında birçok problemler yaşanılmaktadır. Genellikle ölçüm aletleri doğru değerleri göstermeyebilir. Bu nedenle pitot statik tüpünün tasarım ve kalibrasyonunda gerekli kriterlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, pitot tüpü tasarımını etkileyen kriterler belirlenerek, farklı dış çaplı pitot tüpü tasarımları yapılmıştır. Pitot tüpü dış çapına bağlı olarak basınç katsayıları sayısal olarak hesaplanmış ve bu çaplara göre meydana gelen hatalar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pitot-statik tüpü; Basınç katsayısı; Fluent; Tasarım kriteri

**Abstract:** Pitot-static tube using in aircraft is used for the determination of the speed and altitude. These tubes measure the total and static pressure and measurement information reflect the system in a way that benefits pilot. But, many problems are encountered during pressure measurement. Generally, measuring instruments may not show the correct values. Therefore, it is necessary to consider some criteria in the design and calibration of the pitot static tube. In this study, criteria affecting the design of the Pitot tube are determined and Pitot tube design is made with different outer diameter. Pressure coefficients were calculated numerically depending on Pitot tube the outer diameter and errors occurring according to diameter are shown in table as comparative.

**Keywords:** Pitot-static tube; Pressure coefficient; Fluent; Design criteria

## 1.GİRİŞ

Aerodinamik araştırmaların ilk yıllarında ölçümler basınç manometreleri ile temin edilmişti. Bugün, bir çeşit gelişmiş basınç dönüştürücüler mevcuttur. Bunlardan biri olan Klasik Pitot-Statik Tüpü geniş bir kullanım alanına sahiptir [1]. Pitot tüpü ilk olarak 18. Yüzyıldan Fransız Mühendis Henri Pitot tarafından icat edilmiş olup ve 19. yüzyılda Fransız Mühendis Henry Darcy tarafından modifiye edilmiştir. Uçağın etkili ve güvenli çalışması için hız ve irtifanın doğru ölçülmesi esastır. Bu ölçümlerde Pitot Statik Tüpü yaygın olarak kullanılmaktadır. Pitot-Statik Tüpü (çoğunlukla Pitot Tüpü olarak bahsedilir) uçak uçuş şartlarıyla ilgili toplam basınç ve çevre statik basıncı ölçmek için tasarlanan önemli hava data sensörlerinden biridir [2]. İki basit basınç, statik basınç ve toplam basınç bu ölçüm aletlerini çalıştırmak için kullanılır. Statik basınç uçağın uçuş seviyesindeki atmosferik basınçtır, toplam basınç statik basınç ve çarpma basıncı(dinamik) toplamı olup çarpma basıncı uçağın ileri doğru hareketi sonucunda oluşan basınçtır [3]. Bu ölçülen basınçlardan hava hızı göstergesi(ASI), altimetre ve dikey hız göstergesi(VSI)'nın çalışması için yararlanır [4]. Her bir ölçüm sistemi içinde hatalar olduğundan doğru ölçüm yapmakta kısıtlamalar bulunmaktadır. Uçuşlarda bunlar çok önemlidir. Eğer pitot statik ve sıcaklık hatları düzeltilmezse çalışma verileri ve kontrol verilerin bir önemi yoktur [5].

Kütlesel ve hacimsel debi ölçümleri endüstriyel uygulamalarda oldukça önemlidir. Çeşitli ölçüm tekniklerindeki gelişmeler, farklı fiziksel olaylar kullanarak farklı ölçüm özellikleri ve uygulama olanakları sayesinde debi ölçüm tiplerinin sayısının artmasına sebebiyet vermiştir [6-12].

Bu çalışmada, özellikle uçaklarda kullanılan ve önemli hava veri sensörlerinden biri olan pitot statik tüpünün tasarım kriterleri belirlenmiştir. ANSYS paket programı kullanılarak farklı dış çaplı pitot statik tüpleri tasarlanarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen basınç katsayıları kontür şeklinde sunulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

## 2. GENEL DENKLEMLER

Uçuş esnasında uçağın üzerine uygulanan aerodinamik kuvvetler akışkanın viskozitesi, basıncı, yoğunluğu ve sıcaklığının fonksiyonudur. Bu yüzden uçuş test takımlarının atmosfer özelliklerinin belirlenmesi için gereklidir. Güneş ışınımı, su buharı, kanatlar, bulutlar, türbülans ve insan hareketliliği atmosferdeki yerel değışimlere neden olur. Uçuş test takımları bu yüzden

doğal değişimleri kontrol edemezler, böylece atmosfer özelliklerinin statik değişimini tarif etmek için standart atmosfer düzenlenir. Standart atmosferle, hesaplamalar standart özelliklerden yapılmıştır. Bu standartlarda değişimler meydana geldiğinde, bu değişimler tahmini uçak performansı ya da hesaplamalar için bir metot olarak kullanılır.[5]

Atmosferin fiziksel karakteristikleri günlük ve mevsimsel değişim gösterir. Hava aracı performansı, uçuş süresince hava kütlelerinin fiziksel karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğundan dolayı, hava kütlesi değişiminden etkilenir. Böylece, standart hava kütlesi şartları oluşturulmuştur. Böylece performans verileri, mevcut elde edilmiş verilerle mukayese edilerek anlam kazanmıştır.

Doğru hava hızı, sıkıştırılmaz durumlarda, aşağıdaki denklem 1 deki gibi belirlenir:

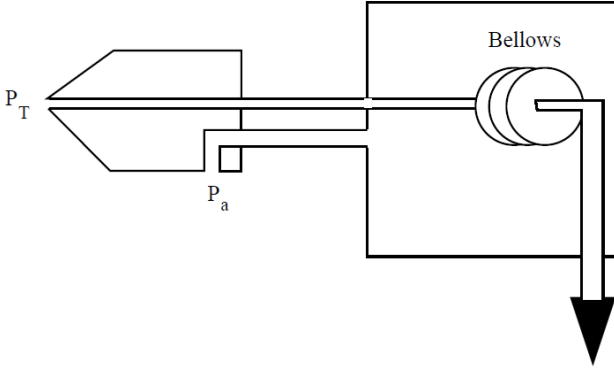
$$V_t = \sqrt{\frac{2}{\rho_a}(P_t - P_a)} = \sqrt{\frac{2q}{\rho_a}} \quad (1)$$

Bu denklemin hava hızı göstergesi yapımında ve pitot statik sisteminde kullanılması mümkündür. Yine de, dezavantajları vardır.

Yoğunluğun değişmesi doğru hava hızı göstergesinde probleme neden olur. Yoğunluğun sabit bir değer varsayılması bir çözümdür. Eğer  $\rho_a$  denklem 2 deki  $\rho_{ssl}$  ile yer değiştirirse, bileşke hız belirlenmiş eşdeğer hava hızıdır  $V_e$ :

$$V_e = \sqrt{\frac{2q}{\rho_{ssl}}} = \sqrt{\frac{\sigma 2q}{\rho_a}} = \sqrt{\sigma} V_T \quad (2)$$

Basit bir hava hızı göstergesi (PT -PA) niceliğini ölçecek şekilde inşa edilebilir.



**Şekil 1.** Şematik pitot statik sistem

Hava hızı göstergesi izentropik akışlar için Bernoulli'nin sıkıştırma denklemlerinin prensiplerine göre çalışır. Burada hava hızı toplam ve statik basınç arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Ses altı(subsonic) hızlarda Bernoulli'nin denklemi uygulanabilir, VT için takip edilen ifadeler verilir:

$$V^2_T = \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{P_a}{\rho_a} \left[ \left( \frac{P_T - P_a}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (3)$$

ya da;

$$V_T = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{P_a}{\rho_a} \left[ \left( \frac{P_T - P_a}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \quad (4)$$

Dinamik basınç  $q$ , ve çarpma basıncı  $q_c$  aynı değildir. Yinede, düşük irtifada ve düşük hızlarda onlar yaklaşık olarak aynıdır. Dinamik basınç ve çarpma basıncı arasındaki bağlantı Mach sayısı aşağıdaki görülen denklemde olduğu gibi ne kadar küçülürse birbirine o kadar yaklaşır:

$$q_c = q \left( 1 + \frac{M^2}{4} + \frac{M^4}{40} + \frac{M^6}{1600} + \dots \right) \quad (5)$$

### 3. PİTOT TÜPÜNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Sayısız uçak kazaları uçağa monte edilen pitot statik ölçüm aletleri tarafından uçağın uçuş hızını okumadaki hatalara dayandırıldı [13]. Çünkü



uçuş süresince karşılaşılan durumlar; pitot tüpünün buzlanması, yağmur suyunun pitot sistemini tıkanması ölçüm aletinin yanlış değerler göstermesine sebep oldu [14].

Pilotun uçuş süresince karşılaştığı ana problem Pitot tüpünün bloke olmasıdır. Pitot tüpündeki basınç bir kez tıkanıldığında, hava hızı göstergesinde hızda artış ya da azalış değişimleri gözlemlenmez. Pitot tüpündeki toplam basınç bloke etkisi süresince değişmez; yine de statik basınç değişebilir. Çünkü hava hızı göstergeleri statik ve dinamik basıncın ikisine beraber cevap verir ve sistem bloke olduğu zaman ASI'de etkileri okunur. Statik sistemin bloke olması ayrıca altimetre ve dikey hız göstergesini etkiler. [15]

### **3.1 Pitot Sisteminin Bloke Olması**

Pitot sistemi tamamen ya da boşaltma deliği açık kalırsa kısmen bloke olabilir. Eğer pitot tüpü bloke olur ve ilgili boşaltma deliği açık kaldığında çarpma(ram air) havası pitot sisteminin içerisine giremez. Hava sistemin içerisine boşaltma deliği boyunca girer ve arda kalan basınç çevre basınca düşer. Bu durum altında, hava hızı göstergesi sıfıra azalır, çünkü hava hızı göstergesi(ASI) çarpma ve statik basınç arasındaki farka duyarlı değildir. Bu hava hızı göstergesi dinamik basınç pitot tüpü açıklığından giremediği için daha uzun süre çalışmaz. Statik basınç boşaltma deliği açık olduğu sürece statik deliklerde ve boşaltma deliklerinde basınçlar eşitlenecektir. Hava hızındaki belirgin kayıp genellikle anlık değildir ama çok çabuk meydana gelir.

Eğer pitot tüpü açıklığı ve boşaltma deliğinin ikisi de aynı zamanda tıkanırsa, pitot tüpündeki basınç tutulur. Hava hızında artış ya da azalış hava hızı göstergesinde gözlemlenemez. Eğer statik portlar bloke değilse ve uçağın irtifası değişiyorsa, bu değişim ASI' de gözlemlenir. Bu değişim hava hızındaki değişimle ilgili değildir, statik basınçtaki değişimdir. Pitot tüpündeki toplam basınç bloke süresince değişmez, yine de statik basınç değişebilir.

### **3.2 Statik Sistemin Tıkanması**

Eğer statik sistem bloke olur ve pitot deliği açık kalırsa ASI çalışmaya devam eder yinede bu gösterge doğru değeri göstermez. Bu hava hızı göstergesi gerçek hava hızından daha düşük değeri gösterir.

Statik sistemin bloke olması altimetre ve dikey hız göstergesini de etkiler. Dikey hız göstergesi statik sistem bloke olduğu sürece sürekli sıfır değerini gösterir.

### **3.3 Pitot Statik Tüpü Isıtıcısı**

Yukarıda bahsedilen pitot statik tüpünün bloke olması sorunun en önemli kaynağı yüksek irtifalarda pitot tüpünde ani buzlanma meydana gelmesi

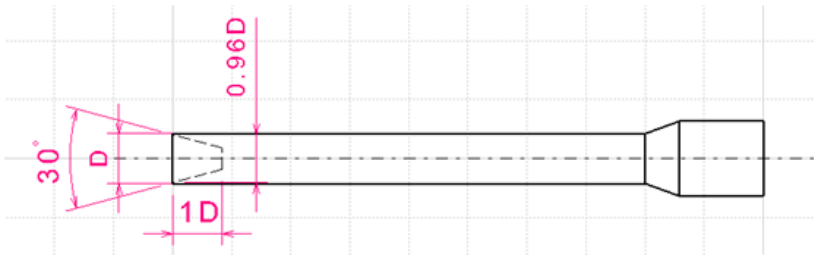
veya yağışlar sebep olmuştur. Ani buzlanmalar pitot statik tüpünde tıkanmalar meydana getirdiğinden dolayı göstergelerde yanlış değerler gösterildiğini daha önce bahsetmiştik.

Buzlanmayı engellemek amacıyla pitot statik tüplerinde ısıtıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Isıtıcılar sayesinde pitot tüpündeki buzlanmalar engellenir ve sistem içerisine giren yağmur damlaları boşaltma delikleri vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılır.

#### 4. SAYISAL ÇALIŞMA

Literatürde akış özelliklerinin incelenmesi ile ilgili birçok sayısal birçok çalışma mevcuttur [16-26]. Bu çalışmada belirlenen standart atmosfer koşullarında aşağıda belirtilen değerler dikkate alınarak bu şartlara uygun şekil 2’de görülen bir pitot statik tüpü tasarımı yapılmıştır.

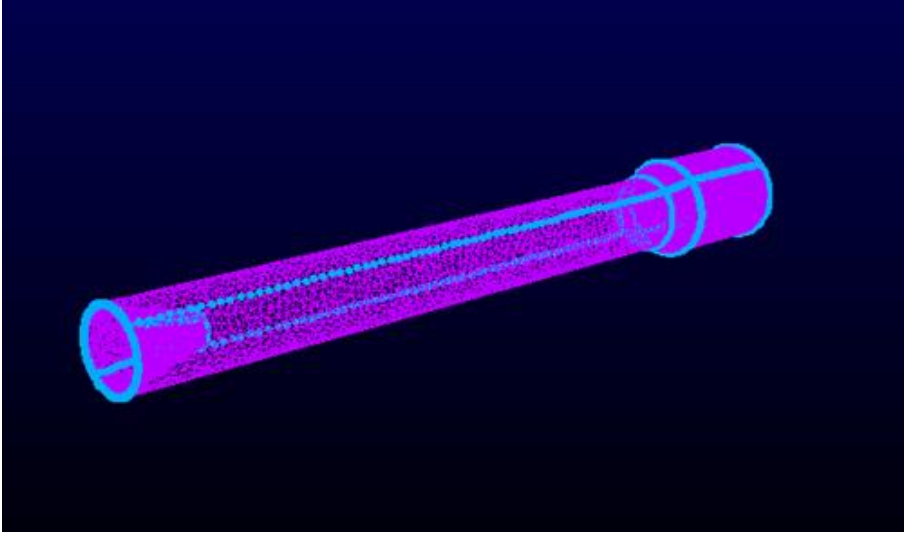
İrtifa	: 10 km
Sıcaklık	: 226.5 K
Basınç	: 26500 N/m <sup>2</sup> (Pa)
Yoğunluk	: 0.41351 kg/m <sup>3</sup>
Ses Hızı	: 299.6 m/s
Dinamik Viskozite	: 1.46e-05 Pa.s (kg/ms)
Hava Hızı	: 80 m/s
Mach Sayısı	: 0.26
Reynolds Sayısı	: 3x10 <sup>5</sup>



Şekil 2. Pitot tüpü genel tasarımı -1

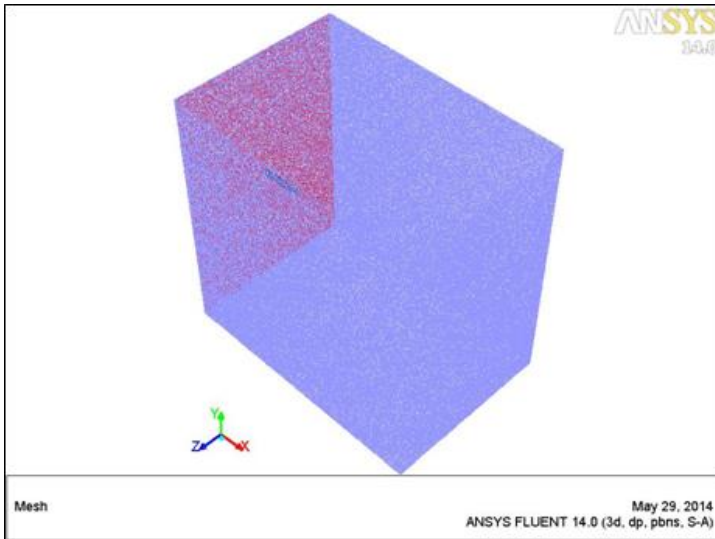
Catia’da tasarımı yapılan pitot tüpüne Pointwise’da yüzeye ağ (mesh) atıldı ve daha sonra sınır şartları belirlenerek CAE olarak kaydedildi. Akış

analizi ANSYS Fluent'te yapılarak basınç katsayıları dağılımları incelenmiştir. Şekil 3'de modellenen pitot tüpünün ağ (mesh) görünüşü verilmiştir.



Şekil 3. Modellenen pitot tüpünün ağ görünüşü

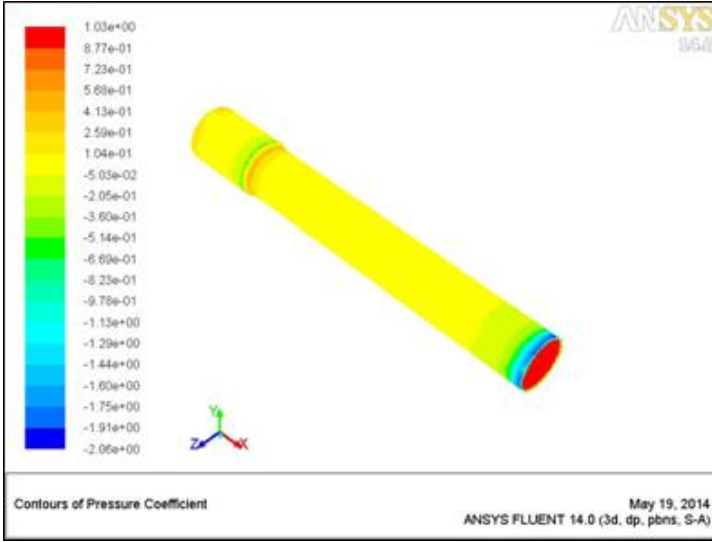
Ansyz-Fluent'te model olarak; viskos spalart-almaras seçilmiştir. Solution method olarak “green gaus node based” seçilmiştir. Solution Control'da momentum değeri 0.5 alınmıştır. Şekil 4'de Fluent'de oluşturulan hesaplama uzayı gösterilmiştir.



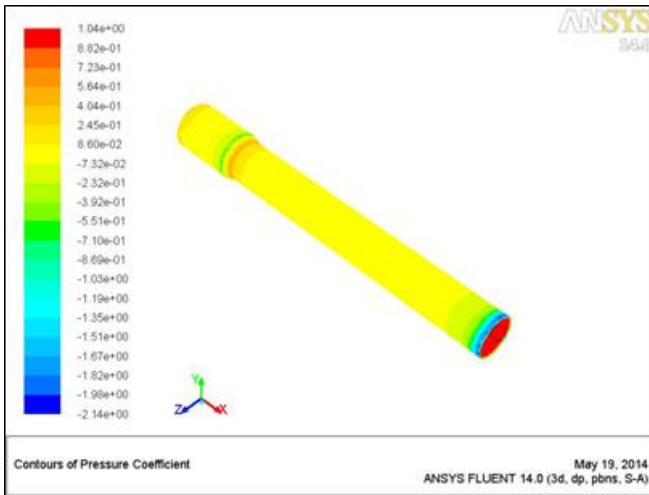
Şekil 4. Fluent’de modellenen pitot tüpü ve hesaplama uzayı

#### 4.1 Değişen Dış Çaplara Göre Sayısal Analizler

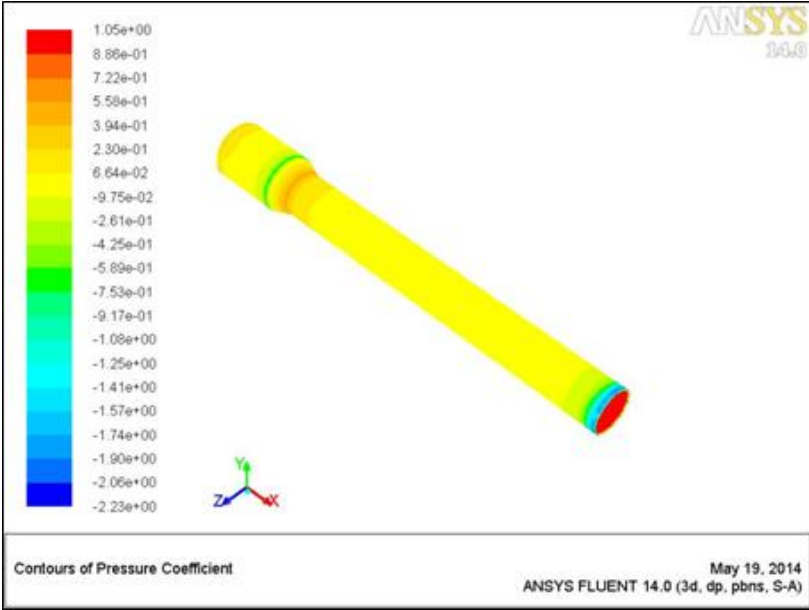
Dış çapın büyüklüğünün basınç okuması üzerindeki hatalarını görmek ve en uygun çapı belirlemek amacıyla değişen tüp çaplarında analizler yapılmıştır. Toplam basınç açıklığı D alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilen basınç katsayısı kontürleri şekil 5 -10 arasında verilmiştir.



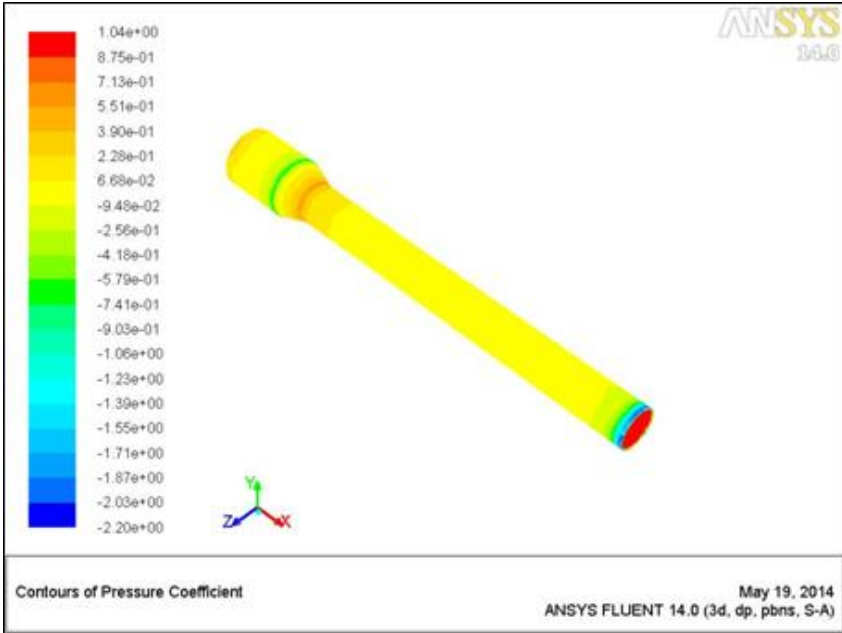
Şekil 5. 3/6 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları



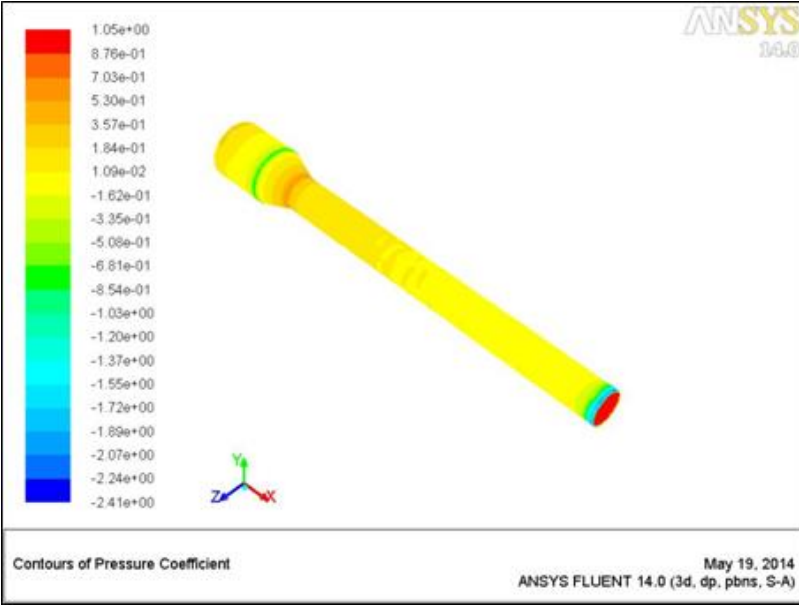
Şekil 6. 3/7 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları



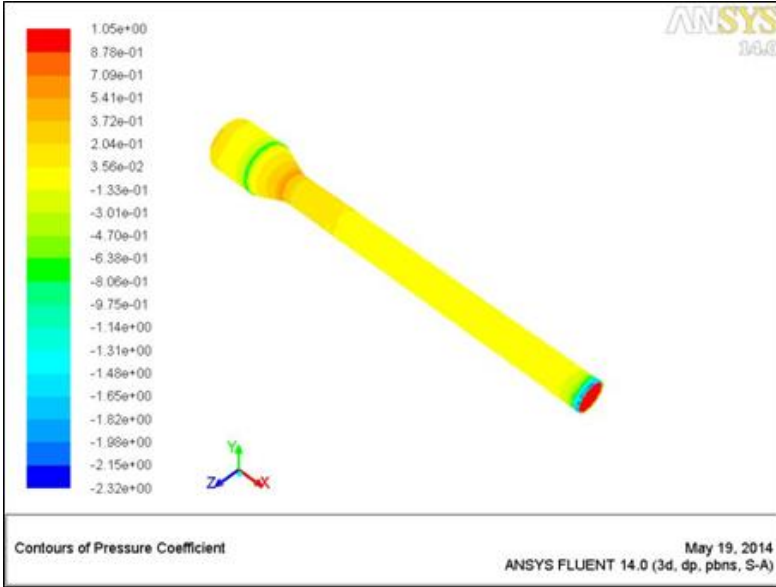
Şekil 7. 3/8 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları



Şekil 8. 3/9 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları



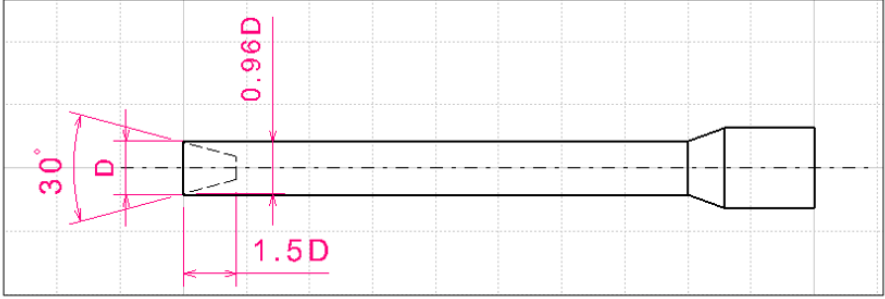
Şekil 9. 3/10 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları



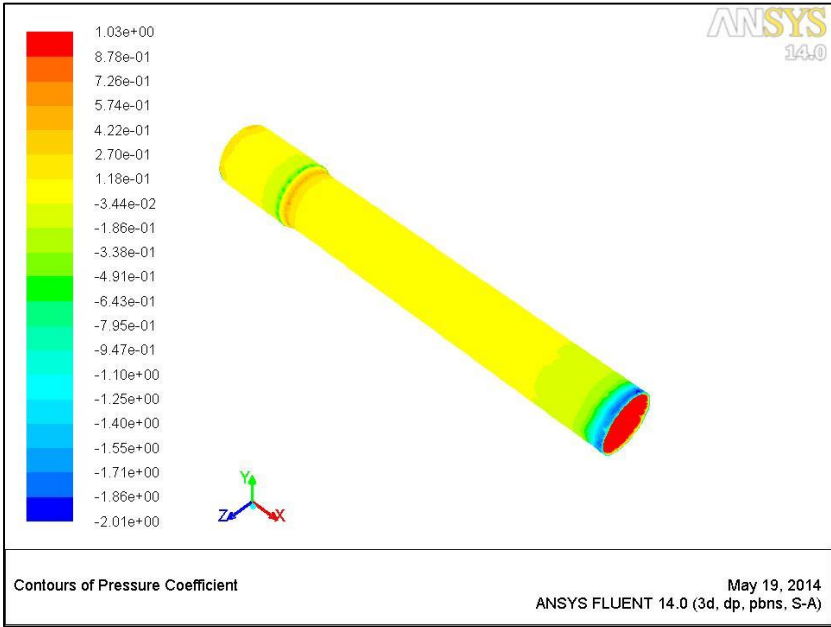
Şekil 10. 3/11 inç dış çapa sahip pitot tüpündeki toplam basınç katsayıları

Basınç katsayısında meydana gelen hatayı minimize etmek amacıyla toplam basınç açıklığı Şekil 11’da gösterildiği gibi 1.5D yapılarak

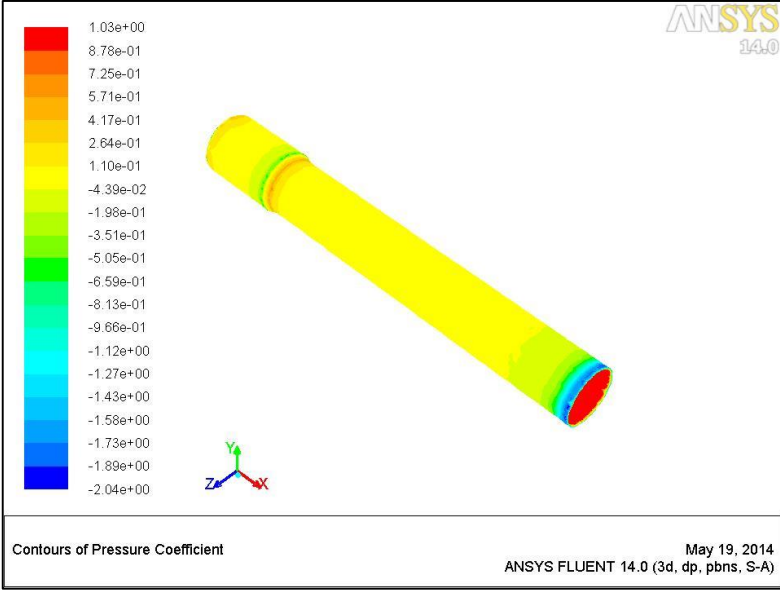
tekrardan analiz yapılmıştır. Analiz sonunda elde edilen basınç katsayıları şekil 12- şekil 14 arasında kontür şeklinde gösterilmiştir.



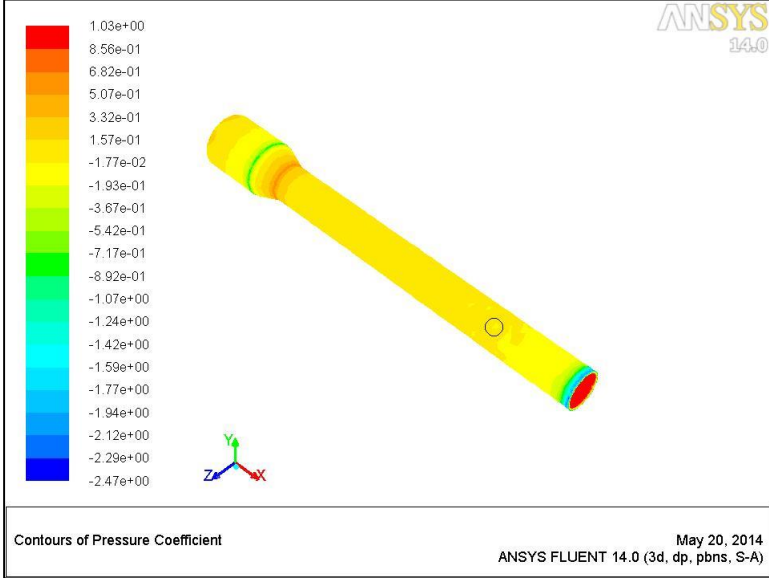
Şekil 11. Toplam basınç tüpü  $1.5D$



Şekil 12. 3/6 inç dış çaplı pitot tüpündeki toplam basınç katsayısı kontürleri



Şekil 13. 3/9 inç dış çaplı pitot tüpündeki toplam basınç katsayısı kontürleri



Şekil 14. 3/9 inç dış çaplı pitot tüpündeki toplam basınç katsayısı kontürleri ( $d/D=0.92$ )



## 5. SONUÇLAR

Toplam basınç tüpünü belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda, değişen pitot tüpü dış çapına bağlı olarak meydana gelen hatalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

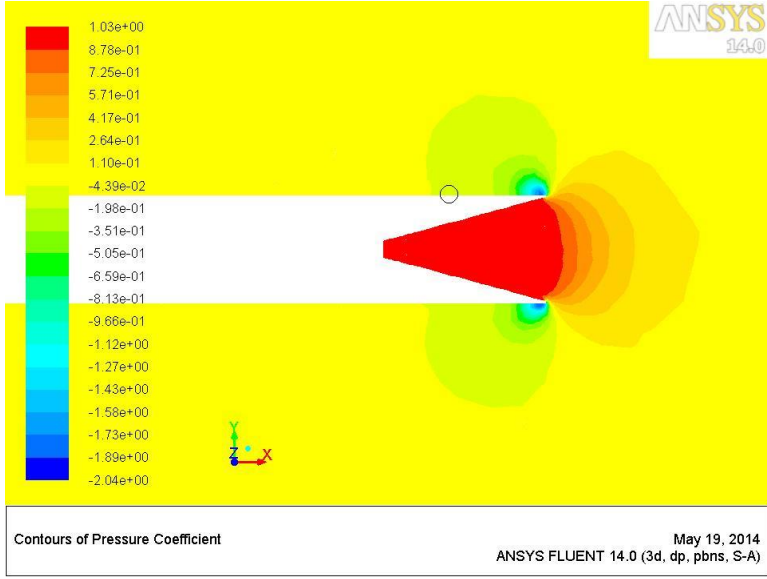
**Tablo 1.** Değişen çaplara göre meydana gelen hatalar

Dış ap(inch)	Okunan Basınç Katsayısı	Basınç Hatası	Katsayısı
3/6	1.031	0.031	
3/7	1.041	0.041	
3/8	1.05	0.05	
3/9	1.036	0.036	
3/10	1.049	0.049	
3/11	1.045	0.045	

Bu sonuçlar doğrultusunda en az hata elde edilen 3/6 in ve 3/9 in çapına sahip olan tüplerde bu hataları minimize etmek için pitot tüpü açıklığı Şekil 2’de görüldüğü gibi 1D yerine Şekil 11’de görülen 1.5D uzunluğunda yapılmıştır. Bunun sonucunda Tablo 2’de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 2.1.5D** çarpma açıklığında basınç katsayısı değerleri

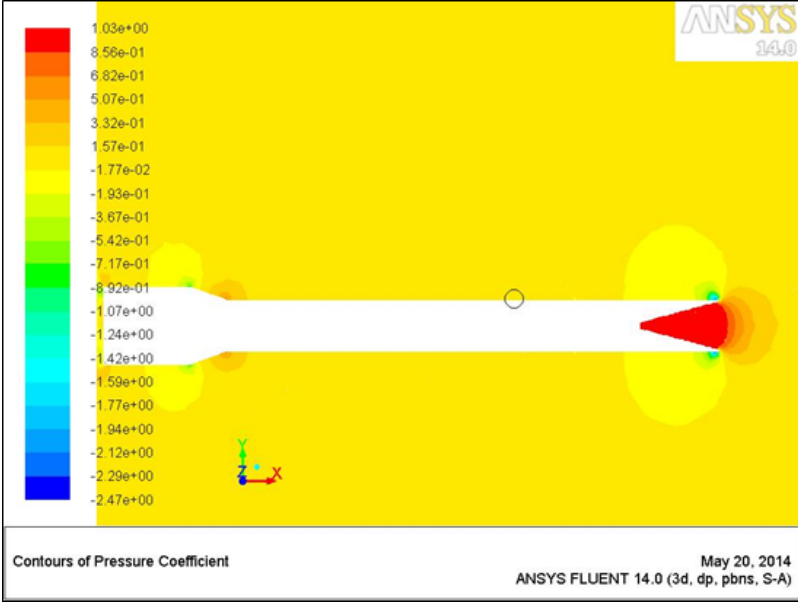
Dış Çap	Okunan Basınç Katsayısı
3/6	1.029
3/9	1.032



**Şekil 15.** 1.5D Çarpma açıklığı ve 3/9'ın çaplı pitot tüpündeki akış hareketi

Tablo 2 ve Şekil 15'de görüldüğü gibi çarpma açıklığının boyu 1D 'den 1.5D'ye büyütüldüğü zaman toplam basınç hatasında 0.004'luk bir düzelme olmuştur. Çarpma açıklığının boyunun belli bir dereceye kadar artırılması toplam basınç hatasını düzeltmiştir.

Meydana gelen hataları biraz daha minimize etmek için d/D oranıyla oynanılmıştır. Bunun için d/D oranı Şekil 4.10'da görüldüğü üzere 0.96 yerine 0.92 yapılarak analiz edildiğinde;



**Şekil 16.**  $d/D=0.92$  Olduğu zaman basınç dağılımı

Şekil 16’da görüldüğü üzere  $d/D=0.92$  olduğunda okunan basınç katsayısı 1.032 yerine 1.031 olmuştur. Ancak Statik basınç alanında okunan değerlerde hatalar artmaya başladığından yani negatif basınç meydana geldiğinden bu oran kabul edilmemiştir. Referans[8]’de belirtildiği üzere  $d/D$  tüp girişinde basınç dağılımına sebep olmaması için bu oran mümkün olduğu kadar 1’ ye yakın seçilmelidir. Pitot tüpünün uç noktasında kırılma meydana gelme riski olduğundan dolayı bu oran 1 seçilemez.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Telionis, D., Yang, Y., Jones, G.,2010, “Pressure and Velocity Measurement”
- [2] Masud, J., Akram, F.,2010, “Adjustment of Aerodynamic-Compensation Characteristic of a Pitot Tube by Rear –Body Shape Manipulation”
- [3] Nasa Reference Publication 1046: Measurement of Aircraft Speed and Altitude
- [4]FAA :Flight Instruments
- [5] Gracey,W., May, 1980: Measurement of Aircraft Speed and Altitude, NASA Reference Publication 1046
- [6] Baker RC. An introductory guide to flow measurement. Oxford: Alden Press; 1989.
- [7] De Carlo JP. Fundamentals of flow measurement Instrument Society of America. Research Triangle Park. 1984.
- [8] Spitzer DW. Flow measurement: Practical guides for measurement and control ISA. Research Triangle Park. 1991.
- [9] Guide to the selection and application of flowmeters. London: Draft British Standard (British Standards Institution); 1987.
- [10] Hayward TJ. Flowmeters A basic guide and source book for users. Macmillan Basingstoke; 1979.
- [11] Kucybala A. 4/2002. To select the proper flowmeter. PAR 16–18.
- [12] Medlock RS. The techniques of flow measurement. Measurement and Control 1983;15:458–63.
- [13] Jarvinen, P.,2011: Aircraft Pitot-Static Tube With Ice Detection-United States Patent
- [14] Carbonara, V., Centre, R., 1938: Conductively Heated Pitot Static Tueb- United States Patent
- [15] Lakshmi, S., Chandrasekhar, S., Pande, S.,Bhargava, S., Ağustos 2013: Pitot –Tube Heating In Aircraft By Skin Effect

- [16] Chwastek C., Kabacinski M, Pospolita J XII. Measuring properties and application of possibilities of averaging pitot tubes and Venturi microtubes. *Pomiary Aparatura Kontrola*. 2004.
- [17] Ransau RS. Simulation of flow around a three-dimensional circular cylinder utilizing computational mechanics software – ForcePAD. In: 15th nordic seminar of computational mechanics. 2002.
- [18] Rouvreau S, Perault LV. Two-dimensional viscous vortex flow around a circular cylinder. *Aerospace Science Technology*; 2001.
- [19] Solberg T, Eidsvik XII KJ. Flow over a cylinder at a plane boundary-A model based upon (k- $\epsilon$ ) turbulence. *Journal of Fluids Engineering* 1989; 111.
- [20] Spalart II PR. Strategies for turbulence modeling and simulations. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2000.
- [21] Turbulence modelling V. Part 2: Limitations of k-epsilon model QNET CFD – Luzern. 2002.
- [22] Verstappen RWCP, Veldman AEP. Numerical computation of a viscous flow around a circular cylinder on a Cartesian grid. In: European congress on computational methods in applied sciences and engineering. 2000.
- [23] Wang M, Catalano P, Iaccarino G. Prediction of high Reynolds number flow over a circular cylinder using LES with wall modelling. Center of Turbulence Research, Annual Research Briefs. 2001.
- [24] Atmaca, M.; Girgin, I.; Ezgi, C.: CFD modeling of a diesel evaporator used in fuel cell systems. *Int. J. Hydrog. Energy* 41(14), 6004–6012 (2016)
- [25] Atmaca M, Çetin B., and Yılmaz E.. CFD Analysis of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Moving in Flocks, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol.135, 694-696, 2019
- [26] Atmaca, M. and Ezgi, C.: Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector, *Energy Sources Part A*, 1-12 (2019)

# DP600 ÇELİĞİ İLE AA 7075-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHALARIN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNE TAKIM DÖNME HIZININ ETKİSİ

Mustafa UĞURLU\* & Ahmet ÇAKAN\*\*

\* Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, mustafaugurlu@mersin.edu.tr

\*\* Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ahcakan@mersin.edu.tr

**Özet:** Hava, deniz ve kara taşıtlarında ağırlığın azaltılması ve buna bağlı olarak emisyon değerlerinin düşürülmesi önemlidir. Endüstride, çevreye duyarlı araç üretiminde ağırlıkta azalmayı sağlayacak farklı tür malzemelerin başarılı bir şekilde birleştirebilmesinde, katı hal kaynak yöntemlerinden, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi artan bir ilgiye sahiptir. Çeliğin yüksek dayanım özelliği, alüminyumun hafiflik ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle endüstride, çelik ile alüminyum levhaların birleştirilmesi arzu edilmektedir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan çeliklerden DP600 ile AA7075-T6 alüminyum alaşımı levhaların kaynaklı birleştirilmesine, takım dönme hızının; kaynağın mekanik ve metalografik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kaynaklı birleştirilmiş numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çekme testlerinde 1040 dev/dk dönme hızında birleştirilen numunelerde en yüksek çekme kuvveti (6500 N) elde edilmiştir. Takım dönme hızının artması ile kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımında azalma gözlenmiştir. SKNK ile birleştirilen numunelerin metalografik analizi, optik mikroskop incelemeleri ile gerçekleştirilmiş olup, artan takım dönme hızı ile kaynak bölgesinde oluşan boşluklarda da artış görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, DP600, AA7075-T6, mekanik özellikler

## Giriş

Yakıt verimi, karbon emisyon değerlerinin düşük olması ve yolcu güvenliği otomotiv firmaları için öncelikli konular arasında yer almaktadır. Konstrüksiyonda, hafif malzemelerin kullanımı ile ağırlık azaltılmasında dayanım değerlerinin yetersiz kalmaması için farklı tür malzemelerin birlikte kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple, yüksek dayanım değerine sahip çelik ile oldukça hafif olan Alüminyum malzemelerin birleştirilmesi otomotiv endüstrisi için dikkat çeken bir konu olmuştur (Ogura, 2012; Ogura, 2013). Bu malzemelerin, fiziksel ve metalürjik özelliklerinde büyük farklar olması nedeniyle kaynaklı birleştirilmesi zor olmaktadır. Ergime olmaksızın birleşme sağlayabilmesi nedeniyle, farklı

tür malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri tercih edilmektedir (Çakan, 2018; Çakan, 2019; Ugurlu, 2019).

1991 yılında Kaynak Enstitüsü (The Welding Institute, TWI) tarafından geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), anlık ısı oluşumu, soğuma, akış ve deformasyon, yeniden kristalleşme ve mekanik birleşmenin gerçekleştiği termodinamik süreçleri içeren bir prosestir. SKK, düşük distorsiyon, iyi mekanik özellikler, yok denecek kadar az kaynak kusuru, konvansiyonel kaynak yöntemleri ile kaynak edilemeyen bazı metallerde sağladığı üstün kaynak özellikleri ile ergitme olmaksızın metallerin kaynaklı birleştirilmesinde kullanılan oldukça yeni bir yöntemdir (Yazdipour, 2016; Sinha, 2016; Çam, 2008; Çam, 2009; Uzun, 2005).

2003 yılında Mazda Motor Şirketi tarafından, katı hal kaynak yöntemlerinden olan, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) temeli üzerinden nokta kaynağı metodu geliştirilmiştir (Shen, 2010; Zhang, 2011). Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) adı verilen bu yöntem ile füzyon olmaksızın parçalar kaynaklı olarak birleşmektedir. Bu sebeple kaynak dikişinde porozite, çatlak gibi kaynak hatalarının oluşumu minimize edilebilmektedir (Zhang, 2011; Tozaki, 2013). Yüksek mekanik özellikler sunabilen, kaynak işleminde ısı farkının az olması nedeniyle düşük distorsiyon ve düşük artık gerilme oluşturan (Luo, 2013) SKNK tekniği, kullanım kolaylığı, yüksek korozyon direnci, düşük enerji girdisi ve düşük maliyet gibi avantajlar da sunmaktadır. Bu özellikleri ile SKNK tekniği, otomotiv endüstrisinde direnç nokta kaynağının yerini almaktadır (Sun, 2019).

Katı hal kaynak yöntemlerinden sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi kullanılarak aynı ve farklı tür Al-Cu, Al-Ti ve Al-Mg gibi alaşımların birleştirildiği çalışmalar (Heideman, 2019; Lacki, 2017; Choi, 2011) literatürde yer almakta olup bu yöntem Al-çelik levhaların kaynaklı birleştirme işlemi için de uygun bir alternatif olarak görülmektedir (Dehghani, 2013; Nishida, 2014).

SKNK'da takım geometrisi, takım dönme hızı ve bekleme süresi gibi parametreler kaynak parametreleri olarak belirtilmesine karşın takımın dalma derinliği de önemli bir kaynak parametresi olarak kabul edilmektedir. Haghshenas ve arkadaşları (Haghshenas, 2014), takımın alt kısımda yer alan çelik malzemeye daldırılması ile daha düşük intermetalik tabaka oluştuğunu ve bağlanmanın daha iyi gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Fakat bu yöntem için çelikten daha dayanıklı olan karbürler veya kübik bor

nitür gibi malzemelerin, takım malzemesi olarak kullanılması gerekmektedir. Buna rağmen düşük maliyetli ve daha düşük özelliklere sahip takım malzemeleri kullanılarak alt kısımda yer alan levhaya temas olmaksızın difüzyon aracılığı ile birleştirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Piccini, 2017). Bu yöntem daha çok ince levhalarda dalmanın sınırlı olması nedeniyle tercih edilmektedir. Difüzyon ile birleştirme yöntemi, kaynak işlemi esnasında takımın, üstte yer alan daha yumuşak malzemeye teması ile daha düşük kuvvete ihtiyaç duymakta ve bunun sonucunda daha az maliyetli malzeme ile üretilen takımın kullanılabilmesine de olanak sağlaması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Fereudini ve arkadaşları (Fereiduni, 2015), 3 mm kalınlıkta Al-5083 ve 1 mm kalınlıkta St-12 sacların kaynağında 2.8 mm uzunluğunda pim kullanarak difüzyon ile birleşme tekniğini araştırmış ve 900 dev/dk dönme hızı ile birleştirilen levhaların 1100 dev/dk dönme hızı ile birleştirilen levhalara göre daha iyi birleşme dayanımı elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, 3 mm AA7075-T6 Al alaşımı levhalar ile 1.2 mm kalınlığında DP600 çelik levhaların, sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, üç farklı takım dönme hızının (1040 dev/dk, 1320 dev/dk, 1500 dev/dk) kaynak performansına etkisi incelenmiştir.

## Yöntem

Çalışmada, SKNK işlemi için 100x30x3 mm ölçülerinde AA7075-T6 alüminyum alaşımı levhalar ile 100x30x1,2 mm ölçülerinde DP600 çelik levhalar kullanılmıştır. Deneyler oda koşullarında, 30 mm x 30 mm bindirme alanı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1 (AA7075-T6 ) ve Tablo 2'de (DP600) verilmiştir.

**Tablo 1.** AA7075-T6 alüminyum alaşımı levhaların kimyasal kompozisyonu

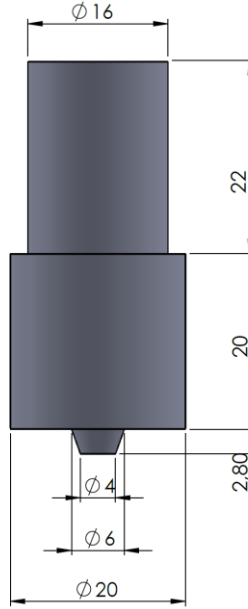
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Al
0.07	0.14	1.6	0.06	2.7	0.19	60 ppm	5.8	0.02	0.01	89.41

**Tablo 2.** DP600 çelik levhaların kimyasal kompozisyonu (Kılıç, 2016)

C	Mn	Si	S	Al	P
0.092	1.912	0.147	0,003	0.031	0.014



Sıcak ve soğuk şekillendirme işlemlerinde yaygın kullanılan, yüksek aşınma direnci, tokluk, talaşlı işlemeye yatkınlık, gibi üstün özelliklere sahip H13 sıcak iş takım çeliği SKN-kaynaklı birleştirme işleminde takım olarak kullanılmıştır. Takım, pim, omuz ve bunları taşıyan gövdeden oluşmaktadır. Omuz çapı 20 mm, konik pim çapı, 4-6 mm ve pim boyu 2,8 mm olacak şekilde talaşlı imalat yöntemi kullanılarak imal edilmiş ve uç bölgesine (pim, omuz) ısıl işlem uygulanarak sertleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanmış olan ve üretimi gerçekleştirilen takım, Şekil 1’de gösterilmiştir.



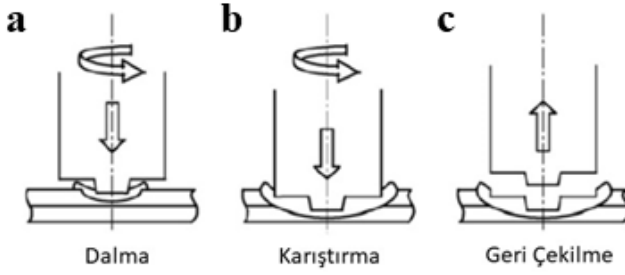
**Şekil 1.** SKNK işleminde kullanılan takımın şematik görünümü

Alüminyum alaşımı levhalar ile DP600 çelik levhaların SKN-kaynaklı birleştirilmesi, düşey başlıklı 2.8 kW gücünde FIRST LC20VGN universal freze tezgahı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak performansına takım dönme hızının etkisinin belirlenmesi amacı ile bekleme süresi 10 s olarak sabit tutulmuş ve üç farklı devir sayısı (1040, 1320 ve 1500 dev/dk.) kullanılmıştır.

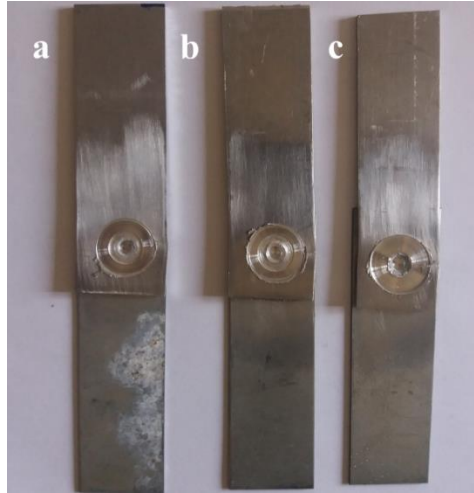
Freze tezgahı belirlenen devir parametrelerine ayarlanarak, takımın saat yönünde dönmesi sağlanmıştır. Bu ön hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra dalma, bekleme ve geri çekilme aşamalarından oluşan şematik görünüşü Şekil 2’ de gösterilen SKNK işlemine başlanmıştır.

İlk aşamada belirlenen devirde dönen takım ucunun freze tablasının dik yönde (yukarı) yavaş hareketi ile dönmekte olan pim ucunun parçaya

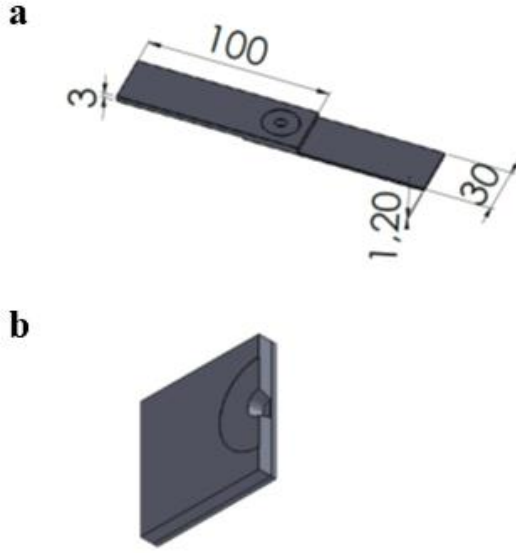
nüfuziyeti sağlanmıştır. Tablanın yukarı yönlü hareketi, omuz parçalara temas edene kadar devam ettirilmiştir. Pim kısmı parçaya daldırılmış dönmekte olan takımın omuzu ana metale teması sağlandıktan sonra dalma miktarı ayarlanmış ve 10 sn beklenmiştir. Farklı kaynak parametrelerinde üretilen kaynaklı birleştirmelerin yüzey görünümleri Şekil 3'te verilmiştir.



**Şekil 2.** SKN-Kaynak işleminin şematik gösterimi a) Dalma, b) Karıştırma, c) Geri çekilme



**Şekil 3.** Farklı kaynak parametrelerinde SKN-kaynaklı birleştirmelerin üstten (yüzey) görünümleri a) 1040 dev/dk, b) 1320 dev/dk ve c) 1500 dev/dk



**Şekil 4.** a) Çekme testi numune ölçüleri b) Optik ve mikrosertlik test numunesinin şematik görünümü

Üç farklı devir parametresi (1040, 1320, 1500 dev/dk) kullanılarak SKN-kaynaklı birleştirilen numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde 1 ton yük kapasiteli üniversal çekme test cihazı (Raagen) kullanılmıştır. Numunelere oda koşullarında 1 mm/dk yükleme hız değerinde çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi numune ölçüleri ve metalografik analizler için kullanılan numunenin şematik görünümü Şekil 4'te görülmektedir.

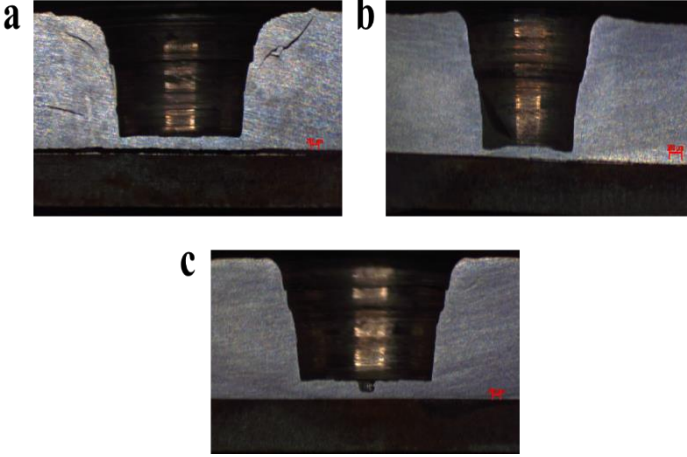
Üç farklı devir hızı (1040, 1320, 1500 dev/dk) kullanılarak elde edilen kaynaklı parçaların metalografik analizlerinde ZEISS Stereo Discovery.V8 optik mikroskop kullanılmıştır. Metalografik analiz için numunelere zımparalama ve parlatma işleminin ardından dağlama işlemi uygulanmıştır. Kaynaklı parçaların Vickers sertlik değerleri, 10 sn boyunca 100 g yük uygulanarak belirlenmiştir.

## **Bulgular**

### **3.1 Kaynağın Metalografik Karakterizasyonu**

Takımın, üç farklı dönme hızında gerçekleştirilen SKN-kaynaklı levhaların optik mikroskop görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, 1500 dev/dk ile birleştirilen numunede (Şekil 5a) omuzun altında kalan bölgede çatlakların varlığı

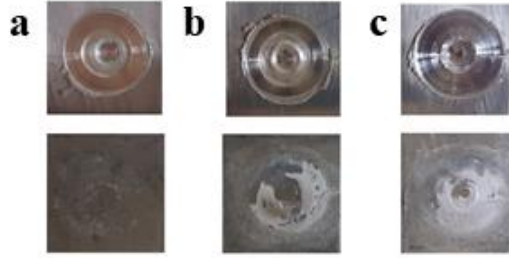
gözlenmiştir. 1320 dev/dk ile birleştirilen numunede (Şekil 5b) pimin temas ettiği bölgenin alt kısmında ince bir çatlak olduğu gözlenmiş olup 1040 dev/dk ile birleştirilen numunede (Şekil 5c) belirgin bir kaynak kusuru görülmemiştir.



**Şekil 5.** Farklı dönme hızları kullanılarak elde edilen kaynaklı birleştirmelerin optik mikroskop görünüşleri, a) 1500 dev/dk, b)1320 dev/dk ve c) 1040 dev/dk

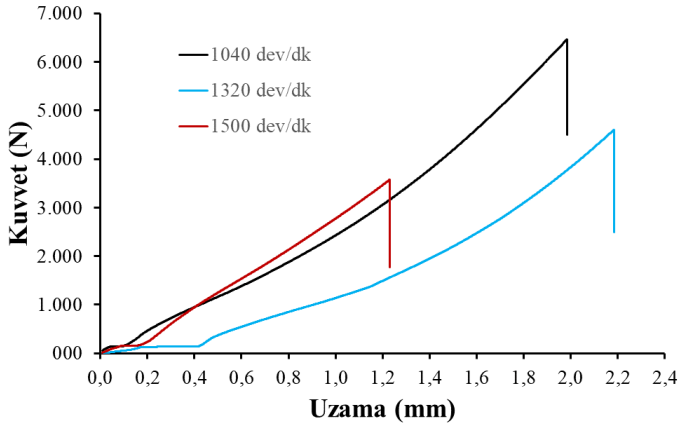
### 3.2 Çekme-Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi

Sürtünme karıştırma nokta kaynaklı birleştirilen numunelerin çekme dayanımları, çekme testleri uygulanarak belirlenmiştir. Çekme testi sonucu kopmuş numunelerde (Şekil 6), altta yer alan çelik levhalarda üstte yer alan Al levhalardan kopmuş Alüminyumun varlığı tespit edilmiştir. Takımın 1500 dev/dk dönme hızında birleştirilen numunede (Şekil 6c) daha fazla Alüminyumun varlığı görülmüştür. Deneylede uygulanan 1040 dev/dk lık en düşük takım dönme hızında SKNK lı birleştirilen numunede (Şekil 6a) ise omuz ve pimin sınırlarının belli olacağı şekilde ısı etkisi sonucunda oluştuğu düşünölen iz yer almaktadır. Kullanılan yüksek dönme hızına (1500 dev/dk) bağılı olarak kaynak bölgesinde yüksek sıcaklık oluştuğu öngörülmektedir. Kaynak bölgesinde artan sıcaklık nedeniyle, birleştirilen numunelerde birinden diğere daha çok malzemenin transferine yol açtığı düşünölmektedir. Çekme testi sonucu kopmuş parçalardan üstte yer alan Al levhaların yüzeyi incelendiğinde, Üç farklı dönme hızı için benzer görünümün oluştuğu, malzeme transferi sonucunda omuz ve pim çukurlarının meydana geldiği belirlenmiştir.



**Şekil 6.** Çekme testi sonrasında alt ve üst levhalar üzerinde kaynak bölgelerinin görüntüleri

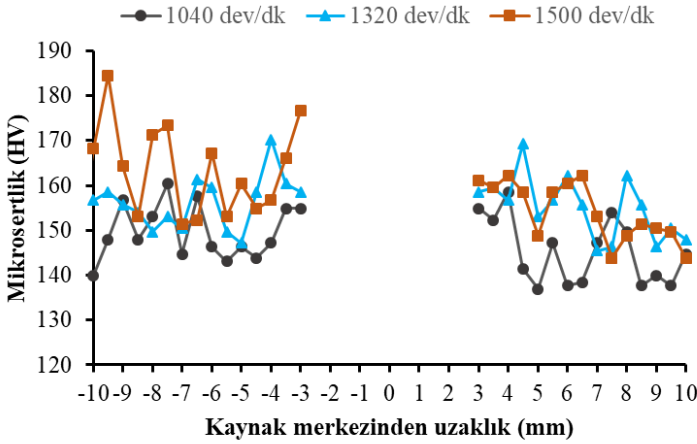
Üç farklı dönme hızı kullanılarak elde edilen kaynaklı parçaların çekme-kesme kuvvetleri ile uzama değerleri Şekil 7’de yer almaktadır. Artan takım dönme hızına bağlı olarak çekme kuvvetinde azalma olduğu tespit edilmiş olup en yüksek çekme-kesme kuvveti 6500 N olarak 1040 dev/dk ile birleştirilen numuneden elde edilmiştir. En düşük çekme-kesme kuvveti ise 3500 N olarak 1500 dev/dk ile SKNK birleştirilen parçadan elde edilmiştir (Şekil 7). Yüksek takım dönme hızına bağlı olarak kaynak bölgesinde artan sıcaklık ile bu bölgede kırılgan intermetalik bileşiklerin oluşması, Çekme-kesme kuvvetindeki azalmaya yol açmış olacağı düşünülmektedir.



**Şekil 7.** Farklı dönme hızları kullanılarak SKN-kaynaklı levhaların çekme testi sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrileri

### 3.3 Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Üç farklı dönme hızı kullanılarak elde edilen SKN-kaynaklı birleştirilen parçaların Vickers sertlik değerleri Şekil 8’de yer almaktadır. Takımın farklı dönme hızlarına göre, SKN-kaynaklı numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, 1040 dev/dk dönme hızında birleştirilen numune düşük vickers sertlik değerlerine sahipken, 1320 dev/dk ve 1500 dev/dk ile birleştirilen numuneler benzer sertlik değerleri göstermiştir. Üç farklı dönme hızı için kaynak merkezinden başlanarak elde edilen sertlik değerlerinin değişimi benzer nitelikte olup, kaynak bölgesinde, pimin çıkış noktasından dışarıya doğru sertlik değerlerinde genel olarak önce azalmanın olduğu ardından ise artma olduğu belirlenmiştir. Azalmanın, artan ısıdan etkilenen bölge olduğu düşünülmektedir. Venukumar ve arkadaşları (Venukumar, 2013), bu durumu aşırı yaşlanma sonucunda tanelerin irileşmesi ile açıklamaktadır. Pimin çıkış noktasında üç farklı dönme hızı için yaklaşık 160 HV sertlik değeri elde edilmiştir. Isıdan etkilenen bölgede ise, 1040 dev/dk ile birleştirilen numune için yaklaşık 140 HV sertlik değeri ölçülmüş olup 1320 dev/dk ve 1500 dev/dk ile SKN-kaynaklı birleştirilen numuneler için ise benzer değerler yaklaşık 150 HV sertlik değeri ölçülmüştür.



Şekil 8. Farklı dönme hızları kullanılarak SKN-kaynakla birleştirmelerin Vickers sertlik değerleri

## **Sonuç ve Öneriler**

Farklı dönme hızları kullanılarak, SKN-kaynaklı birleştirilen alüminyum alaşımı levhalar ile DP600 çelik levhaların optik mikroskop incelemelerinde 1040 dev/dk ve 1320 dev/dk dönme hızlarında SKN-kaynaklı birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinde çatlak oluşumu gözlenmezken, 1500 dev/dk dönme hızında SKN-kaynaklı birleştirilen numunenin kaynak bölgesinde az da olsa çatlağın varlığı belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerin Vickers sertlik değerleri karşılaştırıldığında, 1320 dev/dk ve 1500 dev/dk ile birleştirilen numunelerin yaklaşık 150 HV sertlik ile birbirine yakın sertlik değerlerine sahip olduğu, 1040 dev/dk ile birleştirilen numunenin, 140 HV sertlik değeri ile en düşük sertlikte olduğu görülmüştür. Artan takım dönme hızına bağlı olarak çekme kuvvetinde azalma olduğu tespit edilmiştir. En düşük çekme-kesme kuvveti 3500 N olarak 1500 dev/dk ile SKNK birleştirilen parçadan elde edilmiştir. En yüksek çekme-kesme kuvveti ise 6500 N olarak 1040 dev/dk takım dönme hızı kullanılarak birleştirilen numuneden elde edilmiştir.

## **Kaynaklar**

- Ogura, T., Saito, Y., Nishida, T., Nishida, H., Yoshida, T., Omichi, N., ... & Hirose, A. (2012). Partitioning evaluation of mechanical properties and the interfacial microstructure in a friction stir welded aluminum alloy/stainless steel lap joint. *Scripta Materialia*, 66(8), 531-534.
- Ogura, T., Nishida, T., Tanaka, Y., Nishida, H., Yoshikawa, S., Fujimoto, M., & Hirose, A. (2013). Microscale evaluation of mechanical properties of friction stir welded A6061 aluminium alloy/304 stainless steel dissimilar lap joint. *Science and Technology of Welding and Joining*, 18(2), 108-113.
- Cakan, A., Atmaca, H., & Uğurlu, M. Analysis and Joining of Al–Cu Plates Using Friction-Stir Welding Technique. *European Mechanical Science*, 2(1), 1-8.
- Cakan, A., Ugurlu, M., Kaygusuz, E. (2019). Effect of weld parameters on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir joints between pure copper and the aluminum alloy AA7075-T6. *Materials Testing*, 61(2), 142-148.

- Uğurlu, M., & Çakan, A. The Effect of Tool Rotation Speed on Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded (FSSW) AA7075-T6 Aluminium Alloy Sheets. *European Mechanical Science*, 3(3), 97-101.
- Yazdipour, A., & Heidarzadeh, A. (2016). Effect of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of dissimilar Al 5083-H321 and 316L stainless steel alloy joints. *Journal of Alloys and Compounds*, 680, 595-603.
- Sinha, V. C., Kundu, S., & Chatterjee, S. (2016). Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar joints of aluminium alloy and pure copper by friction stir welding. *Perspectives in Science*, 8, 543-546.
- Çam, G., Serindağ, H. T., Çakan, A., Mistikoglu, S., & Yavuz, H. (2008). The effect of weld parameters on friction stir welding of brass plates. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe*, 39(6), 394-399.
- Çam, G., Güçlüer, S., Çakan, A., & Serindag, H. T. (2009). Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe*, 40(8), 638-642.
- Uzun, H., Dalle Donne, C., Argagnotto, A., Ghidini, T., & Gambaro, C. (2005). Friction stir welding of dissimilar Al 6013-T4 to X5CrNi18-10 stainless steel. *Materials & design*, 26(1), 41-46.
- Shen, Z., Yang, X., Zhang, Z., Cui, L., & Li, T. (2013). Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints. *Materials & design*, 44, 476-486.
- Zhang, Z., Yang, X., Zhang, J., Zhou, G., Xu, X., & Zou, B. (2011). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of



- friction stir spot welded 5052 aluminum alloy. *Materials & Design*, 32(8-9), 4461-4470.
- Shen, J., Min, D., & Wang, D. (2011). Effects of heating process on the microstructures and tensile properties of friction stir spot welded AZ31 magnesium alloy plates. *Materials & Design*, 32(10), 5033-5037.
- Tozaki, Y., Uematsu, Y., & Tokaji, K. (2010). A newly developed tool without probe for friction stir spot welding and its performance. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(6-7), 844-851.
- Luo, T. J., Shi, B. L., Duan, Q. Q., Fu, J. W., & Yang, Y. S. (2013). Fatigue behavior of friction stir spot welded AZ31 Mg alloy sheet joints. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(7), 1949-1956.
- Sun, Y., Fujii, H., Zhu, S., & Guan, S. (2019). Flat friction stir spot welding of three 6061-T6 aluminum sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 264, 414-421.
- Heideman, R., Johnson, C., & Kou, S. (2010). Metallurgical analysis of Al/Cu friction stir spot welding. *Science and Technology of Welding and Joining*, 15(7), 597-604.
- Lacki, P., & Derlatka, A. (2017). Strength evaluation of beam made of the aluminum 6061-T6 and titanium grade 5 alloys sheets joined by RFSSW and RSW. *Composite Structures*, 159, 491-497.
- Choi, D. H., Ahn, B. W., Lee, C. Y., Yeon, Y. M., Song, K., & Jung, S. B. (2011). Formation of intermetallic compounds in Al and Mg alloy interface during friction stir spot welding. *Intermetallics*, 19(2), 125-130.
- Dehghani, M., Amadeh, A., & Mousavi, S. A. (2013). Investigations on the effects of friction stir welding parameters on intermetallic and defect formation in joining aluminum alloy to mild steel. *Materials & Design*, 49, 433-441.
- Nishida, T., Ogura, T., Nishida, H., Fujimoto, M., Takahashi, M., & Hirose, A. (2014). Formation of interfacial microstructure in a friction

- stir welded lap joint between aluminium alloy and stainless steel. *Science and Technology of Welding and Joining*, 19(7), 609-616.
- Haghshenas, M., Abdel-Gwad, A., Omran, A. M., Gökçe, B., Sahraeinejad, S., & Gerlich, A. P. (2014). Friction stir weld assisted diffusion bonding of 5754 aluminum alloy to coated high strength steels. *Materials & Design*, 55, 442-449.
- Piccini, J. M., & Svoboda, H. G. (2017). Tool geometry optimization in friction stir spot welding of Al-steel joints. *Journal of Manufacturing Processes*, 26, 142-154.
- Fereiduni, E., Movahedi, M., & Kokabi, A. H. (2015). Aluminum/steel joints made by an alternative friction stir spot welding process. *Journal of materials processing technology*, 224, 1-10.
- Kılıç, S., & Öztürk, F. (2016). Ticari Twip900 Ve Dp600 Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Otomotiv Endüstrisindeki Performanslarının Karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3).
- Venukumar, S., Yalagi, S., & Muthukumaran, S. (2013). Comparison of microstructure and mechanical properties of conventional and refilled friction stir spot welds in AA 6061-T6 using filler plate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(10), 2833-2842.

# BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE ISIL VERİMİN DENEYSSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**Hasan SAVAT\* & Mustafa Atmaca\*\***

\* *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği,  
hsnsvt@gmail.com*

\*\* *Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği,  
matmaca@marmara.edu.tr*

**Özet:** Isı geri kazanım cihazı, havalandırılma ihtiyacı olan, dış ortamla farklı sıcaklıktaki tüm mahallerde (ev, ofis, sinema, AVM, Konferans salonu vb.) enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilen bir sistemdir. Bu cihaz dışarı atılacak hava ile iç ortama alınacak hava arasında ısı transferi yaparak, ısıtma ve soğutma işlemlerinden ciddi oranda tasarruf ve enerji kazancı sağlayabilmektedir.

Bu cihazın en yaygın kullanılan türü reeperatörlü (Plakalı Tip Isı değıştiricili) olanıdır. Bu sistemde dışarı atılan kirli hava ile içeri alınan temiz hava arasındaki, ısı transferi reeperatör ismi verilen bir ısı değıştiricisiyle sağlanmaktadır. Bu çalışmada cihazın ısı değıştiricisinin, ısı transferi ve ısıl verimliliği; deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı geri kazanımı, enerji verimliliği, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, fluent, ısı değıştiricisi, havalandırma sistemi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, HAD

**Abstract:** The heat recovery device is a system that can be used to save energy in all location (home, office, cinema, shopping mall, conference hall, etc.) where needs ventilation and temperature difference between internal and external air. This device can save a significant amount of energy savings from heating and cooling processes by transferring heat between the air to be ejected and the air to be taken into the interior. The most widely used type of this device is the one with the heat exchanger. This system is provided by a heat exchanger, it exchanges the heat between the dirty air being thrown out and the fresh air being imported.

The most widely used type of this device is the heat exchanger type (Plate Type Heat exchanger). In this system, heat transfer between the dirty air and the fresh air, is provided by a heat exchanger. In this study, the heat exchanger's heat transfer and thermal efficiency; was examined experimentally and numerically.

**Keywords:** Heat recovery, energy efficiency, heat transfer, fluid mechanics, fluent, heat exchanger, ventilation system, computational fluid dynamics, CFD

## GİRİŞ

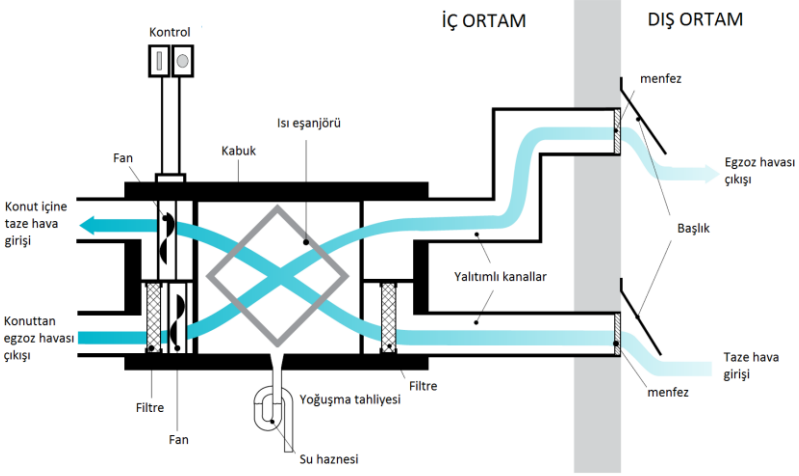
Enerji verimliliği gerek ekonomik anlamda önemi gerekse küresel ısınmayı yavaşlatacak hatta önüne geçebilecek olması sebebi ile günümüzde büyük önem taşımaktadır. Yapılan bir çalışmada küresel ısınmanın etkilerini önlemek amacıyla; kullanılacak etkili yöntemlerden birinin de enerji verimliliğini artırmak olduğuna değinilmiştir (Bayraç, 2010). Enerji verimliliği, miktar ve kaliteyi düşürmeden, var olan enerji atıklarından faydalanılması ve enerji kayıplarının en aza indirilmesi ile mümkündür.

Isı geri kazanım cihazı dış ortam ile farklı sıcaklıktaki havalandırılma ihtiyacı olan tüm mahallerde (ev, ofis, sinema, AVM, Konferans salonu vb.) atık ısıdan faydalanarak enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilen bir sistemdir. Bu cihaz dışarı atılacak olan hava ile iç ortama alınacak olan hava arasında ısı transferi yaparak, ısıtma ve soğutma işlemlerinden ciddi oranda tasarruf ve enerji kazancı sağlayabilmektedir. Pamir (2005) yaptığı çalışmada enerji tasarrufunun ve enerji tüketimini azaltmanın öneminden bahsetmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise enerji verimliliğinin öneminden ve bu konuda neler yapılabileceğinden bahsedilmiştir (Narin ve Akdemir, 2006). Satman (2007) ise çalışmada enerji verimliliğinin ekonomi üzerinde etkilerine değinmiş ve bu konuda atılacak olan adımların ve bu konudaki vizyonun öneminden bahsetmiştir.

İklimlendirme sistemlerinde ısı geri kazanımı, enerji verimliliğini arttırması dışında üç önemli avantaja sahiptir:

- 1.Geri kazanılan ısı sayesinde iç ortamı konfor koşullarına getirmek için gereken dış hava yükü önemli miktarda azaltılmış olur. Böylece iklimlendirme için harcanan enerji miktarı düşer, tasarruf sağlanır.
- 2.Gerek iklimlendirme sisteminde kullanılan bileşenlerin kapasitelerinin azaltılması gerekse nemlendirme ve nem alma bileşenlerine ihtiyacın kalmaması durumunda ilk yatırım maliyeti azaltılabilir.
- 3.Azalan dış hava yükü, taze havalı cihaz kullanımını daha makul hale getirir. Böylece iç hava kalitesinin sağlanmasında üstünlük sağlanır (Altın, Aktakka, Günerhan ve Karakoç, 2013).

Bu çalışma bu cihazın reeperatörlü (Plakalı Tip Isı değıştiricili) tip olanı için yapılmıştır. Aşağıdaki şekil 1.'de cihazın çalışma durumundaki Montajı ve iç yapısı görülmektedir.



**Şekil 1.** Cihazın Çalışma Durumundaki Montajı ve İç Yapısı (Şentürk, Aktakka ve Toksoy, 2015)

Bu çalışmada cihazın ısı değiştiricisinin, ısı transferi ve ısı verimliliği; deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

## YÖNTEM

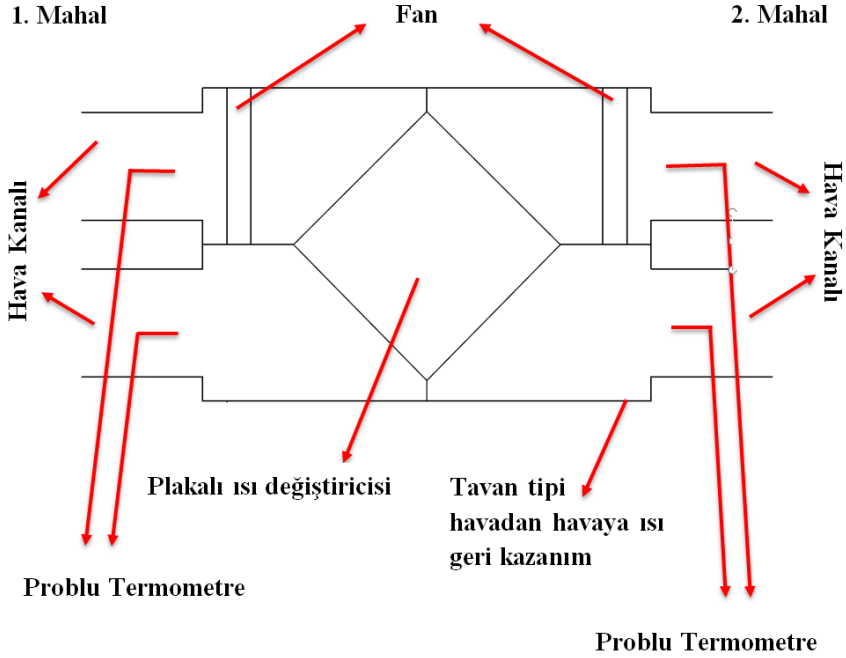
### Deneysel Çalışma

Bu deney vasıtasıyla ısı değiştiricisinin veriminin ölçülmesi amaçlanmaktadır.

Bu deneyde:

- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazı
- Flexi hava kanalları
- Probu termometre
- Anemometre
- PVC Kanal bandı, kullanılmaktadır.

Bu deney aralarında sıcaklık değerleri farklı olan iki mahal arasında şekil 2.'de gösterildiği gibi yukarıdaki malzemeler vasıtası ile düzenek kurularak yapılmaktadır.



**Şekil 2. Deney Düzenegi Şeması**

Deney düzenegi kurulurken ve deney yapılırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazının flanşlarına hava kanalları bağlanır.
- Hava kanallarının sızdırmazlığı sağladığından emin olunur. Hava kaçaqları ve açıklıklar kalır ise PVC kanal bandı ile kapatılır.
- 1. mahal ve 2. mahalle ilgili kanal hatlarının uçları yerleştirilir. Deney sırasında kullanılacak 1. mahal ile 2. mahal arasında sıcaklık farkı olması gerekmektedir.
- Probu termometrelerin bağlantıları yapılır, bu işlem sırasında oluşan tüm kaçaqlar PVC kanal bandı kullanılarak kapatılır.
- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazının elektrik bağlantıları yapılır ve cihaz çalıştırılır.
- Kaçak olup olmadığı kontrol edilir, saptanan kaçaklar, PVC kanal bandı vasıtasıyla kapatılır.
- Cihaz çalıştırıldıktan sonra ilk 2 saat boyunca hiçbir ölçüm alınmaz, ısıl dengeye ulaşılması beklenir. Sonrasında ise her yarım saatte bir probu termometreler vasıtasıyla şekilde gösterilen yerlerden sıcaklıklar ölçülerek kaydedilir. Her sıcaklık ölçümü yapıldığında da anemometre vasıtasıyla hava hızı kaydedilir.

- Ölçümler 25 kere yapılıncaya sistem durdurulur ve cihazın elektrik bağlantısı sökülür.
- Yapılmış olan sıcaklık ölçümleri kullanılarak denklem 1. vasıtasıyla her bir ölçüm için verim değeri hesaplanır ve bu değerlerin ortalaması alınır.
- Yapılmış olan hava hızı ölçümleri kullanılarak debi değeri hesaplanır ve bu değerlerin ortalaması alınır.
- Bulunan değerler kaydedilerek deney sonuçlandırılır.

Şekil 3.'de kurulmuş olan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3. Deney Düzeneği

Bir plakalı ısı geri kazanım cihazının ısı verimi, ısı değiştiricisinin, geri kazandığı ısının, kazanılabilecek en çok ısıya oranıdır. Bu verim, aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\text{Isıl Verim} = (T_{tç} - T_{tg}) / (T_{eg} - T_{tg})$$

$T_{tç}$ ,  $T_{tg}$  ve  $T_{eg}$  ilgili konumlardaki termometrelerin ölçtüğüleri, °C cinsinden sıcaklık değerleridir.

$T_{tç}$ : Taze hava çıkış sıcaklığı

$T_{tg}$ : Taze hava giriş sıcaklığı

$T_{eg}$ : Egzos havası giriş sıcaklığı (Kaya, 2013)

Yapılan ölçümler, tablo 1.' de görülmektedir. Tablo 2., Tablo 1. kullanılarak elde edilmiştir.

**Tablo 1. Yapılan Ölçümlerin Sonuçları**

Ölçüm No	Hava Hızı (m/s)	T <sub>tç</sub> (°C)	T <sub>tg</sub> (°C)	T <sub>eg</sub> (°C)
1	4,4	26,7	21	31,7
2	4,6	26,8	21,3	31,8
3	4,4	27	21,6	32,1
4	4,6	27	21,7	32,2
5	4,5	27,1	21,7	32,2
6	4,4	27,1	21,7	32,3
7	4,3	27,2	21,5	33
8	4,5	27,2	21,5	33,1
9	4,6	27,4	21,5	32,9
10	4,2	27,2	21,5	32,6
11	4,2	27,3	21,5	32,4
12	4,4	27,4	21,6	32,4
13	4,3	27,3	21,6	32,3
14	4,4	27,3	21,6	32,2
15	4,5	27,2	21,6	32,1
16	4,5	27,2	21,6	32,2
17	4,4	27,5	21,6	32,7
18	4,6	27,5	21,6	32,7
19	4,4	27,4	21,6	32,6
20	4,6	27,4	21,6	32,5
21	4,6	27,4	21,6	32,6
22	4,5	27,3	21,6	32,4
23	4,6	27,3	21,6	32
24	4,6	27,1	21,6	32,1
25	4,5	27,2	21,6	32,2



**Tablo 2. Debi – Verim Değerleri**

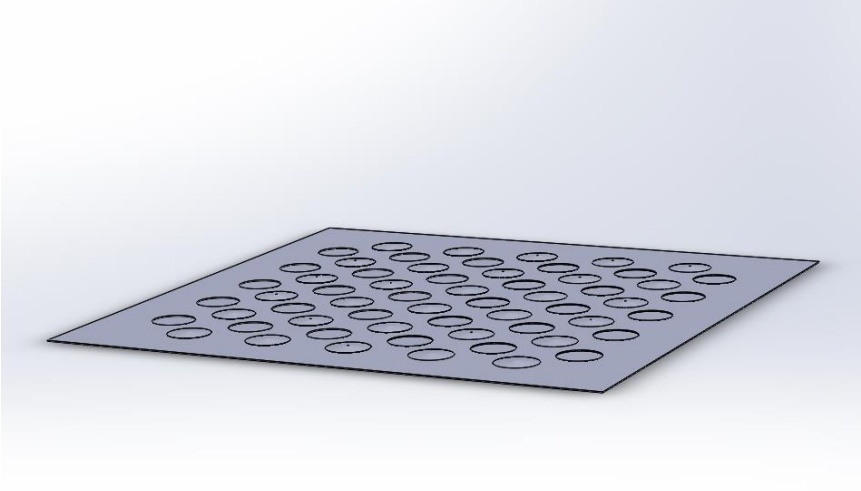
<b>Ölçüm No</b>	<b>Debi (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Verim (%)</b>
1	790	53
2	826	52
3	790	51
4	826	50
5	808	51
6	790	51
7	772	50
8	808	49
9	826	52
10	754	51
11	754	53
12	790	54
13	772	53
14	790	54
15	808	53
16	808	53
17	790	53
18	826	53
19	790	53
20	826	53
21	826	53
22	808	53
23	826	55
24	826	52
25	808	53

Yukarıdaki debi ve verim değerlerinin ortalaması alınır. Böylece 800 m<sup>3</sup>/h debi değeri için %52 verim değeri deneysel olarak bulunmuş olur.

## Sayısal Çalışma

Deneyi yapılan cihazın ısı değiştiricisi çıkarılır, ürün üzerinden gerekli ölçüler alınır. Solidworks programı vasıtasıyla kullanılan ısı değiştiricisi bilgisayar ortamında oluşturulmuştur.

Bu işlem sırasında önce lamellerden biri oluşturulmuş. Oluşturulan lamel Şekil 4.'de görölmektedir. Mevcut modelimiz Şekil 4.'de görölmekte olan lamellerden 108 adet içermektedir.



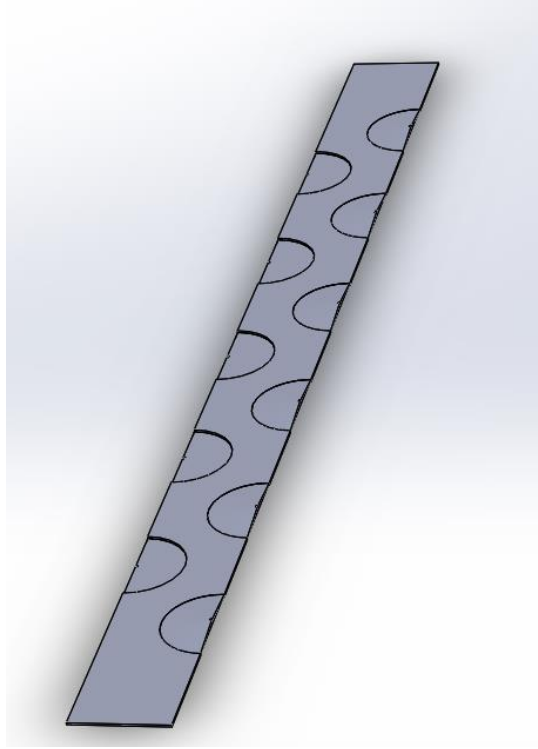
**Şekil 4.** Oluşturulan Lamel

Oluşturulmuş olan bu lameller döndürölerek üst üste gelecek Şekilde kopyalanmış, alt-üst kapakları, çıtalara gibi parçaları çizilip modele eklenmiştir. Modelin bilgisayar ortamında oluşturulmuş Şekli, Şekil 5.'de görölmektedir.



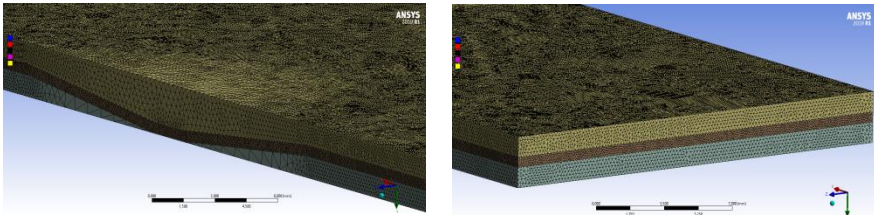
**Şekil 5.** Oluşturulmuş Model

Analizi yapılacak olan obje periyodik olarak kendini tekrarlayan bir geometriye sahiptir. Bu sebeple tekrarlanan geometrinin sadece bir tanesinin analizinin yapılması ile tamamının yapılması bu durum için aynı sonucu verecektir. Bunun yanı sıra geometrinin karışıklığı ve küçük birimlerden oluşması sebebi ile model üzerinde oluşturulacak olan mesh ağı aşırı karmaşık olacaktır ve bu sebep ile analizinin yapılması için gerekli olacak olan işlem gücü çok yüksek bir seviyeye çıkacaktır. Bu durum elde mevcut olan cihazlarla mümkün olmamanın dışında, gereksiz bir işlem israfına sebep olacaktır. Bu nedenle geometri periyodik olacak şekilde bölünmüş ve periyodik olan parçalardan biri incelenmiştir. Şekil 6.'da periyodik bölge görülmektedir.



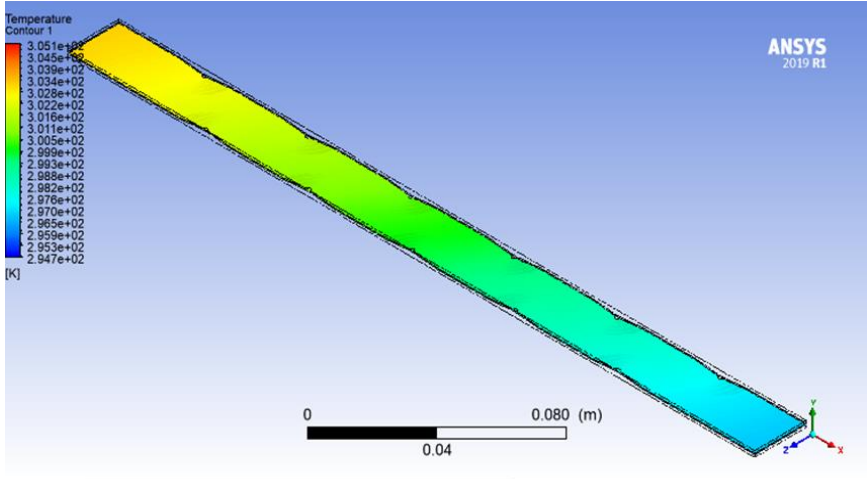
**Şekil 6.** Periyodik Bölge

Periyodik bölgeye sıcak ve soğuk havanın geçeceği ilgili akış alanı eklenerek, analizin yapılabilmesi için mesh işlemine geçilir. Şekil 7.'de kurulmuş olan mesh ağından görseller görülmektedir. Kurulmuş olan mesh ağı Ansys programının sahip olduğu mesh modülü vasıtasıyla hazırlanmıştır.



**Şekil 7.** Kurulan Mesh Ağı

Mesh ağı ANSYS programının Fluent modülüne aktarılır ve Fluent modülünde analizde ısıl verilerin de yer alması istendiği için energy seçeneği off konumundan on konumuna alınır. Matematik model olarak k-epsilon model Realizable, Near Wall treatment: Standart Wall Function seçilmiştir (Atmaca ve Ezgi, 2019; Atmaca, Girgin ve Ezgi, 2016). Malzeme bilgisi olarak akışkan hava, katı ise alüminyum olarak tanımlanır. İnlet, outlet (pressure outlet), wall ve symmetry olan bölümler tanımlanır (Atmaca, Çetin ve Yılmaz, 2019).. Hava hızı ise toplam debinin ısı değiştiricisinin giriş yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır; 6,9m/s'dir. Turbulent intensity: %5, turbulent viscosity ratio: %10 olarak girilmiştir. Havanın giriş sıcaklıkları da girilerek, modül vasıtasıyla analiz işlemi başlatılır. Analiz sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımları şekil 8.'de yer almaktadır.



**Şekil 8.** Sıcaklık Dağılımları

## BULGULAR

Analizde, deney ile benzer hava giriş sıcaklıkları ve debileri olacak şekilde ayarlanmıştır ve analiz sonucunda elde edilen hava çıkış sıcaklıkları ile buna bağlı olarak hesaplanan verim değerinin arasında kayda değer bir fark olmadığı görülmüştür. Deney ve analiz ile elde edilen tüm sıcaklık ve verim verileri aşağıdaki tablo 3.'de yer almaktadır. Tabloda yer alan verim değerleri denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Deneş Verileri ile Analiz Verilerinin Mukayesesi

	<b>Deneş</b>	<b>Analiz</b>
<b>Hava Debisi (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>800</b>	<b>800</b>
<b>Teg (°C)</b>	<b>32,4</b>	<b>32</b>
<b>Ttg (°C)</b>	<b>21,6</b>	<b>21,6</b>
<b>Ttç (°C)</b>	<b>27,2</b>	<b>26,9</b>
<b>Verim (%)</b>	<b>52</b>	<b>51</b>

## **TARTIŞMA VE SONUÇ**

Deneşsel olarak bulunan verim ile analizle hesaplanan verim arasındaki farkın, cihazda oluşabilecek küçük kaçaklardan oluşan, hava karışımlarından olabileceği düşünölmektedir. İki sonuç arasındaki fark göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Ancak, bu şekilde yapılabilecek analizlerin, farklı modeller üzerinde denenmesi ile yeni modeller geliştirebilir. Böylece yeni modellerin geliştirmesi durumunda gerek zamandan gerekse bütçeden büyük tasarruflar sağlanabilecektir.

## **KAYNAKLAR**

Atmaca, M.; Girgin, I.; Ezgi, C.: CFD modeling of a diesel evaporator used in fuel cell systems. *Int. J. Hydrog. Energy* 41(14), 6004–6012 (2016)

Atmaca M, Çetin B., and Yılmaz E.. CFD Analysis of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Moving in Flocks, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol.135, 694-696, 2019

- Atmaca, M. and Ezgi, C.: Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector, *Energy Sources Part A*, 1-12 (2019)
- Altın, M., Aktakka, S., Günerhan, H. & Karakoç, T.H. (2013). Farklı İklim Bölgelerine Ait Isıtma-Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Dikkate Alınarak Bir Isı Geri Kazanım Sisteminin Tasarımı. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1055-70.
- Bayraç, H. N. (2010). ENERJİ KULLANIMININ KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ VE ÖNLEYİCİ POLİTİKALAR. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- Kaya, O. (2013). Havadan havaya ısı geri kazanım cihazları için ts en 308 standardına göre test düzeneği tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Termodinamik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK.
- Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6(68).
- Satman, A. (2007). Türkiye'nin enerji vizyonu. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri, 3-18.
- Şentürk, U., Aktakka, S. & Toksoy, M. (2015). Havalandırmada Enerji Geri Kazanımı: Araştırma ve Geliştirme. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 301-27.

# PV/ T ( FOTOVOLTAİK-TERMAL ) SİSTEMLERDE TERMAL İLETKEN YAPIŞTIRICI KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**İmdat Zafer PEKTEMİR\* & Mustafa ATMACA\*\***

\**Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, zaferpektemir @marun.edu.tr*

\*\**Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
matmaca @marmara.edu.tr*

## ÖZ

PV/T ( fotovoltaik-termal ) sistemler, güneş enerjisinden daha fazla yararlanılabilmesi için vazgeçilmez sistemlerdir. Bu sistemler, hem PV modülün soğutulması ile elektriksel verimin artırılması hem de aynı modülden termal kazanç elde edilebilmesi için dizayn edilen sistemlerdir. Bu sistemlerde, çalışma akışkanı olarak hava ve su kullanılabilir. Su bazlı PV/T sistemlerde, absorber plaka ile ısı değiştirici boru grubunun birleştirilmesi önemli bir sorundur. Bu birleştirme işlemi için, birçok teknik olmakla birlikte, pratik metotlardan biri de termal iletken yapıştırıcı kullanımıdır. İşte bu çalışmada, termal iletken yapıştırıcıların, ısı iletkenlik katsayısı, kürlenme zamanı, demonte edilebilirliği gibi birçok faktör üzerine araştırma yapılmıştır. Bu araştırma ışığında, termal iletken yapıştırıcı kullanılan bir PV/T sistem imal edilmiş ve performansı araştırılmıştır. Sonuç olarak, ısıl iletkenlik katsayısının olabildiğince yüksek olması, hava boşluğu olmayacak şekilde hassas bir teknikle uygulanması, 80-90 °C değerlerine ulaşan sıcaklıkta deforme olmaması, gibi faktörlerin anahtar faktörler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaik-termal sistem, ısıl iletken yapıştırıcı

## Abstract

PV/T ( photovoltaic-thermal ) systems are essential systems for obtain more solar energy. These systems are designed for, both improvement of electrical efficiency by means of cooling of PV module and gained thermal energy from same module. Water and air can be used as working fluid in these systems. Joining absorber plate with heat exchanger tubes is important problem in the PV/T systems. While there are lot of techniques for this joining process, one of the practical technique is the usage of thermally conductive adhesive material. Thus in the present study, heat conduction coefficient, curing time and disassemble of adhesives were investigated. It was produced and experimented a PV/T system used thermally conductive adhesive in the light of the investigation. As a result, it was determined that the factors such as high as possible heat conduction coefficient, application with a sensitive technique without air gap, no deformation at temperature reaching 80-90 °C, are the key factors.



Key words: Solar energy, photovoltaic-thermal system, thermally conductive adhesive

## SİMGELER

- $U_L$  : Kayıp katsayısı  
 $F$  : Su serpantini kanat verimi  
 $F'$  : Kolektör verim faktörü  
 $\lambda$  : Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)  
 $\lambda_1$  : Yapıştırıcı tabakası ısı iletkenliği (W/mK)  
 $\lambda_2$  : Absorber plaka ısı iletkenliği (W/mK)  
 $K$  : Absorber ve yapıştırıcı tabaka gurubu ısı geçirgenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)  
 $S$  : Güneş ışınımı W/m<sup>2</sup>  
 $T_f$  : Akışkan sıcaklığı  
 $T_a$  : Hava sıcaklığı  
 $C_b$  : Yapıştırıcı maddenin ısı iletkenliği (W/mK)  
 $D_i$  : Boru iç çapı (m)  
 $h_{fi}$  : Isı geçirgenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)  
 $k$  : Absorber plaka ısı iletkenliği (W/mK)  
& : Absorber kalınlığı (m)  
 $W$  : İki kanatçık arasındaki mesafe (m)  
 $D$  : Boru dış çapı (m)

## Giriş

Güneş enerjisi kullanımının artırılması, global ve yerel ölçekte, hem enerji sorununun çözümü hem de çevrenin korunması açısından büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisinden enerji eldesi, başlıca iki yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler; fotovoltaik panellerle elektrik üretimi ve çeşitli kolektör uygulamaları ile termal enerji kazanımıdır.

Fotovoltaik sistemlerin elektriksel verimi sıcaklığa bağlıdır ve verimin iyileştirilebilmesi için etkin soğutma gereklidir [1]. Bu şekilde soğutma yapılarak, elektriksel verim artışının ve termal enerji kazanımına olanak sağlayan sistemler fotovoltaik-termal ( PV/T ) sistemlerdir. Bu sistemler, hava esaslı ve su esaslı olabildikleri gibi, havanın ve suyun birlikte kullanıldığı hava ve su esaslı sistemler de mevcuttur. Atmaca ve Pektemir [2] bu şekildeki bir sistem üzerinde çalışmışlar ve fotovoltaik panelin tek başına kullanıldığı durumda verimin çok sınırlı olduğunu, dizayn edilen

PV/T sistemler sayesinde ise, önemli oranda güneş enerjisinin kazanılabileceğini vurgulamışlardır. Bu sistemler, hem elektriksel hem de termal enerjiyi aynı yüzeyden aynı zamanda sağlayabildikleri için çok kullanışlı sistemlerdir.

Dilşad ENGİN [3] yaptığı çalışmada, güneş pili ve termal toplayıcıyı birleştirdiği PV/T sistemin, elektrik ve ısı verimini incelemiş ve güneş pili ve termal toplayıcı verimleri ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucuna göre, termal toplayıcının tek başına çalışmasında, hibrid çalışma durumuna göre, çıkış suyu sıcaklığında 30° C artış olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, efektif soğutma için, güneş pili ile termal toplayıcının yapıştırılması gerektiği vurgulanmıştır.

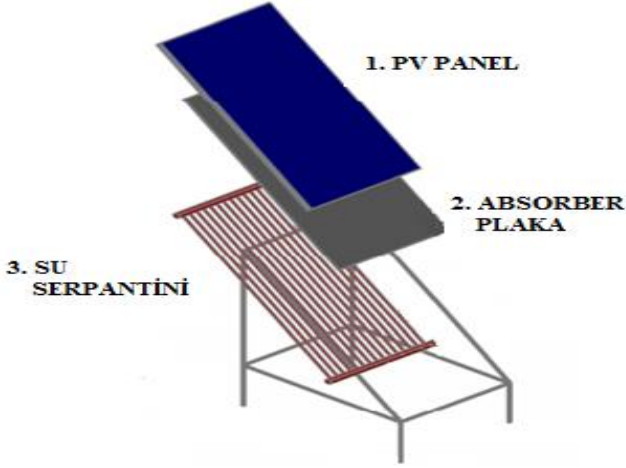
Bjornar Sandnes ve John Rekstad [4] yaptıkları çalışmada, bu şekilde bir birleştirme yapmışlardır. Çalışmada, siyah boyalı polimer bir absorber plaka ile mono-kristal güneş pilini silikon bir yapıştırıcı ile birleştirmişlerdir. Çalışmada, uygun termal kontağı sağlamak için, absorber ile güneş pilleri arasındaki termal genişlemeleri alacak elastikiyette ve yaklaşık 0.5 mm kalınlıkta yapıştırıcı kullanılmıştır. Çalışmaya göre, hücre absorber arayüzeyinde, ısı transfer direncinin artması PV/T sistem veriminde düşüşe neden olmuştur.

Yapılan araştırmalara göre, çok çeşitli yapıştırıcı türü olmakla birlikte, literatürde bu tür uygulamalar için, epoksi yapıştırıcı da kullanıldığı görülmektedir. Bu yapıştırıcı türünün ısı iletkenliği ise, metalik esaslı katkılarla artırılabilir. Ayrıca, silikon esaslı ısı iletken yapıştırıcılar da özellikle, ısı iletiminin önemli olduğu elektronik uygulamalarda kullanılabilir. Sektör araştırmasına göre; epoksi çeşitleri uygulama sonrası kırma şeklinde demonte edilebilirken, silikon bazlı yapıştırıcılar daha pratik demonte edilebilmektedir. Bir diğer önemli faktör kürlenme zamanıdır. Epoksi yapıştırıcıların kürlenme süresi, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Bu faktör yapıştırıcı türü ve katkı malzemelerine göre değişken olmakla birlikte, 30-35 C° ortam sıcaklıklarında, birkaç dakikada kürlenmeye başlayan türler mevcuttur.

Kataloglarında beyan edilmiş ısı iletkenlik katsayısı olan modellerde genelde; ısı iletkenlik katsayılarının 0,14- 0,7- 0,8- 1,7- 2,5- 3- 9 W/mK gibi beyan değerleri olduğu görülmektedir.

## Yöntem ve Bulgular

Şekil 1' de görüldüğü gibi, su soğutmalı modül ana parçaları; PV modül, absorber plaka ve serpantindir. Absorber plaka alüminyum levha, serpantin ise, bakır borulardan oluşmaktadır.



**Şekil 1.** Su soğutmalı modül bileşenleri [5]

Absorber plaka ile serpantin boru gurubunun birleştirme işlemi, ısı transferi açısından önemli olduğu için, durumun ayrıntılı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. PV panel ile absorber plaka arasında  $0.7 \text{ W /mK}$  ısı iletkenlik değerine sahip, termal iletken yapıştırıcı kullanılması durumunda, yapıştırıcı kalınlığının ısı transfer miktarına etkisi ve  $0.1 \text{ mm}$  yapıştırıcı kullanılması durumunda, yapıştırıcı ısı iletkenlik katsayısının, transfer edilen ısı miktarına etkisi ayrı ayrı belirlenerek grafiklere aktarılmıştır ( Şekil 3-4 ).

Hesaplamalarda; S: Solar irradiance ( güneş ışınımı ) değeri olarak  $638,2 \text{ W/m}^2$  , referans değer olarak :  $412,03 \text{ W/m}^2$  değeri seçilmiştir. Bu değer, belirli parametrelere sahip havanın PV panelin üst ve alt yüzeyini süpürerek, panelden çekeceği ısı değeri olup, referans kabul edilmiş rastgele bir değerdir.



**Şekil 2.** Absorber tabakaları

$$1/K = (d_1/\lambda_1) + (d_2/\lambda_2) \quad (1)$$

$T_f$ : Akışkan sıcaklığı ve  $T_a$ : hava sıcaklığı olmak üzere, Duffie Beckman [6] tarafından verilen aşağıdaki denklemleri (Denklem 2-7) kullanarak, 0.01-2 mm yapıştırıcı kalınlığı değerleri için, ısı transfer miktarındaki değişim Şekil 3'de, 0.14-9 W/mK ısı iletkenlik değerleri için, ısı transfer miktarındaki değişim ise Şekil 4' de gösterilmiştir.

$$q' = WF' (S - U_L (T_f - T_a)) \quad (2)$$

$$S - U_L (T_f - T_a) = \text{Referans değer} \quad (3)$$

$$U_L = \text{Toplam ısı kaybı} \times (T_f - T_a) \\ m = (U_L/k \times \&)^{0,5} \quad (4)$$

$k$  ( Absorber plaka ısı iletkenliği )  
 $\&$  ( Absorber kalınlığı )

$$F = (\tanh(m \times (W-D)/2)) / (m \times (W-D)/2) \quad (5)$$

$W$  : ( İki kanatçık arasındaki mesafe )

$D$  : ( Boru dış çapı )

$$F' = (1/U_L) / ( W \times (1/(U_L \times (D+(W-D) \times F))) + (1/C_b) + (1/(3,1416 \times D_i \times h_{fi}))) \quad (6)$$

$C_b$ : ( Yapıştırıcı maddenin ısı iletkenliği )

$D_i$  : ( Boru iç çapı )

$h_{fi}$  : ( Isı geçirgenlik katsayısı )

$$q' = W \times F' \times (S - U_L (T_f - T_a)) \quad (7)$$

### **Yapıştırıcı kalınlığının transfer edilen ısı miktarına etkisinin araştırılması:**

#### ***Parametreler:***

Absorber sıcaklığı: 35 C°

Absorber kalınlığı : 0.5 mm ( Alüminyum )

Serpantin borusu dış çapı : 10 mm

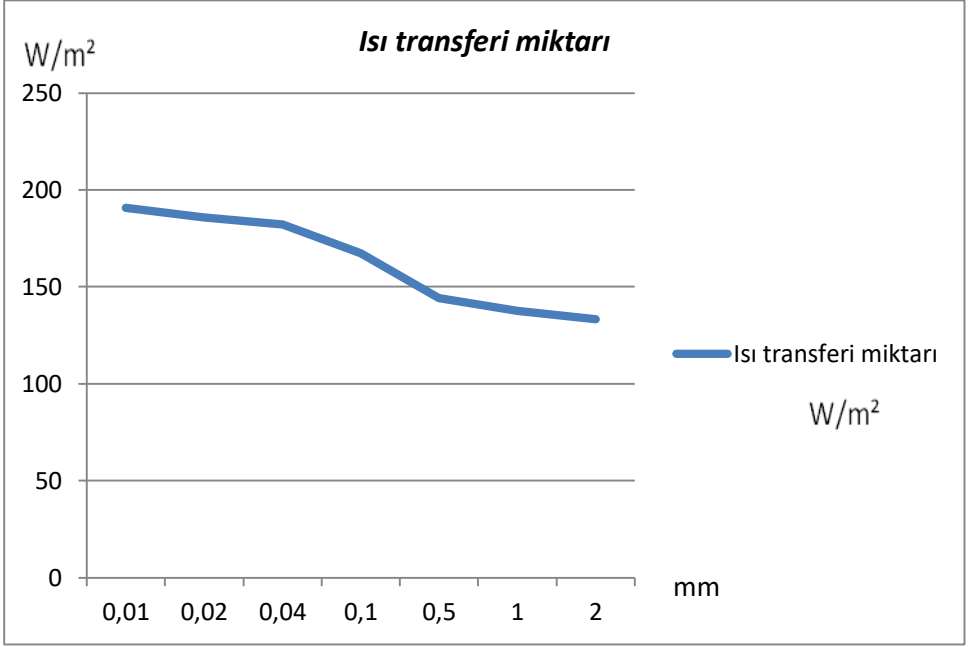
Serpantin borusu iç çapı : 8 mm

Boru malzemesi ısı iletkenliği: 394 W/mK ( Bakır )

Boru adedi : 19

Su debisi : 0.01 kg/s

Yapıştırıcı malzemesi ısı iletkenliği: 0.7 W/ mK

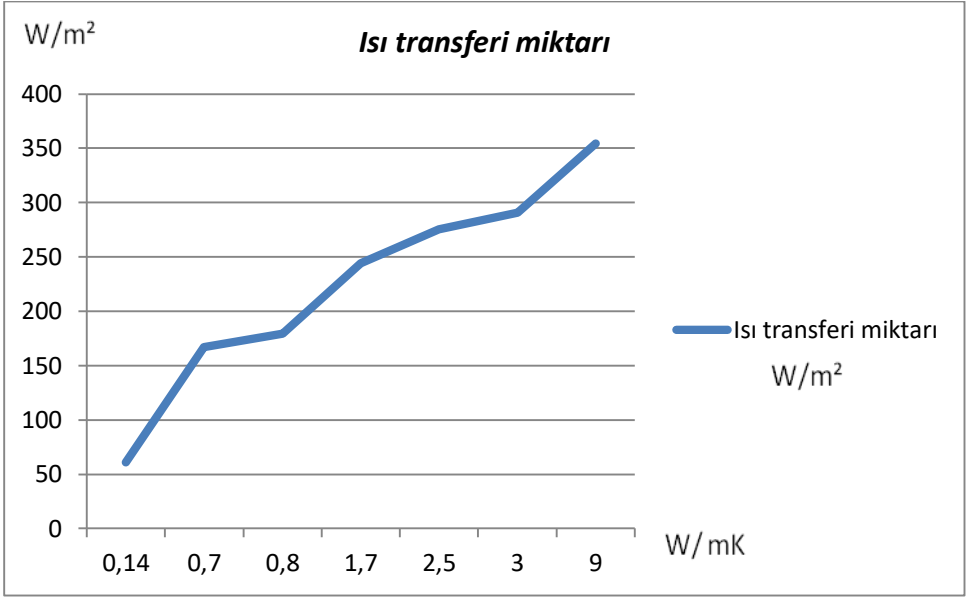


**Şekil 3.** Yapıştırıcı kalınlığının ısı transferi miktarına etkisi

### **Yapıştırıcı ısı iletkenlik katsayısının ısı transfer miktarına etkisinin araştırılması:**

#### **Parametreler:**

- Absorber sıcaklığı: 35 °C
- Absorber kalınlığı : 0.5 mm ( Alüminyum )
- Serpantin borusu dış çapı : 10 mm
- Serpantin borusu iç çapı : 8 mm
- Boru malzemesi ısı iletkenliği: 394 W/mK ( Bakır )
- Boru adedi : 19
- Su debisi : 0.01 kg/s
- Yapıştırıcı tabakası kalınlığı: 0.1 mm



**Şekil 4.** Yapıştırıcı ısı iletim katsayısının ısı transferi miktarına etkisi

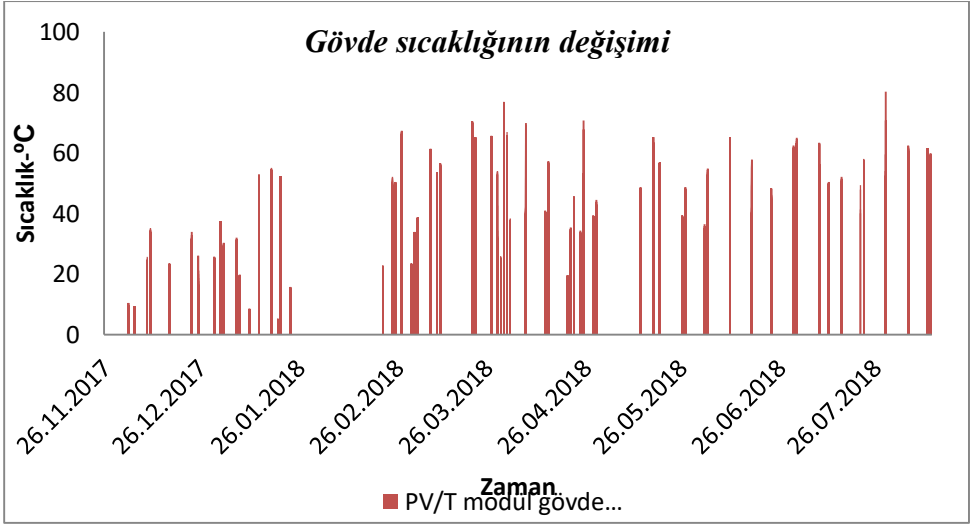
### Uygulama

PV panel ile absorber plaka arasında ısıl iletken yapıştırıcı kullanılması durumunda, artan yapıştırıcı kalınlığının, ısı transfer miktarını azalttığı Şekil 3' den de açıkça görülmektedir. Şekil 4' de ise, yapıştırıcı malzemenin ısı iletkenlik katsayısı arttıkça, PV panelden serpantin içerisinde dolaşan suya transfer edilen ısı artmaktadır. Bu sonuçlardan da yararlanılarak, tasarımı yapılacak PV/T modülde, PV panel- absorber plaka arasında, siyah yüzeyin ısı emilim performansını olumsuz etkileyeceği de öngörülerek yapıştırıcı kullanılmamış, absorber plaka ile serpantin boru gurubu arasında ise, piyasada temini sağlanabilen 0.88 W/ mK ısı iletkenlik değerine sahip, silikon esaslı termal iletken yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı uygulaması Şekil 4 ve Şekil 5' de görülmektedir. Absorber plaka ile, boru gurubu arasında temasın iyi sağlanabilmesi ve yeterli yapıştırma baskısının sağlanabilmesi için, absorber plaka üç parça şeklinde uygulanmış, herbir parçanın yapıştırma işleminden sonra, sıkılık sağlanabilmesi için, sıvama şeklinde baskı uygulanmıştır ( Şekil 5 ).



Şekil 4. Yapıştırıcı uygulaması [5]

Şekil 5. Yapıştırıcı baskılama işlemi



Şekil 6. PV/T modül gövde sıcaklığının yıllık periyotta değişimi



Şekil 6' da PV/T modül gövde sıcaklığının yıllık periyotta değişimi görülmektedir. Gövde sıcaklığı, üzerinde etkili temel parametreler, güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve rüzgar hızıdır. Yıl boyu bu parametrelerin değişimi ve modüldeki soğutma durumuna göre, gövde sıcaklığı değişim göstermiştir. Mevsimlere göre, maksimum sıcaklıklar soğutma yapılmayan zamanlarda oluşmuştur. Şekil 5' den de anlaşılacağı üzere gövde sıcaklığı, özellikle bahar ve yaz aylarında, 70- 80 °C değerlerine ulaşmıştır. Temmuz ayı içerisinde 80 °C değerini geçen gün de mevcuttur. Ulaşılan bu sıcaklıklarda, termal iletken yapıştırıcıda herhangi bir deformasyon ve boru- absorber plaka arasında ise, herhangi bir açılma gözlenmemiştir.

## **Sonuç**

Araştırma sonuçlarına göre, PV/T sistemde kullanılacak yapıştırıcının, uygulama kalınlığının, olabildiğince küçük ve ısı iletim katsayısının olabildiğince büyük olması gerektiği açıkça görülmektedir. Bu açıdan, ısı iletim katsayısı beyan edilmiş, ısıl iletken yapıştırıcının, hava boşluğu olmayacak şekilde tekniğine uygun uygulanması gerekmektedir. Ayrıca yapıştırıcının sıcaklık dayanımı iyi olmalı ve 80- 90 C° gibi sıcaklıklarda yumuşamamalı ve deforme olmamalıdır.

## **Teşekkür**

Bu çalışmayı, 2017 FEN-C-DRP-070317-0111 nolu proje ile destekleyen, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne ve proje tesisatı için yer sağlayan, Konya İnnopark yönetimine teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

[1] Alizadeh H, Ghasempour R, Shafii M.B, Ahmadi M.H, Yan W.M, Nazari M.A. Numerical simulation of PV cooling by using single turn pulsating heat pipe, International Journal of Heat and Mass Transfer,2018; 127: 203-208

[2] Atmaca, M.; Pektemir, İ.Z. An Investigation on the Effect of the Total Efficiency Water and Air Used Together as a Working Fluid in the Photovoltaic Thermal Systems. Processes 2019, 7 , 516

[3] Engin D. Yapı İle Bütünleştirilebilir Güneş Pili/ Termal Toplayıcı ( PV/T) Hibrid Sistemin Performans Analizi ve Optimizasyonu, *Ege Üniversitesi, doktora tezi,*( 2006)

[4] Sandnes B, Rekstad J. A Photovoltaic/ Thermal ( PV/T) Collector With A Polymer Absorber Plate; Experimental Study And Analytical Model, Solar Energy,72,1,63-73,(2002)

[5] Atmaca M, Pektemir I.Z, Yılmaz E, PV Panelin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi 2.Multidisipliner Çalışma Kongresi, Adana- Turkey, 4-5 Mayıs 2018

[6] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. ( 1980 ). Solar engineering of thermal processes. J. Wiley&Sons,

# KARBON KOMPOZİT ÇARPIŞMA KUTULARINDA POLİÜRETAN KÖPÜK TAKVİYESİNİN ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet Emin ÇELİK<sup>1</sup> & Murat REİS<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği  
Bölümü,

[emincelik.1548@gmail.com](mailto:emincelik.1548@gmail.com) [reis@uludag.edu.tr](mailto:reis@uludag.edu.tr)

\* Sorumlu Yazar

**Özet:** Bu çalışmada, poliüretan köpük takviyesinin karbon fiber kompozit çarpma kutularının çarpışma performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Silindirik geometriye sahip iki farklı tip poliüretan köpük takviyeli ve iki adet takviyesiz olmak üzere dört farklı tip test numunelerinden üçer adet toplamda on iki çarpışma kutusu numunesi üretilmiş ve aynı şartlarda düşürme testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde poliüretan takviyeli karbon fiber çarpışma kutularında nispeten yüksek yoğunluklu silindirik formda içi boş poliüretan köpük kullanılmıştır. Poliüretan köpük takviyesiz test numunelerinde ise, üç kat ve dört kat çift eksenli (biaxial) tipi karbon fiber kumaş, elle yatırma yöntemi ve reçine kullanılarak üretilmiştir. Numunelerin düşürme testlerinde kuvvet, deplasman ve zaman verileri kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda poliüretan köpük takviyesinin takviyesiz karbon fiber çarpışma kutularına göre genel olarak çarpışma kuvveti verimliliğini artırdığı ve toplam deplasman miktarını azalttığı gözlenmiştir. Bunun yanında üç katlı karbon fiber çarpışma kutularında poliüretan köpük takviyesinin toplam sönmülenen enerji değerini artırdığı, dört katlı karbon fiber çarpışma kutularında ise poliüretan köpük takviyesinin toplam sönmülenen enerji miktarını düşürdüğü gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon, kompozit, çarpışma kutusu, poliüretan köpük

## 1. Giriş

Taşıtların ağırlığının azaltılmasına yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır ve özellikle kompozit malzeme teknolojisindeki gelişime paralel olarak taşıt ağırlıkları azaltılabilmektedir. Hem yakıt tüketiminin azaltılması hem de karbon emisyonun minimum seviyelere düşürülmesi için taşıt ağırlığı en önemli faktördür. Bu nedenle, günümüzde taşıt bileşenlerinin büyük kısmı kompozit malzemelerden üretilmeye çalışılmaktadır. Bu kompozit malzemelerden en sık olarak kullanılan şüphesiz karbonfiber kompozit malzemelerdir [1]. Öyle ki günümüzde gövde elemanları başta olmak üzere pek çok taşıt pasif güvenlik elemanı da karbon fiber malzemelerden üretilmektedir. Taşıt pasif güvenlik elemanlarından çarpışma kutularında, hem güvenlik hem de ağırlığı azaltmak için kompozit malzemelerden üretilmeye çalışılmakta ve bunun

üzerine birçok çalışma yapılmaktadır [2]. Bununla birlikte metal/kompozit gibi melez yapılar, eksenel ve eğik yüklemeler altında daha üstün performans gösterebilmektedir [3]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, uygun şekilde tasarlanmış kompozit çarpışma kutularının, metallere kıyasla enerji emiliminde daha iyi sonuçlar verdiği göstermiştir [4].

Polimer esaslı malzemeler ucuzluk ve üretim kolaylığından dolayı kullanımı hızla artmakta ve birçok alanda metalik malzemelerin yerini almaktadır. Örneğin tekrarlı yüklerin altında çalışan yapısal mekanik tasarımlarda ve asansörlerde pasif güvenlik elemanı olarak poliüretan esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Polimer çarpışma kutularının en büyük iki avantajı; karmaşık şekillerde kolayca üretilebilmeleri ve elastik özellikleri sayesinde tekrar kullanılabilmesidir. Özellikle poliüretan çarpışma kutuları yay gibi davranmakta ve kalıcı bir deformasyona uğramadan eski haline geri dönmektedirler.

Alüminyum kare profilin dış kısmını cam fiber malzeme ile kaplayarak güçlendiren Shin ve ark. numunelere düşme testleri ile cam fiber ile güçlendirilmiş alüminyumun performansını incelemişlerdir [5]. Deney sonuçları cam elyaf takviyesinin enerji emilimlerinin arttığını göstermiştir. Babbage ve Mallick benzer şekilde silindir kutu numunelerin dış kısmını cam elyaf ile, iç kısımlarını ise epoksi köpük ile takviye ederek numunelere düşme testi uygulamıştır. Bu çalışmada da deney sonuçları, çarpışma kutularının dış yüzünü cam fiber malzeme ile güçlenmenin ve iç kısmını epoksi köpük ile desteklemenin toplam enerji emilimini artırdığını göstermiştir [6]. Guden ve ark. İse bu kez alüminyum silindir kutu numunelerin dış yüzeylerini cam fiber ile güçlendirmiş ve buna karşın iç kısımlarını alüminyum köpük ile takviye ederek numunelere düşme testi uygulamıştır [7]. Deneysel sonuçlar yine cam fiberin ve alüminyum köpük takviyesinin malzemesinin enerji emilim performansını artırdığını göstermiştir. Bisagni, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) malzemesi kullanarak üretilen çarpışma kutularına düşme testi gerçekleştirmiş ve sonuç olarak CFRP çarpışma kutularının 75 kJ/kg gibi iddialı bir özgül enerji emilimine sahip olduğu göstermiştir [8]. Benzer şekilde, Qiang Liu ve ark. CFRP çarpışma kutularının enerji emilimlerinin 60-90 kJ/kg olarak saptamışlardır [4]. Fauzi ve ark., 3-6 ve 9 kat karbon fiber kumaş kullanılarak ürettikleri 3 farklı tip karbon fiber çarpışma kutularına düşme testi uygulamışlardır [9]. Düşme testleri sonucunda 3 katlı karbon fiber çarpışma kutularında 35,8 kJ/kg, 6 katlı çarpışma kutularında 49,1 kJ/kg, 9 katlı çarpışma kutularında 50,7 kJ/kg enerji emilimi değerleri elde etmişlerdir. Altın ve Yücesu, farklı geometrideki alüminyum çarpışma kutularına sonlu elemanlar analizleri yaparak enerji sönümlenme kapasitelerini incelemiş ve özgül enerji sönümlenme kapasitelerinin 15-24 kJ/kg aralığında değiştiği gözlemlemiş [10]. Bu araştırmalar kompozit çarpışma kutularının alüminyum ve çelik gibi metal

esaslı çarpışma kutularına göre daha iyi çarpışma enerjisi sönümleme kabiliyetine sahip olduğunu görülmektedir.

Bu çalışmada, poliüretan köpük takviyesinin karbon fiber kompozit çarpma kutularının çarpışma performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Silindirik geometriye sahip iki farklı tip poliüretan köpük takviyeli ve iki adet takviyesiz olmak üzere dört farklı tip test numunelerinden üçer adet toplamda on iki çarpışma kutusu numunesi üretilmiş ve aynı şartlarda düşürme testlerine tabi tutulmuştur. Deneylede poliüretan takviyeli karbon fiber çarpışma kutularında nispeten yüksek yoğunluklu silindirik formda içi boş poliüretan köpük kullanılmıştır. Poliüretan köpük takviyesiz test numunelerinde ise, üç kat ve dört kat çift eksenli (biaxial) tipi karbon fiber kumaş, elle yatırma yöntemi ve reçine kullanılarak üretilmiştir. Asansörlerde durdurucu olarak kullanılan 150 mm uzunluğundaki 40 mm iç 70 mm dış çap değerine sahip içi boş poliüretan takoz üretilen karbon fiber çarpışma kutularının tam ortasına dikey olarak yerleştirilmiştir. Deneylede Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan düşürme testi cihazı kullanılmıştır (Şekil 1.a).

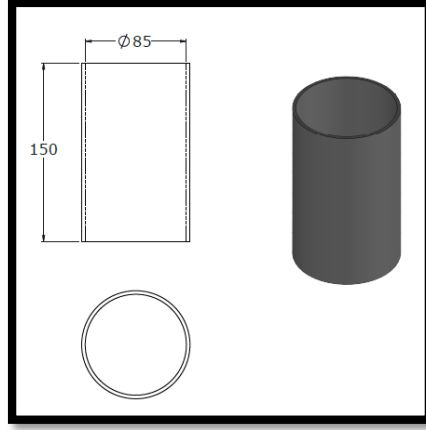
## 2. Materyal ve Yöntem

Şekil 1.b de boyutları gösterilen karbon fiber numuneler elle yatırma yöntemi ile epoksi bağlayıcı malzemesi kullanılarak üretilmiştir. İki ve üç katlı olmak üzere iki tip karbon fiber numune üretilip bir kısmı içi boş şekilde, bir kısmı da içine poliüretan takoz konularak aynı şartlarda test edilmiştir. Numunelerde kullanılan karbon fiber kumaş türü Şekil 1.c de gösterilen çift eksenli (biaxial) karbon elyaf malzemedir. Takviye malzemesi olarak Şekil 1.d de gösterilen 0,58 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu silindirik formda içi boş poliüretan köpük (PU) kullanılmıştır Şekil 1.b 'de gösterilen poliüretan takoz, test esnasında elle yatırma ile üretilen karbon fiber çarpışma kutularının içine dikey olarak yerleştirilmiştir. Grafiklerde gösterim kolaylığı olması bakımından test numuneleri kodlanmış ve kod açıklamaları Tablo 1 'de verilmiştir.

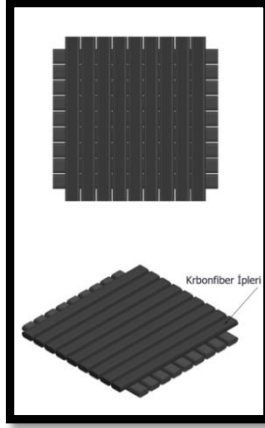
Düşürme test cihazı; çarpma başlığının numunelerin üzerine bırakıldıktan sonra kuvvet sensörü ile numune ile çarpan kütle arasında oluşan çarpışma kuvveti, deplasman sensörü ile numunenin ezilme miktarını (deplasman) kaydetmektedir. Hızlı kamera yardımı ile numunelerin deney esnasındaki davranışı video olarak kaydedilmektedir. Hem içi poliüretan ile takviye edilmiş, hem de içi boş olan numunelere 4 kJ kinetik enerji karşılık gelecek şekilde 450 kg lık ağırlık 1000 mm yükseklikten çarptırılarak düşme testi uygulanmıştır. Üretilen karbon fiber test numuneleri ve kullanılan poliüretan takviye malzemelerin kütleleri hassas terazi ile ölçülerek birim kütle başına enerji emilim değeri hesabında kullanılmak üzere kaydedilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 1.** a.) Düşme test cihazı, b.) Karbon fiber çarpışma kutusunun boyutları, c.) Kullanılan karbon fiber kumaş (biaxial), d.) Poliüretan köpük

**Tablo 1.** Çarpışma kutusu numune kodları ve açıklamaları

Numune Kodu	Açıklama	Takviye Malzemesi	Numune Ağırlığı
X3	3 katlı karbon fiber çarpışma kutusu	Yok	<b>143,55 g</b>
X3 + PU	Takviyeli 3 katlı karbon fiber çarpışma kutusu	Poliüretan köpük	148,2 + 234,5 = <b>382,70 g</b>
X4	4 katlı karbon fiber çarpışma kutusu	Yok	<b>166,40 g</b>
X4 + PU	Takviyeli 4 katlı karbon fiber çarpışma kutusu	Poliüretan köpük	167,4 + 234,5 = <b>401,90 g</b>

### 3. Sonuçlar

Düşürme testleri esnasında; deney numuneleri ile çarpan kütle arasındaki tepki kuvvetleri, numunelerde gerçekleşen ezilme miktarları (deplasman) ve zaman verileri kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak, Şekil 3 'de verilen deplasmana bağlı ezilme kuvvetinin değişimi grafiği elde edilmiştir. En fazla deformasyon miktarı üç katlı içi boş (X3) test numunesinde 110,8 mm olarak ölçülmüştür. En düşük deformasyon miktarı ise beklenildiği üzere poliüretan köpük takviyeli dört katlı (X4+PU) test numunesinde 90,9 mm olarak ölçülmüştür. Üç katlı karbon fiber numunenim içine poliüretan takozun yerleştirilmesi deformasyon miktarını artırmıştır. Hızlı kamera verileri incelendiğinde bu ilginç sonucun poliüretan takozun yük altında yanlara doğru genişlemesi ile karbon fiber kutunun burkulmasını kolaylaştırması olduğu gözlenmiştir. Bununla paralel olarak poliüretan takviyesinin burkulma başlangıcında ortaya çıkan pik kuvveti aşığıya çektiği ve bu sayede çarpışma kuvveti verimliliğini artırdığı söylenebilir. Dört katlı karbon fiber numunede ise üç katlı numuneden farklı olarak poliüretan köpük takviyesi deformasyon miktarını azaltmıştır. Zira poliüretan takozun dört katlı karbon fiber numunesinde deformasyon miktarını azaltmasının nedeni poliüretan takozun yük altında yanlara doğru genişlemesinin dört katlı numunenin yan duvarlarını zorlayacak seviyede olmaması buna karşın çarpışma yönünde çarpışma kutusu ile aynı yönde az da olsa yük taşımasıdır.

Şekil 2 'de ise numunelerin düşme testi öncesi ve sonrasındaki durumları verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere poliüretan takviye malzemesi çarpışmadan sonra hemen ilk formuna geri dönmekte ve herhangi bir kalıcı deformasyona maruz kalmamaktadır. Şekil 3 'te ise çarpışma kutuları ile düşen kütle arasında oluşan kuvvetin deformasyon miktarına bağlı değişim eğrileri görülmektedir. Burada, poliüretan köpük takviyesiz üç katlı karbon fiber çarpışma kutusunun en yüksek ezilme değerine sahip olduğu, buna karşın poliüretan köpük takviyeli dört katlı karbon fiber çarpışma kutusunun beklenildiği üzere en düşük ezilme miktarına sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.a 'dan görüldüğü üzere en yüksek tepe kuvvet X4 numunesinde 89993N olarak ölçülmüştür. Bunun yanında X4+PU ve X3 numunelerinde daha düşük olmakla birlikte yine 89 kN civarında bir tepe kuvvetin olduğu görülmektedir. Ancak X3+PU numunesinde tepe kuvvet değeri 79 kN değerini düşmüştür. Ortalama kuvvetlere eğrilerine bakıldığında; poliüretan köpük takviyesinin çarpışma kutusu ile düşen kütle arasında oluşan ortalama kuvveti ciddi bir seviyede artırdığı gözlemlenmektedir. Buna karşın maksimum kuvvette ise ciddi bir artış görülmemektedir. Bu durum karbon fiber çarpışma kutularının içine poliüretan takviye malzemesi yerleştirilmesi ile her iki tip karbon fiber çarpışma kutusunda da maksimum kuvveti düşürüp ortalama kuvveti artırmıştır. Diğer bir

deyişle Şekil 4.b de görüldüğü üzere karbon fiber çarpışma kutularının poliüretan ile takviye edilmesi her iki durumda da çarpışma kuvveti verimini artırmıştır. Karbon fiber çarpışma kutularının iç kısmına poliüretan takozun yerleştirilmesi, 3 katlı karbon fiber kutuda ezilme kuvveti verimini % 40 artırırken 4 katlı olan çarpışma kutusunda % 12,5 artırmıştır.

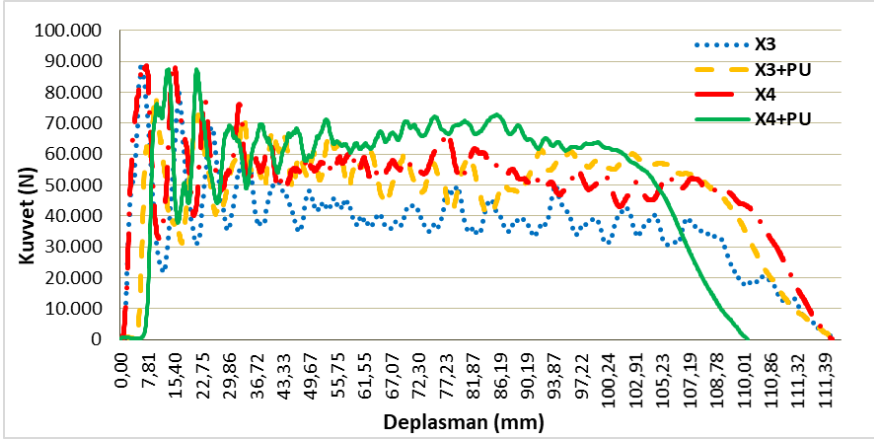
Şekil 4.c'de çarpışma kutularının sönümledikleri enerji miktarları gösterilmektedir. Üç katlı karbon fiber çarpışma kutusunda sönümleme enerjisini, poliüretan köpük takviyesi artırmış dört katlı karbon fiber çarpışma kutusunda ise azaltmıştır. Bu azalma, içine poliüretan takoz yerleştirilmiş dört katlı karbon fiber çarpışma kutusunun (X4+PU) deformasyon miktarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu eğrilere göre en yüksek enerji sönümlemenin görüldüğü çarpışma kutusu numunesi içi boş olan dört katlı karbon fiber çarpışma kutusu (X4) olduğu görülmektedir. En düşük enerji sönümleme miktarı ise içi boş üç katlı karbon fiber numunede (X3) gerçekleşmiştir. Karbon fiber çarpışma kutularının iç kısmına poliüretan köpük yerleştirilmesi sonucunda üç katlı karbon fiber çarpışma kutusunda sönümleme enerjisini artırdığı, dört katlı karbon fiber çarpışma kutusunda ise azalttığı görülmektedir. Üç katlı karbon fiber çarpışma kutularına poliüretan takozun yerleştirilmesi sönümlenen enerjiyi artırdığı gözlemlenmiştir. Fakat yük altında yanlara doğru genişleyen poliüretan köpük görece daha mukavemetli olan dört katlı karbon fiber yapıyı yanlara doğru tahrip edemediğinden ve çarpışma yönünde çarpışma kutusunun mukavemetine pozitif etki sağladığından deformasyon miktarını düşürmüş ve sonuç olarak ta sönümlenen enerji azalmıştır.

Şekil 4.d deney numunelerinin özgül enerji emilimleri gösterilmektedir. En yüksek özgül enerji emilimi üç (X3) ve dört (X4) katlı içi boş karbon fiber çarpışma kutularında olduğu görülmektedir. Her iki tipteki karbon fiber çarpışma kutularının poliüretan köpük ile takviye edilmesi, çarpışma kutularının ağırlığını artırdığından özgül enerji emilimlerinde de düşüş görülmüştür. Poliüretan köpüğün üç katlı karbon fiber çarpışma kutusuna yerleştirilmesi sönümlenen enerjiyi artırmasına rağmen ağırlık artışı fazla olduğu için özgül enerji emilimi düşmüştür.

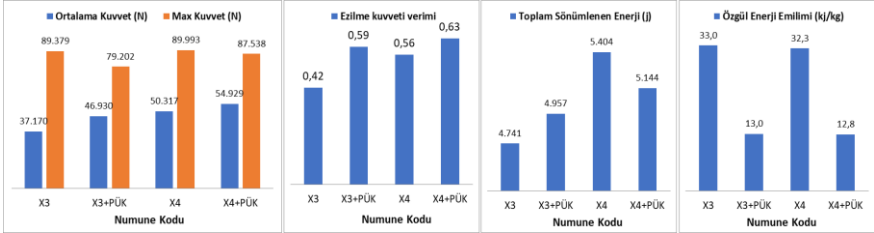


**Şekil 2.** Poliüretan köpük takviyesiz ve takviyeli karbon fiber çarpışma kutularının düşme testi öncesi ve sonrası fotoğrafları





Şekil 3. Farklı çarpışma kutuları için çarpışma kuvvetinin deformasyon miktarına bağlı değişim eğrileri



(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 4. a.) Çarpışma kutusu ile kütle arasında ortaya çıkan maksimum-ortalama kuvvetler, b.) Çarpışma kutularının ezilme kuvveti verimleri, c.) Çarpışma kutuları tarafından sönümlenen toplam enerji, d.) Çarpışma kutularının özgül enerji emilimleri.

#### 4. Tartışma

Taşıtlarda pasif güvenlik elemanı olarak bilinen çarpışma kutuları düşük malzeme maliyetleri sebebi ile günümüzde genellikle alüminyum ve çelik malzemeden imal edilmektedir. Bu çalışmada ise, karbon fiber malzemeden üretilen silindirik geometriye sahip çarpışma kutularının ve poliüretan köpük takviyesinin bu çarpışma kutularının çarpışma performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Silindirik geometriye sahip iki farklı tip poliüretan köpük takviyeli ve iki adet takviyesiz olmak üzere dört farklı tip test numunelerinden üçer adet toplamda on iki çarpışma kutusu numunesi üretilmiş ve aynı şartlarda düşürme testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde poliüretan takviyeli karbon fiber çarpışma kutularında nispeten yüksek yoğunluklu silindirik formda içi boş poliüretan köpük kullanılmıştır. Poliüretan köpük takviyesiz test numunelerinde ise, üç kat ve dört kat çift eksenli (biaxial) tipi karbon fiber kumaş, elle yatırma yöntemi ve reçine kullanılarak üretilmiştir.

Deney sonuçlarında, maksimum ve ortalama kuvvetler karbon fiber kat sayısının artması ile artmıştır. Ortalama kuvvetin artış oranı maksimum kuvvetin artış oranından büyük olduğu için ezilme kuvveti artmıştır. Karbon fiber çarpışma kutularına poliüretan köpük takviyesi de maksimum kuvvetleri artırmıştır. Aynı şekilde ortalama kuvvetin artış oranı daha büyük olduğu için ezilme kuvveti verimi de artmıştır. Karbon fiber çarpışma kutularına poliüretan takviyesi çarpışma kutusunun ağırlığını artırdığı için özgül enerji emilimlerini azaltmıştır. Sönümlenme enerjisine bakıldığında, takviyesiz dört katlı karbon fiber çarpışma kutusunda yüksek çıktığı görülmektedir. Karbon fiber kat sayısının artması sönümlenme enerjisini artırmıştır. Ayrıca üç katlı karbon fiber numuneye poliüretan köpük takviyesi sönümlenen enerjiyi artırırken dört katlı karbon fiber numunede poliüretan takviyesi sönümlenme enerjisini azaltmıştır. Ancak dört katlı karbon fiber çarpışma kutusundaki sönümlenme enerjisi malzemesi olan poliüretan köpük takviyesinin geometrik şeklinde değişiklikler yapılarak artırılabilir. Poliüretan köpük takviyesinin çarpışma kuvveti verimliğinde gösterdiği performans göz önüne alındığında, gelecek çalışmalarda uygun optimizasyon teknikleri kullanılarak poliüretan köpük takviyesi ile özgül enerji emilim değerinde de artış sağlayan bir çarpışma kutusu tasarımı geliştirilmesi mümkün olabilir.

## 5. Kaynakça

- [1] Saenz-Dominguez, I., Tena, I., Esnaola, A., Sarrionandia, M., Torre, J. and Aurrekoetxea, J., “Design and characterisation of cellular composite structures for automotive crash-boxes manufactured by out of die ultraviolet cured pultrusion,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 160, no. September 2018, pp. 217–224, 2019.
- [2] Zarei, H., Kröger, M. and Albertsen, H., “An experimental and numerical crashworthiness investigation of thermoplastic composite crash boxes,” *Compos. Struct.*, vol. 85, no. 3, pp. 245–257, 2007.
- [3] Zhu, G., Zhao, X., Shi, P. and Yu, Q. , “Crashworthiness analysis and design of metal/CFRP hybrid structures under lateral loading,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 64558–64570, 2019.
- [4] Liu, Q., Xing, H., Ju, Y., Ou, Z. and Li, Q., “Quasi-static axial crushing and transverse bending of double hat shaped CFRP tubes,” *Compos. Struct.*, vol. 117, no. 1, pp. 1–11, 2014.
- [5] Shin, K., Lee, J. J., Hyun, K., Cheol, M. and Huh, J. S. , “Axial crush and bending collapse of an aluminum / GFRP hybrid square tube and its energy absorption capability,” vol. 57, pp. 279–287, 2002.
- [6] Babbage, J. M. and Mallick, P. K., “Static axial crush performance

of unfilled and foam-filled aluminum – composite hybrid tubes,” vol. 70, pp. 177–184, 2004.

- [7] Guden, M., Taşdemirci, A. and Tanoğlu, M., “Effect of aluminum closed-cell foam filling on the quasi-static axial crush performance of glass fiber reinforced polyester composite and aluminum / composite hybrid tubes,” vol. 81, pp. 480–490, 2006.
- [8] Bisagni, C. , “Experimental investigation of the collapse modes and energy absorption characteristics of composite tubes,” *Int. J. Crashworthiness*, vol. 14, no. 4, pp. 365–378, 2009.
- [9] F. R. Fauzi, B. K. Hadi, S. P. Santosa, and A. Jusuf, “Composite Based Lightweight Structure Design for Crash and Safety Application,” *Proceeding - 2018 5th Int. Conf. Electr. Veh. Technol. ICEVT 2018*, pp. 161–166, 2018.
- [10] Altın, M. and Yücesu, H. S., “Farklı Geometrik Yapılardaki Çarpışma Kutularının İçerisine Yerleştirilen Alüminyum Köpük Malzemenin Enerji Sönümlene Kapasitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” *J. Polytech.*, vol. 0900, no. 1, pp. 141–148, 2019.

# ISI DEĞİŞTİRİCİSİ ANALİZİNDE ÇÖZÜM AĞININ SONUCA ETKİLERİ

**Hasan SAVAT\* & Berkay ÇETİN\*\*  
Mustafa ATMACA\*\*\*\***

\* *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği,  
hsnsvt@gmail.com*

\*\* *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği,  
brkycn@gmail.com*

\*\*\*\* *Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği,  
matmaca@marmara.edu.tr*

**Özet:** Bilgisayar analizlerinin (benzetimlerinin) giderek önem kazandığı günümüzde, mühendislik işlerinde hesaplanması zor veya mümkün pek çok hesap bu benzetimler vasıtasıyla çözülebilmektedir. Böylelikle yeni ürünlerin geliştirme, süreleri kısaltmakta ve maliyetleri düşmektedir. Ancak bu analizlerin doğru sonuç verebilmesi için analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bilgisayar analizleri pek çok sebep ile yanlış sonuçlar verebilmektedir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinde, bu sebeplerin başında oluşturulan çözüm ağlarının (mesh ağlarının) yetersiz olması gelmektedir.

Bu çalışmada havadan havaya ısı geri kazanım cihazlarında yaygın olarak kullanılan plakalı tip ısı değiştiricisi bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Isı değiştiricisinde tekrar eden bölgeler belirlenmiş ve bu bölgeler için, farklı çözüm ağları çeşitli parametrik değerler ile oluşturulmuştur. Parametrik çözüm ağları kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği benzetimleri yapılmıştır. Sonuçlar kıyaslanarak benzetim kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, HAD, fluent, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, ısı değiştiricisi, Isı geri kazanımı, çözüm ağı, mesh ağı

**Abstract:** Computer analysis (simulate) gains increasing importance nowadays, the calculation of engineering work difficult or impossible in many calculations can be resolved through these simulations. Thus, development of new products, the time is shortened and costs fall. However, to have accurate results of these analyzes must be done in a healthy way. Computer analysis may give incorrect results with many reasons. In computational fluid dynamics (CFD) analyses, the solution networks (mesh networks) created at the beginning of these reasons are insufficient.

In this study, air to air plate type heat recovery device (widely used) of heat exchanger is created in the computer. Repetitive regions have been identified in

the heat exchanger and different solution networks for these regions are created with various parametric values. Simulated (Computational Fluid Dynamics Simulation) using parametric solution networks. The results were compared to improve the quality of simulation.

**Keywords:** Computational fluid dynamics, HAD, fluent, heat transfer, fluid mechanics, heat exchanger, heat recovery, solution network, mesh network

## GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de enerjiye talep artmaktadır ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Birçok kurum enerji talebi hakkında çalışma yapmaktadır. Günümüze oranla 2030 yılında enerji tüketiminin dünyada %60 ve Türkiye’de ise %100’den daha yüksek oranda artması dile getirilmektedir (Satman, 2007). Enerji tüketiminin azaltılması için en iyi çözüm enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Yapılan bir çalışmada küresel ısınmanın etkilerini önlemek amacıyla; kullanılabilecek etkili yöntemlerden birinin de enerji verimliliğini artırmak olduğuna değinilmiştir (Bayraç, 2010). Pamir (2005) yaptığı çalışmasında enerji tasarrufunun ve enerji tüketimini azaltmanın öneminden bahsetmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise enerji verimliliğinin öneminden ve bu konuda neler yapılabileceğinden bahsedilmiştir (Narin ve Akdemir, 2006).

Bilgisayar analizleri (benzetimleri) de gerek üretim süreçlerini kolaylaştırması gerekse prototip ihtiyacını azaltması bakımından, enerji ve zaman verimliliğini arttırabilmektedirler. Ancak bu analizlerin doğru sonuç verebilmesi için analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bilgisayar analizleri pek çok sebep ile yanlış sonuç verebilmektedirler. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), analizlerinde bu sebeplerin başında oluşturulan çözüm ağlarının (mesh ağlarının) yetersiz olması gelmektedir. Erdinç ve arkadaşları da ANSYS paket programını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) problemlerinin çözümünde kullanmıştır (Erdinç, Yılmaz, Cihan ve Ünal, 2015).

Isı geri kazanımlı havalandırma endüstrisi gün geçtikçe gelişen ve büyüyen bir alandır (Şentürk, Aktakka ve Toksoy, 2015). Isı geri kazanım cihazları, dış şartlarda alınan taze havanın egzoz havası yardımı ile ön ısıtılmasını (veya soğutulmasını) sağlayarak, taze havanın sıcaklığını, iç ortam şartlarına yaklaştırmaktadır (Altın, Aktakka, Günerhan ve Karakoç, 2013). Böylece bu cihazlar kullanılarak hem ilk yatırım maliyetleri azalmakta hem iklimlendirme sistemlerinin işletme maliyeti düşmekte, hem de enerji verimliliği arttırılmış olmaktadır.

Bu çalışmada iklimlendirme proseslerinde enerji verimliliğini arttırmak ve maliyetleri düşürmek için kullanılan havadan havaya plakalı tip ısı geri kazanım cihazının; ısı değiştiricisinde farklı çözümler ağları kullanılarak bilgisayar analizleri (benzetimleri) ile çözdürülmesinden elde edilen sonuçlar kıyaslanacaktır.

## YÖNTEM

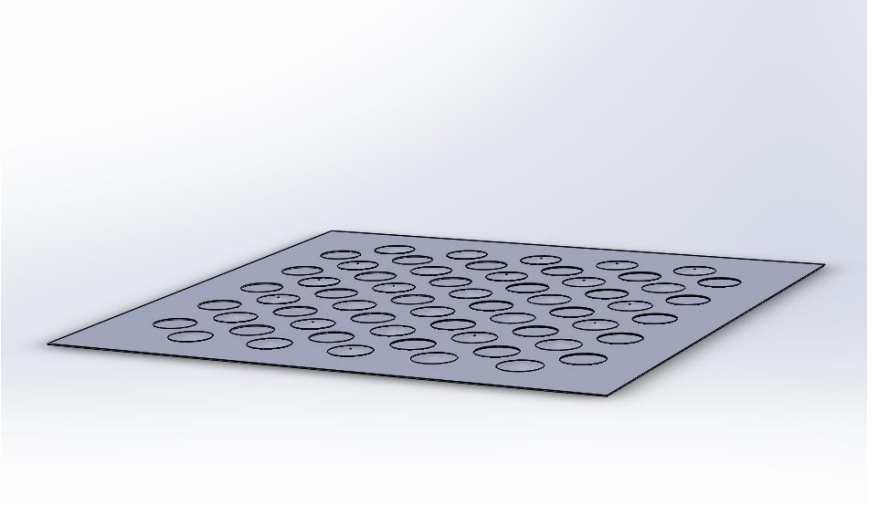
Analizi yapılacak olan ürün günümüzde havadan hava ısı geri kazanım cihazlarında kullanılmakta olan bir ısı değiştiricisidir. Şekil 1.'de ısı değiştiricisi görölmektedir.



**Şekil 1.** Model

Solidworks programı vasıtasıyla kullanılan ısı değiştiricisi birebir olacak şekilde bilgisayar ortamında oluşturulmuştur.

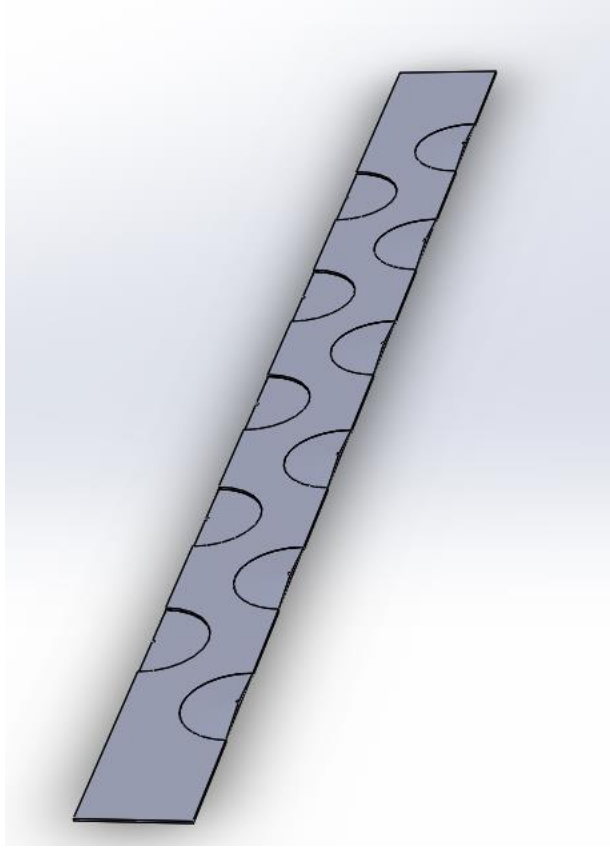
Bu ısı değiştiricisi lamellerin üst üste dizilmesinden oluşmaktadır. Şekil 2.'de ilgili lamel görölmektedir.



**Şekil 2.** Oluşturulan Lamel

Oluşturulmuş olan bu lameller döndürülerek üst üste gelecek şekilde kopyalanarak, kapaklar ve çitalar eklenerek modelin tamamı oluşturulabilmektedir.

Isı değiştiricisi periyodik olarak kendini tekrarlayan bir geometriye sahiptir. Bu sebeple tekrarlanan geometrinin sadece bir parçasının analizinin yapılması ile tamamının yapılması aynı sonuca çıkacaktır. Bu sebep ile geometri periyodik olacak şekilde bölünmüş ve periyodik olan parçalardan biri incelenmiştir. Model için periyodik olan kısım şekil 3.'de görülmektedir.



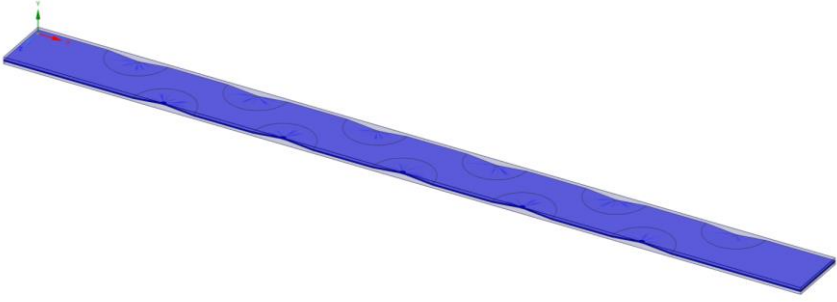
**Şekil 3.** Periyodik Bölge

Solidworks programı ile yapılmış olan çizim step formatına çevrilerek ANSYS programına aktarılır. ANSYS programının geometri modülü vasıtasıyla yapılan çizime akış hacimleri eklenir.

Akış hacmi bilgisayarın analiz sırasında akışkan olarak hesaplayacağı hacimdir. Bu çalışmada akışkan havadır ve oluşacak olan akış ve ısı transferi hesaplanacaktır.

Eklenen akış hacimleri şekil.4’de görülmektedir. Akış hacimleri birbirleri ile kesişmemekte ve alüminyum plaka vasıtasıyla ayrılmaktadır. Bir akış bölgesinden sıcak olan hava geçerken, diğerinden soğuk olan geçecektir. Akış alanları yarı saydam, alüminyum plaka ise şekildeki gibi mavi renkte görülmektedir.



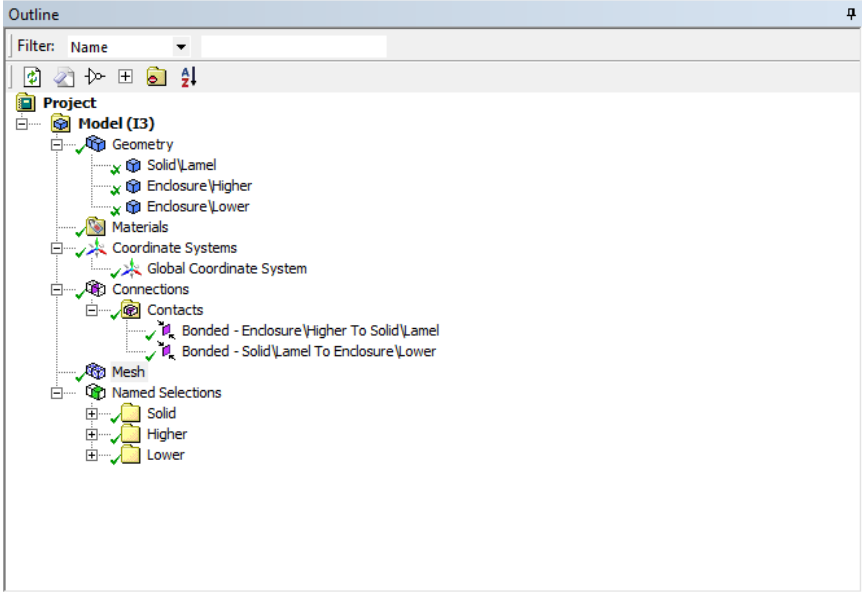


**Şekil 4.** Akış Hacmi

Geometri modülünde akış hacmi eklendikten sonra mesh aktarılır. Bu data aktarımı sırasındaki veri bağlantısı yine ANSYS paket programında yer alan Workbench aracılığıyla yapılmaktadır (Atmaca ve Ezgi, 2019). Workbench, ANSYS programının içerdiği modülleri seçerek kullanmak ve birbirlerine bağlayarak aralarında data transferini sağlamak için kullanılan bir ara yüz programıdır (Atmaca, Çetin ve Yılmaz, 2019).

Çözüm ağı (mesh ağı) oluşturmak, fiziksel olarak tanımlı bir aralığı daha küçük elemanlara bölme işlemidir. Bu işlem ile yüzeysel tanım aralıkları üçgen, dörtgen vb. geometrik şekillere bölünürken, hacimsel tanım aralıkları tetrahedra, hexahedra, küp gibi geometrik şekillere bölünürler. Sonlu elemanlar ve sonlu hacimler metodu ile yapılan mekanik analizlerde, akış analizlerinde, ısı transferi analizlerinde ve manyetizma analizleri gibi analizlerde, analize başlamadan önce çözüm ağını (mesh ağını) oluşturmak gerekmektedir (Atmaca, Girgin ve Ezgi, 2016).

Mesh modülü, vasıtasıyla çözüm ağı örülür. Öncesinde mesh ağı modülü üzerinde modülün geometrileri doğru şekilde görüp görmediği (2 akışkan geometri ve 1 katı geometri), contactların (geometriler arasındaki temas yüzeylerinin) doğru olup olmadığı kontrol edilir. Yüzeylerde isimlendirme yapılır. İlgili görsel şekil 5.'de yer almaktadır.



**Şekil 5.** Mesh Modülü Outline Penceresi

Modül otomatik olarak çözüm ağı atabilmektedir. Ancak oluşan çözüm ağı düzgün ve ideal olmadığından analiz için yetersizdir ve manuel olarak müdahale edilerek uygun bir çözüm ağı kurulması sağlanır. Şekil 6.'da çözüm ağının kurulması için yapılan ayarlar görülmektedir. Şekilde yer alan ayarların yanı sıra tablo 1. yer alan değişiklikler yapılarak yeni çözüm ağları oluşturulmuştur.

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> <b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<input type="checkbox"/> <b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	10, mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<input type="checkbox"/> <b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (20, mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5,e-002 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (0,1 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,°)
Capture Proximity	Yes
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (0,1 mm)
<input checked="" type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	6
Proximity Size Function Sou...	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	300,85 mm
Average Surface Area	397,35 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	0,5 mm
<input type="checkbox"/> <b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	0,8
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input checked="" type="checkbox"/> Min	4,9516e-002
<input checked="" type="checkbox"/> Max	1,
<input checked="" type="checkbox"/> Average	0,83672
<input checked="" type="checkbox"/> Standard Deviation	8,2991e-002
<input type="checkbox"/> <b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<input type="checkbox"/> <b>Assembly Meshing</b>	
Method	None
<input type="checkbox"/> <b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	4
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (9,e-002 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<input type="checkbox"/> <b>Statistics</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Nodes	6500042
<input checked="" type="checkbox"/> Elements	33184738

Şekil 6. Çözüm Ağı Ayarları

**Tablo 1.** Çözüm Ağları Farkları

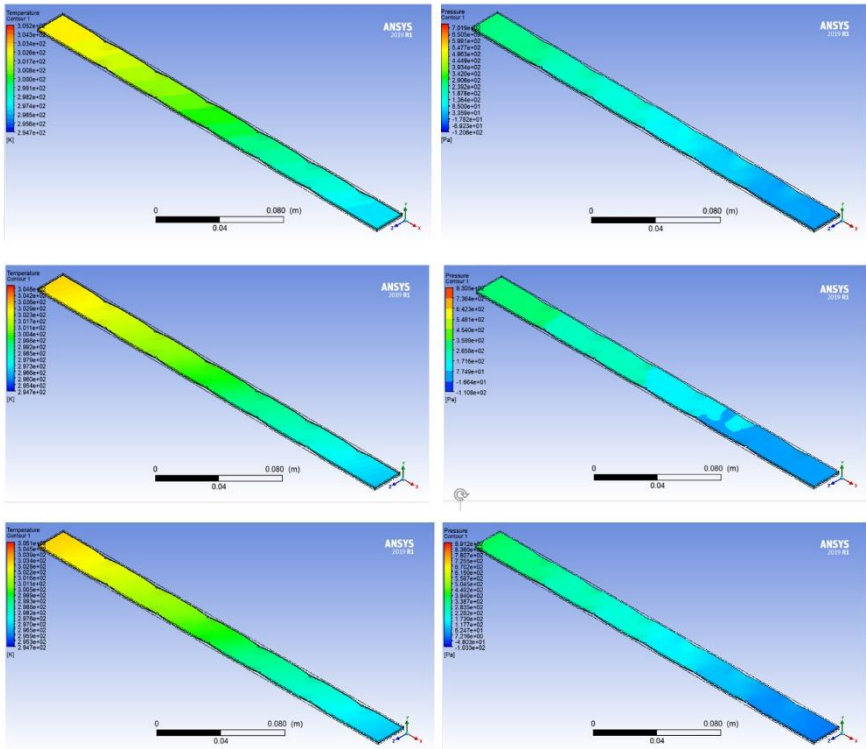
	Sık Olan Çözüm Ağı	Orta Sıklıkta Olan Çözüm Ağı	Seyrek Olan Çözüm Ağı
Element Size	10	15	20
Number Cells Across Gap	6	4	2
Min	4,95E-02	6,02E-02	7,02E-02
Standart Deviation	8,30E-02	8,94E-02	9,52E-02
Nodes	65000042	2174561	461423
Elements	33184738	10410833	1883386

Çözüm ağlarının oluşturulması tamamlandıktan sonra workbench aracılığıyla tüm çalışma fluent modülüne aktarılır.

Fluent modülünde analizde ısı verilerin de yer alması istendiği için energy seçeneği off konumundan on konumuna alınır. Matematik model olarak k-epsilon model Realizable, Near Wall treatment: Standart Wall Function seçilmiştir. Malzeme bilgisi olarak akışkan hava, katı ise alüminyum olarak tanımlanır. İnet, outlet (preasure outlet), wall ve symetry olan bölümler tanımlanır. Hava hızı ise toplam debinin ısı değıştiricisinin giriş yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır; 6,9m/s'dir. Turbulent intensity: %5, turbulent viscosity ratio: %10 olarak girilmiştir. Havanın giriş sıcaklıkları da girilerek, modül vasıtasıyla analiz işlemleri başlatılmıştır.

## BULGULAR

Yapılan analiz sonuçlarına göre sıcaklıklar üç çözüm ağı içinde aynı çıkmasına karşın basınç kayıpları oldukça farklı çıkmıştır. Şekil 7.'de yukarıdan aşağıya doğru sırası ile az sayıda meshten oluşan çözüm ağı için sıcaklık, basınç dağılımları, ile orta sayıda meshten oluşan çözüm ağı için sıcaklık, basınç dağılımları ve çok sayıda meshten oluşan çözüm ağı için sıcaklık, basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 7. Analiz Sonuçları

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılmış olan analizlerin sonucunda aşağıdaki tablo 2.'de yer alan değerler elde edilmiştir.

Basınç kaybı havanın ısı değiştiricisine girdiği basınçtan, ısı değiştiricisinden çıktığı basıncın çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

Bir plakalı ısı geri kazanım cihazının ısıl verimi, ısı değiştiricisinin, geri kazandığı ısının, kazanılabilecek en çok ısıya oranıdır. Bu verim, aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\text{Isıl Verim} = (T_{t\check{c}} - T_{tg}) / (T_{eg} - T_{tg})$$

$T_{t\check{c}}$ ,  $T_{tg}$  ve  $T_{eg}$  ilgili konumlardaki termometrelerin ölçtükleri, °C cinsinden sıcaklık değerleridir.

$T_{t\check{c}}$ : Taze hava çıkış sıcaklığı

$T_{tg}$ : Taze hava giriş sıcaklığı

**Tablo 2.** Analiz Sonuçları

	<b>Sık Olan Çözüm Ağı</b>	<b>Orta Sıklıkta Olan Çözüm Ağı</b>	<b>Seyrek Olan Çözüm Ağı</b>
<b>T<sub>eg</sub> (°C)</b>	32	32	32
<b>T<sub>tg</sub> (°C)</b>	21,6	21,6	21,6
<b>T<sub>tç</sub> (°C)</b>	26,9	27,4	28,4
<b>Isıl Verim (%)</b>	51	56	65
<b>Basınç Kaybı (Pa)</b>	117	156	173

Tabloda da görüldüğü üzere mesh sayısının yetersiz olduğu durumda gerek sıcaklıklar gerekse basınç kayıpları farklı çıkmıştır. Böylece bu sıcaklıklar üzerinden hesaplanan ısıl verim değerleri de farklı olmuştur. Çözüm ağının sık olduğu durumda elde edilen sonuçlar gerek deneysel verilerle gerek üreticinin sağlamış olduğu bilgilerle örtüşmektedir.

Bu durumun sebebi yeterli çözüm ağı oluşmadığı durumlarda bilgisayar analizlerinde hata payının oldukça artması ve böylece mesh sayısının az olduğu durumlarda benzetim kalitesi düşmesidir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak yapılacak olan bilgisayar benzetimlerinde (analizlerinde), doğru sonuçlar elde edebilmek için yeterli sayıya sahip çözüm ağı (mesh ağı) oluşturulması gerektiği görülmüştür.

## **KAYNAKLAR**

- Atmaca, M.; Girgin, I.; Ezgi, C.: CFD modeling of a diesel evaporator used in fuel cell systems. *Int. J. Hydrog. Energy* 41(14), 6004–6012 (2016)
- Atmaca M, Çetin B., and Yılmaz E.. CFD Analysis of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Moving in Flocks, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol.135, 694-696, 2019
- Atmaca, M. and Ezgi, C.: Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector, *Energy Sources Part A*, 1-12 (2019)
- Altın, M., Aktakka, S., Günerhan, H. & Karakoç, T.H. (2013). Farklı İklim Bölgelerine Ait Isıtma-Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Dikkate Alınarak Bir Isı Geri Kazanım Sisteminin Tasarımı. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1055-70.
- Bayraç, H. N. (2010). ENERJİ KULLANIMININ KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ VE ÖNLEYİCİ POLİTİKALAR. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- Erdoğan, M. T., Yılmaz, T., Cihan, E., & Ünal, Ş. (2015) Isı Transferi Problemlerinin Ansys Workbench İle Hızlı Analizi Ve Kaydırılmış Levhada Örnek Uygulama. *Ulıbt'15 20. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi*. 1424-30.
- Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. *Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*.
- Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6(68).
- Satman, A. (2007). Türkiye'nin enerji vizyonu. *Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri*, 3-18.
- Şentürk, U., Aktakka, S. & Toksoy, M. (2015). Havalandırmada Enerji Geri Kazanımı: Araştırma ve Geliştirme. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 301-27.

# FARKLI TÜRDE CAMLARIN PV/T SİSTEM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Prof. Dr. Mustafa ATMACA\* & Emre AKISKALIOĞLU\*\***

*\*Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, matmaca@marmara.edu.tr*

*\*\* Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, emreakiskali@gmail.com*

**Özet:** Enerji, teknolojinin geliştiği günümüz dünyasında hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bunun yanı sıra, doğal kaynaklarımızın hızla tükenmesi, çevre kirliliğiyle birlikte ekolojik dengenin bozulmaya başlaması ve enerji üretiminin yüksek maliyeti, bizi enerjinin verimli ve etkin kullanılması, farklı ve temiz kaynaklardan enerji üretilmesi konusunda çok daha duyarlı olmaya zorlamaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir bir kalkınma için alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin çok yüksek olması ancak güneş enerji sistemlerinin yeteri kadar değer görmemesi nedeni ile sistem verimliliğini artırmamız ve kullanımın yaygınlaştırılması büyük önem arz etmektedir.

PV/T sistemin güneş ışınları ile karşılaşan ilk parçası olduğundan, cam özelliklerinin sistem performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Bu çalışmada, farklı türdeki iki cam özelliklerinin elektrik üretimini ve sistem performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu sistem, öğrenci yurtlarında, otellerde ve günlük kullanımda kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** PV/T sistemi, cam malzeme özellikleri, güneş enerjisi, yenilenebilir enerji

**Abstract:** Energy has become an indispensable part of our lives in today's world where technology is developing. In addition, the rapid depletion of our natural resources, the deterioration of the ecological balance with environmental pollution and the high cost of energy production, force us to be more sensitive about the efficient and efficient use of energy and the production of energy from different and clean sources. Therefore, the use of alternative energy sources comes to the forefront for sustainable development. Turkey's solar energy potential is very high but due to the value seen enough of solar energy systems, dissemination and use of our increasing system efficiency is of paramount importance.

Since it is the first part of the PV/T system to be exposed to sunlight, the glass cover has a significant impact on system performance. In this research, it will be investigated how different properties of glass affect electricity production and overall system performance. This system can be used in dormitories, hotels and daily use.

**Keywords:** PV/T system, glass material properties, solar power, renewable energy



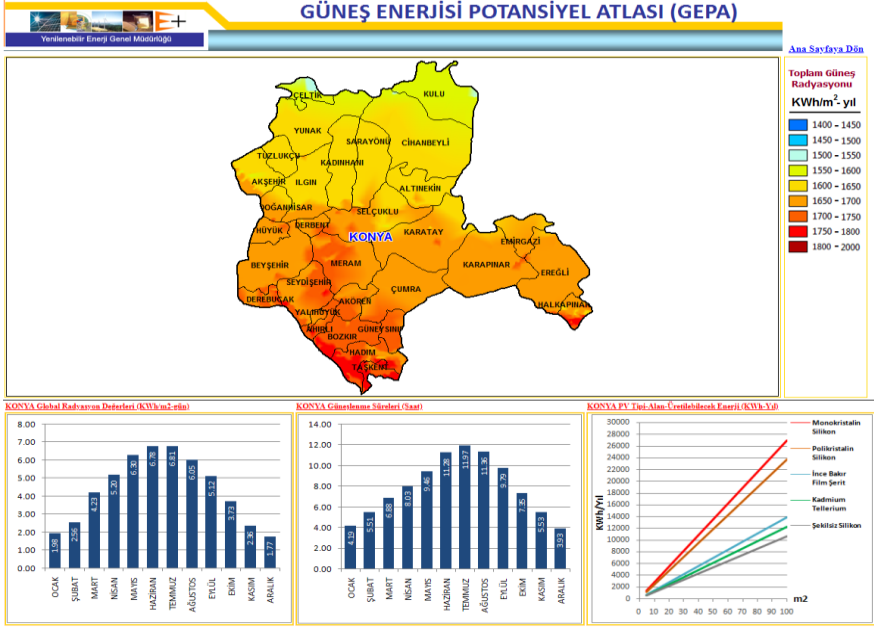
## **Giriş**

Güneş enerjisi iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Bunlar, gelen güneş ışınımının ısıya çevrildiği termal güneş sistemleri ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrildiği fotovoltaik (PV) sistemlerdir. Termal güneş sistemleri su ısıtması, mekân ısıtması ve güç üretimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemler ise saatler, hesap makineleri gibi küçük sistemlerde olduğu gibi, elektrik santralleri gibi büyük çapta elektrik üretim uygulamalarında da kullanılmaktadır. Bu iki sistemin bir arada kullanıldığı hibrit sistemlere fotovoltaik/termal (PV/T) sistemler denilmektedir. Bu sistemlerde amaç, tek bir sistemden hem ısı hem de elektrik enerjisi eldesi sağlamaktır. [1]

Son yıllarda, PV/T teknolojisi dünya çapında büyük ilgi görmüştür. Rapor edilen PV/T sistemlerinde, sistemin termal kısmında hem hava hem de su kullanılmıştır. Işığı yakalayan ve elektrik akımına etkili bir şekilde dönüştüren güneş pilleri ve bir dizi tasarım ilkesi geliştirilmiştir. Bu alandaki genel ilerleme, Xondag, Hasan ve Sumati, Chaar ve arkadaşları, Tiwari ve arkadaşları, Tiyağı ve arkadaşları ve Charalambous ve arkadaşları da dahil olmak üzere birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. [2-5] Ancak, iki akışkanlı PV/T sistemlerle ilgili, deneysel verilerin elde edilerek sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığı ve bu sistemlerde kullanılan cam türünün verime etkisini araştıran detaylı ve kapsamlı bir çalışma bulunamamıştır. Bu çalışma ile bu konudaki boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

## **Yöntem**

Çalışma için Konya ili seçilmiştir. Konya ilinin enlemi 37°N ve boylamı 32°E'dir. Bu nedenle sistemin eğim açısı yıl boyunca 33° olarak seçilmiştir. Konya ilinin güneşlenme haritası aşağıdaki gibidir:



Şekil 1: Konya ili güneş enerjisi atlası [6]

## Sistem Tanımı

### Sistemde kullanılan ana parçalar

Deneyleri yapacağımız düzenek 3 ana sistem içermektedir:

- 1 – Soğutma sistemi
- 2 – Elektriksel sistem
- 3 – Data sistemi

Deney düzeneği aşağıdaki şekilde gösterilmiş olup, sistemi içeren parçalar:

- 1) *Cam Kapak*: 4 mm düz cam ve 4 mm low-e kaplamalı cam
- 2) *PV Panel*: TPMS6U Monokristal 200 W, 200 W,  $V_{oc}$ :45.4 V,  $I_{sc}$ :5.77 A.
- 3) *Absorber Plaka*: Kalınlık 0.400 mm, malzeme: Alüminyum, (200W/mK), siyaha boyanmış.
- 4) *Arka Plaka*: Kalınlık: 2 mm, malzeme: çelik
- 5) *Hava fanı*: Elektronik haberleşme sistemi ile birlikte.

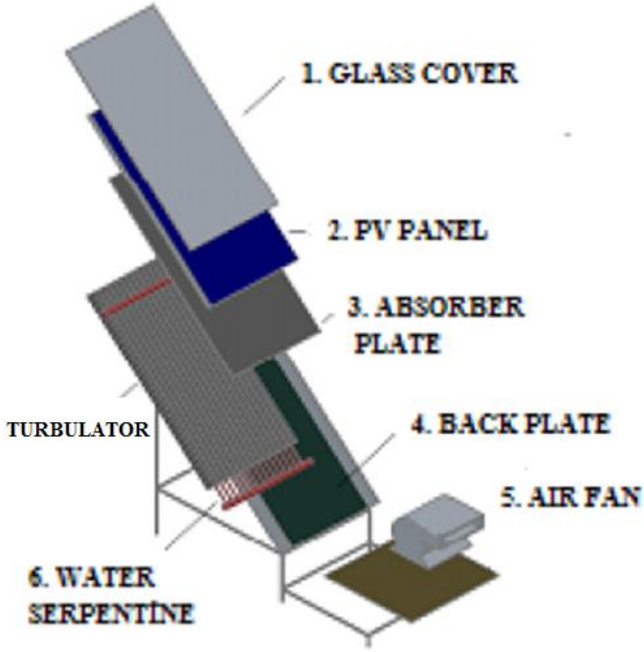
6) *Su Serpantini*: Kollektör dış çap: 32 mm, boru dış çap: 10 mm, malzeme: bakır (394 W/mK).

7) *Türbulator*: bal peteği, kalınlık 1.5 mm, uzunluk 1580 mm, malzeme: aliminyum (200W/mK).

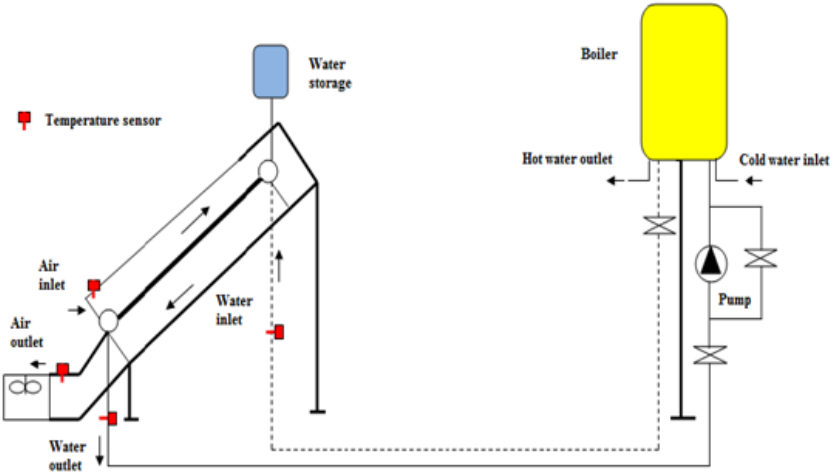
8) *Pompa*

9) *Boyer*: Isı değişimi için, 100L kapasiteli.

10) *Yalıtım*: 50 mm mineral, ısı iletkenliği  $\lambda$ : 0.035 W/MK (7)



şekil 2: Sistem Görünümü [7]



Şekil 3: Hava ve Su Döngüsü [7]



Şekil 4: Sistemin Genel Görünümü

İki farklı cam sisteme monte edilip, benzer hava koşullarında veriler alınmıştır. Sisteme monte edilen camların özellikleri aşağıda verilmiştir.

1 – 4 mm kalınlığında renksiz düz cam

2 – 4 mm kalınlığında renksiz low-e cam

Tablo 1. Düz cam ve low-e cam özellik karşılaştırma tablosu [8]

Cam Türü	Gün Işığı (EN 410) Geçirgenlik	Güneş Enerjisi (EN 410) Toplam Geçirgenlik	Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) Hava
Düz Cam	80	75	2,9
Low-e Kaplamalı Cam	79	55	1,6

### Analiz

Deney verileri ve hesaplamalar bu bölümde verilecektir. Verim hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılacaktır.

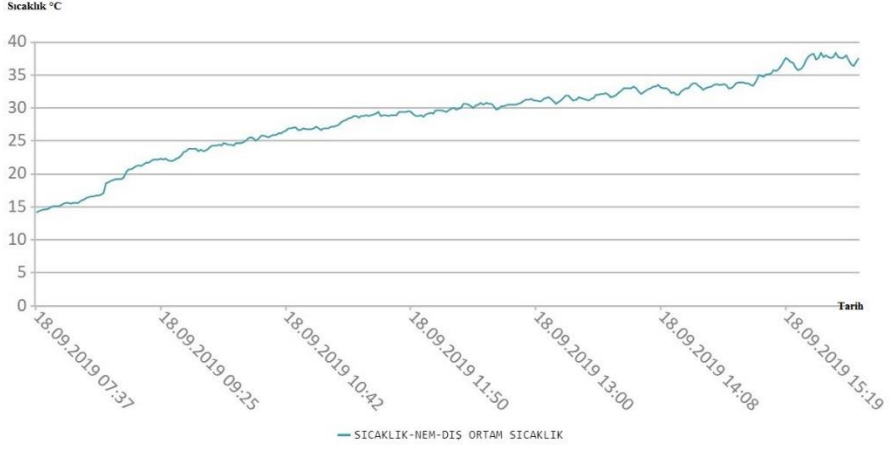
Toplam ışınlım:  $I_t \cdot A_p$  ( $A_p$ : PV panelinin yüzey alanı: 1.2766 m<sup>2</sup>)

Sistemin hava devresi gücü:  $P_{th-a} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p(hava)} \cdot (T_o - T_i)$

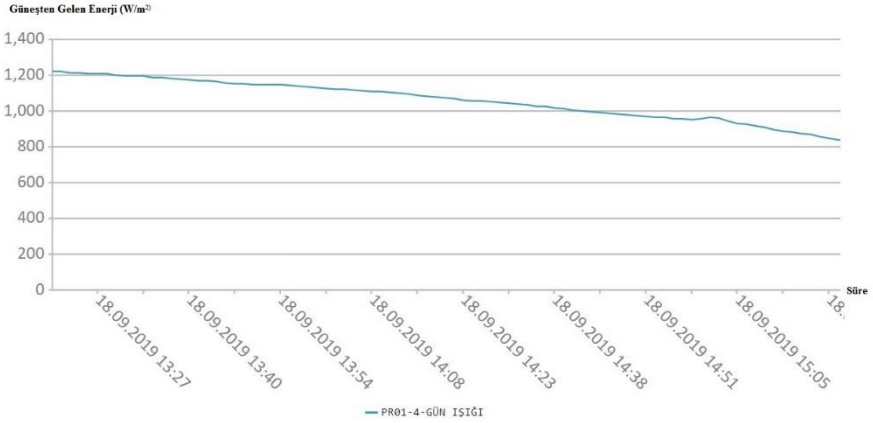
$\dot{m}_{air} = V_{air} \cdot A_h$

$A_h$ : Hava kanalının kesit alanı: 0.6 x 0.35 = 0.21 m<sup>2</sup>

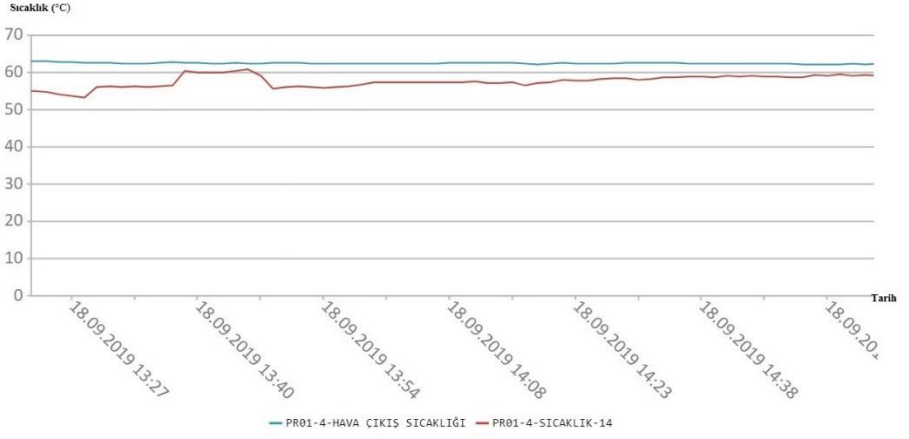
**4 mm düz cam ile yapılan deney verileri: 18.09.2019**



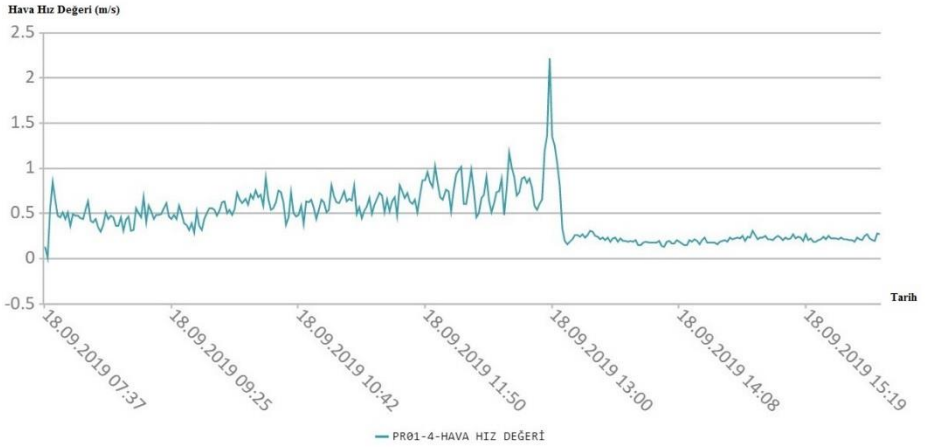
Şekil 5: Dış Ortam Sıcaklık değeri – Ortalama 30°C alındı.



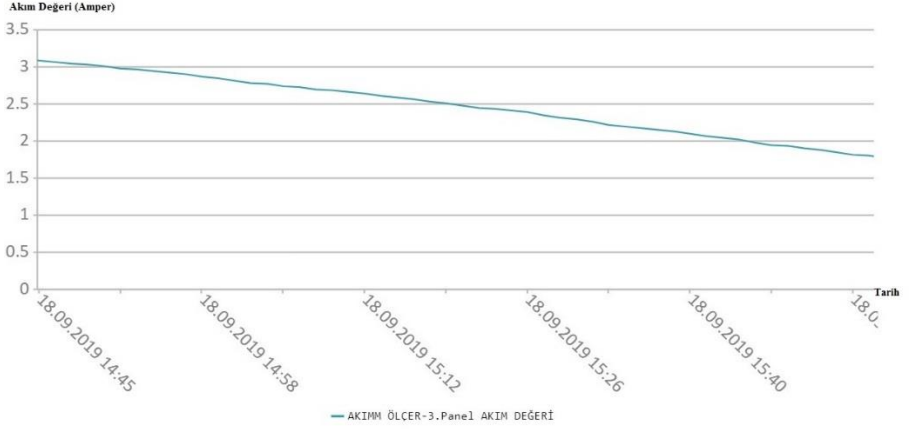
Şekil 6: Piranometre Ölçüm Değerleri - Ortalama değer 1100 W/m<sup>2</sup> olarak alındı.



Şekil 7: Hava giriş çıkış sıcaklık değerleri –  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplandı.



Şekil 8: Hava hız değeri - Fan kapanmadan önceki ortalama değer 0,7 m/s olarak alındı.



Şekil 9: Akım Değeri (Amper)

Toplam ışıyım:  $I_t \cdot A_p$  ( $A_p$ : PV panelinin yüzey alanı:  $1.2766 \text{ m}^2$ )

Sistemin hava devresi gücü:  $P_{th-a} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p(hava)} \cdot (T_o - T_i)$

$$\dot{m}_{air} = V_{air} \cdot A_h$$

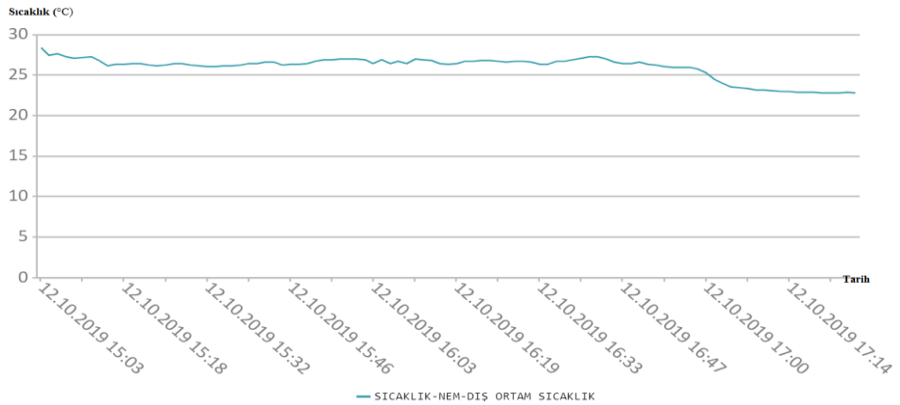
$A_h$ : Hava kanalının kesit alanı:  $0.6 \times 0.35 = 0.21 \text{ m}^2$

$$P_{th-a} = 0.21 \cdot 0.7 \cdot 0.24 \cdot 4.18 \cdot 1000 \cdot 5 = 737 \text{ W}$$

Güneşten gelen enerji:  $Q = 1100 \cdot 1.27 = 1397 \text{ W}$

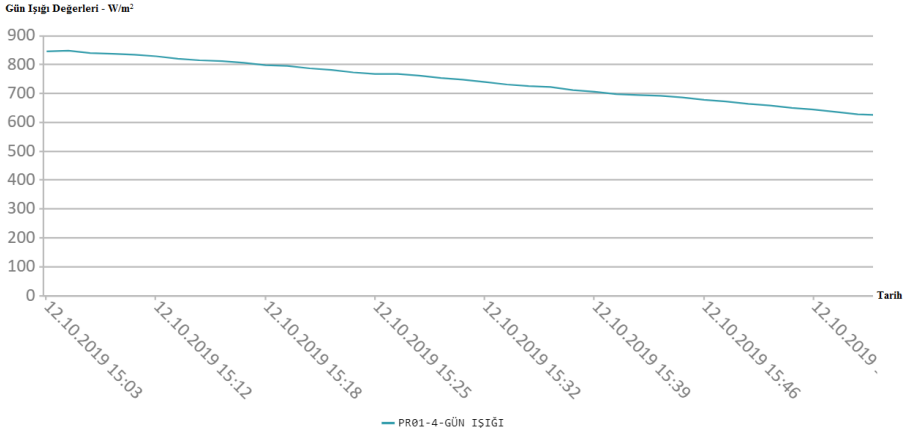
Verim = %52,75

**Low-e cam ile yapılan deney verileri: 12.10.2019**

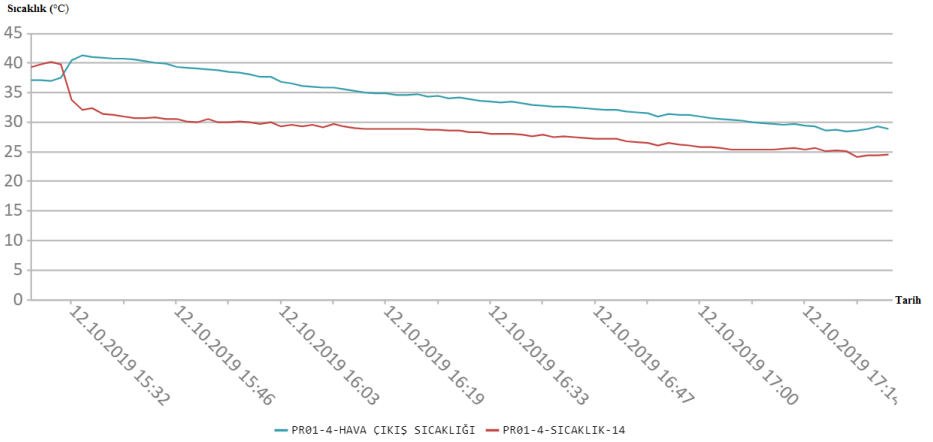


Şekil 10: Dış Ortam Sıcaklık Değeri - Ortalama 27°C alındı.

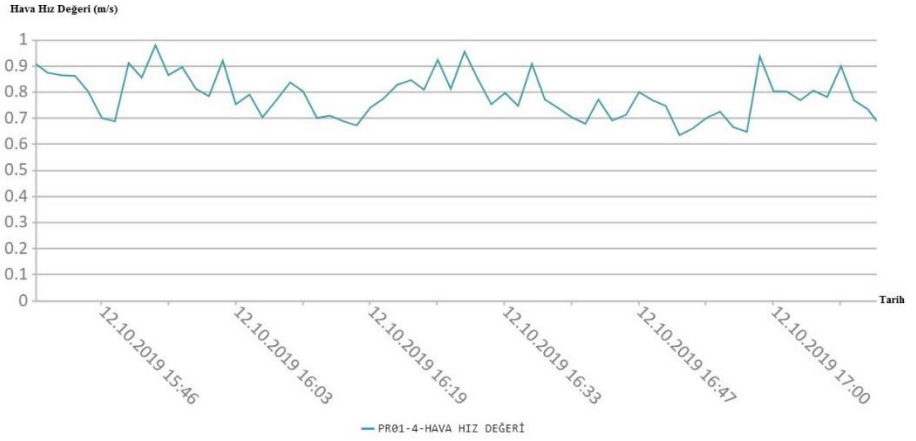




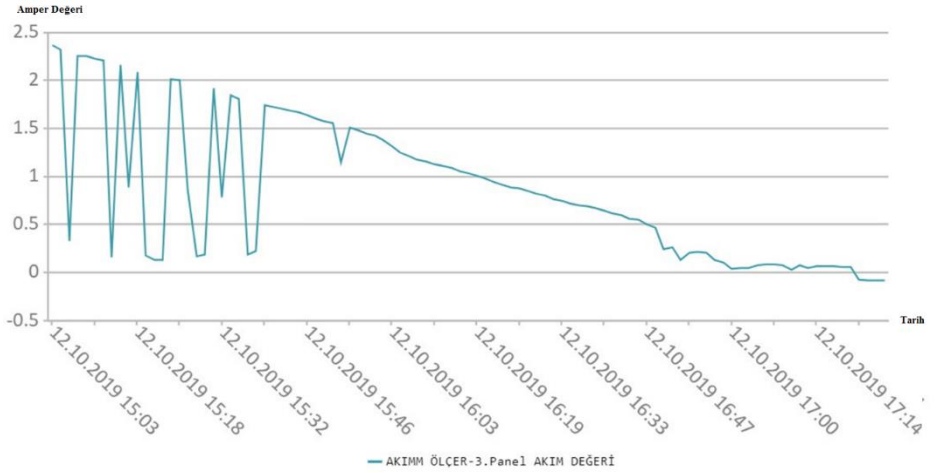
Şekil 11: Piranometre Ölçüm Değerleri – Ortalama 700 W/m<sup>2</sup> alındı.



Şekil 12: Hava Giriş Çıkış Sıcaklık Değerleri –  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$  olarak alındı.



Şekil 13: Hava Hız Değeri – Ortalama 0.7 m/s olarak alındı.



Şekil 14: Akım Tablosu (Amper Değerleri)

Sistemin hava devresi gücü:  $P_{th-a} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p(hava)} \cdot (T_o - T_i)$

$$P_{th-a} = 0.21 * 0.7 * 0.24 * 4.18 * 700 * 5 = 516 \text{ W}$$

Güneşten gelen enerji:  $Q = 700 * 1.27 = 889 \text{ W}$

Verim = %58,04

## Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, hava ve su bazlı bir PV/T sistemindeki güneş ışığının karşılaştığı ilk yeri olan camın sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Güneşten gelen ışınım, sisteme elektrik enerjisi getirdiği gibi aynı zamanda termal kazanım da getirmektedir. Fotovoltaik panel ışınımı elektriğe çevirmekte, gelen termal enerji ise sistemde dolaşan havaya aktarmaktadır. Deney sonuçları, düz cam yerine low-e kaplamalı cam kullanılarak verimin %5,30 artırıldığını göstermektedir. Low-e camlar, elektrik üretimini çok az etkilediği, ancak gelen ışınım ile gelen termal enerjiyi metal oksit kaplaması nedeniyle sistemin içerisinde tuttuğu saptanmıştır.

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir ülkedir ve güneşten elektrik ve ısı üretiminin artırılması önerilmektedir. Hava ve su bazlı PV/T sisteminin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu sistemlerde de verimin artırılması için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Sistemde düz cam kullanmak yerine low-e cam kullanılmasının verimi artırdığı sonucuna ulaşılmıştır ve bu camın kullanılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Model Bir PV/T Trombe Duvarın Enerji Analizi, Başak Kundakçı Koyunbaba, 2010
- [2] M.N. Abu Bakar ve Arkadaşları, “Development of an Improved Photovoltaic/Thermal ( PV/T ) Solar Collector With Bi-Fluid Configuration” Renewable Energy, Elsevier, vol. 67(C), pages 153-164.
- [3] N.A. Manaf ve Arkadaşları, “ Design of Single-Pass Bi-Fluid Photovoltaic/ Thermal ( PV/T ) Solar Collector” August 2013, Volume 4, No.4 International Journal of Chemical and Environmental Engineering
- [4] Bjornar Sandnes ve John Rekstad, “ A Photovoltaic/ Thermal ( PV/T ) Collector With A Polymer Absorber Plate; Experimental Study And Analytical Model), Solar Energy, Elsevier, 72(1):63-73
- [5] Zhao, J.; Song, Y.; Lam, W.H.; Liu, W.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Wang, D.Y. Solar radiation transfer and performance analysis of an optimum

photovoltaic/thermal system. Energy Convers. Manag. 2011, 52, 1343–1353.

[6] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş enerjisi potansiyel atlası, GEPA, yegm.gov.tr

[7] Investigation of possibilities obtain heating, hot water and electricity from same solar panel by means of a new design called “Solenam” ( Solar energy absorber machine ) Mustafa ATMACA, İmdat Zafer PEKTEMİR, Ender YILMAZ

[8] Isıcam Sistemleri Broşürü, Trakya Cam Sanayii A.Ş. , Şişecam Genel Merkezi , www.isicam.com.tr

# AYARLANMIŞ TİTREŞİM YUTUCULAR İLE NONLİNEER ENERJİ YUTUCULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

**Ebru DEĞİRMENÇİ\* & M.M.Fatih KARAHAN\*\***

*\*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, edgrmnc.kmh@hotmail.com*

*\*\* Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği fatih.karahan@cbu.edu.tr*

**Özet:** Dinamik bir sistemin titreşiminin azaltılması için dinamik sisteme bağlanan ayarlanmış titreşim yutucu (TVA) ve nonlineer enerji yutucunun (NES) performans karşılaştırılması yapılmıştır. Öncelikle sistemin hareket denklemleri oluşturulmuş ve sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analiz, MATLAB' da yerleşik bir fonksiyon olan Runge-Kutta metodu ile elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** NES, TVA, Titreşim Yutucu

## Giriş

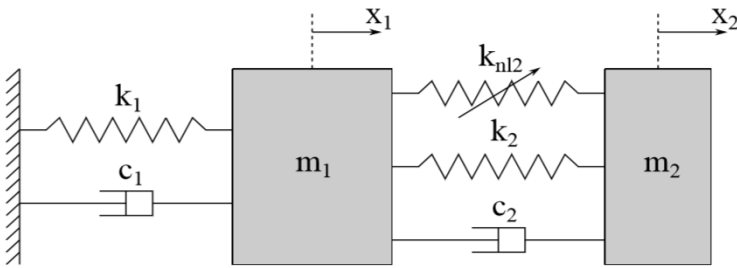
Dinamik bir sistemin titreşimlerinin azaltılamaması mühendislikte yaygın olarak karşılaşılan bir sorundur (T Asami and O Nishihara, 2003). 1900'lerin başında Frahm, dinamik sistemlerin titreşimini azaltmak için doğrusal titreşim yutucu kullanılmasını önermiştir (H Frahm, 1909). Daha sonra, emicinin uygunluğunu ve sönümünü bulmak için ayarlama prosedürü geliştiren Den Hartog tarafından resmileştirilmiştir (JP Den Hartog, 1985). Bunun adına da ayarlanmış titreşim yutucu(TVA) denilmiştir.

Ayarlanmış titreşim yutucunun (TVA) icadından bu yana mekanik sistemlerin titreşim enerjisini pasif veya aktif olarak bastırmak için birçok çalışma yapılmıştır (El-Khatib, H., Mace, B., and Brennan, M., 2005; Krenk, S., 2005; Zuo,L. and Nayfeh ,S., 2004; Zuo, L. and Nayfeh, S. , 2006). Klasik TVA, basit ve verimli bir cihazdır. Ancak dar ve tek bir frekans yakınında etkili bir şekilde çalışır. Roberson, TVA'yı nonlineer bir sistem olarak düşünerek bu bant genişliğini arttırmıştır (Roberson, R., 1952). Bundan sonra nonlineer titreşim yutuculara ilgi artmaya başlamıştır. Bazı sistemlerin enerjileri; Alıcıdan vericiye doğru tek taraflı olarak yönlendirilir. Bu duruma da hedeflenmiş enerji transferi (TET) denir (Y Starosvetsky and OV Gendelman, 2008). Ayrıca bir ana sistemden nonlineer bir bağlantıya tek yönlü hedeflenmiş mekansal enerji transferleri anlamına da gelir. Bu, ilk defa Gendelman(2001) tarafından gözlemlenmiştir.

Son zamanlarda, nonlinear sertlik, lineer sönümleyici ve kütlelen oluşan nonlinear enerji yutucu (NES) adı verilen tipik bir titreşim azaltma cihazı araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu araştırmacıların başında Vakakis (2004) gelmektedir. Daha sonra Tsakirtzis, Bergman ve Kerschen gibi birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır (A.F. Vakakis, O.V. Gendelman, L.A. Bergman, et al. , 2009; M. Parseh, M. Dardel, M.H. Ghasemi, 2015; M. Parseh, M. Dardel, M.H. Ghasemi, 2016; Y.S. Lee, A.F. Vakakis, L.A. Bergman, D.M. McFarland, G. Kerschen, F. Nucera, S. Tsakirtzis, P.N. Panagopoulos, 2008; Y.-W. Zhang, Z. Zhang, L.-Q. Chen, T.-Z. Yang, B. Fang, J. Zang, 2015) . Lineer bir sisteme nonlinear bir bağlantı ile entegre edilen NES, ana yapıya ilave serbestlik derecesi getirerek sistemin dinamiklerini pozitif anlamda değiştirebilmektedir. Belirli koşullar altında, lineer sistemden NES yapısına doğru tek yönlü ve geri dönüşümsüz olarak enerji (TET) akışı gerçekleşir. Ana yapı, enerjisi belirli bir kritik eşğin üzerinde olan bir şok tarafından uyarılırsa, NES neredeyse ana yapıdaki enerjinin tamamını absorbe ederek geniş bantlı pasif ve uyarlanabilir kontrolör görevi görür. Bu özelliği, NES'i titreşim azaltmak için uygun bir aday yapmaktadır.

Bu çalışmada, dinamik bir ana sistemin titreşiminin azaltılmasını pasif olarak kontrol etmek amacıyla TVA ve NES yutucuları arasında aynı koşullarda objektif bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için, öncelikle sistemin hareket denklemleri çıkartılmıştır ve bu denklemlerin sayısal analizleri yapılarak, sistemin geçiş çözümlerinin grafikleri elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırmada, NES sistemlerinin TVA sistemlerine göre daha iyi titreşimi absorbe ettiği gözlemlenmiştir.

### Sistemin Hareket Denklemleri



Şekil 1. Ana sisteme bağlı NES ve TVA

Yutucu bir kütle eklenen dinamik bir sistem Şekil 1'de görüldüğü gibidir.  $m_j$ ,  $k_j$ ,  $c_j$  ve  $x_j$  ( $j=1,2$ ) parametreleri sırasıyla hem ana sistemin hem de

yutucu sistemin kütlesi, direngenliği, sönümü ve deplasmanını ifade etmektedir. Bu parametrelere ek olarak  $k_{nl2}$ , nonlinear yay direngenliği olarak tanımlanmıştır.

Sistemin hareket denklemleri aşağıda belirtildiği gibidir;

$$\begin{aligned} m_1\ddot{x}_1 + c_1\dot{x}_1 + k_1x_1 + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2(x_1 - x_2) + k_{nl2}(x_1 - x_2)^3 &= 0 \\ m_2\ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_1) + k_{nl2}(x_2 - x_1)^3 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Denklem (1)'de, nokta zamana göre türevi temsil etmektedir.

Denklem (1)'de bazı düzenlemeler yapılarak aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + \lambda_1\dot{x}_1 + \lambda_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \omega_1^2x_1 + \omega_2^2(x_1 - x_2) + \gamma(x_1 - x_2)^3 &= 0 \\ \varepsilon\ddot{x}_2 + \lambda_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \omega_2^2(x_2 - x_1) + \gamma(x_2 - x_1)^3 &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem (2)'deki katsayılar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{m_2}{m_1} \quad \lambda_1 = \frac{c_1}{m_1} \quad \lambda_2 = \frac{c_2}{m_1} \quad \omega_1^2 = \frac{k_1}{m_1} \quad \omega_2^2 = \frac{k_2}{m_1} \quad \gamma = \frac{k_{nl2}}{m_1} \quad (3)$$

### Sayısal Analiz ve Karşılaştırmalar

Bu bölümde, elde edilen hareket denklemlerinin (2) geçiş çözümlerinin sayısal analizleri, MATLAB' da yerleşik bir fonksiyon olan Runge-Kutta metodu ile elde edilmiştir.

Ayarlanmış titreşim yutucu (TVA) bağlanmış ana sistem için nonlinear yay direngenlik değeri “0” ( $k_{nl2}=0$ ) alınarak analiz yapılmıştır. Nonlinear enerji yutucu (NES) bağlanmış ana sistem için ise lineer yay direngenlik değeri “0” ( $k_2=0$ ) alınarak analiz yapılmıştır. Bu durumlar göz önüne alınarak, yukarıda tanımlanan parametrelere uyarlandığında, ayarlanmış titreşim yutucu bağlanmış ana sistemin analizi için, parametreler  $\gamma = 0$ ,  $\omega_2=1$  şeklinde alınmıştır. Nonlinear enerji yutucu bağlanmış ana sistem analizi için ise,  $\omega_2=0$ ,  $\gamma = 1$  olarak alınmıştır.

Dinamik sistemde, daha öncede belirtildiği gibi  $m_1$ , ana sistemin kütlesi,  $m_2$  ise yutucunun kütlesidir. Küçük kütleli yutucu sönümlenmesi yapılabilmesi için yutucunun kütlesi, ana sistemin kütlesinden çok küçük olmalıdır ( $m_2 \ll m_1$ ). Bu yüzden, kütle oranı ( $m_2 / m_1$ ) olan  $\varepsilon$  parametresi  $0 < \varepsilon \ll 1$  aralığında alınmıştır. Böylece  $\varepsilon$ , perturbasyon parametresi olarak ifade edilebilir. NES yutucularını düşük kütleli almak, bağlı oldukları mekanik veya yapısal sistemlerde minimum kütle modifikasyonları ile

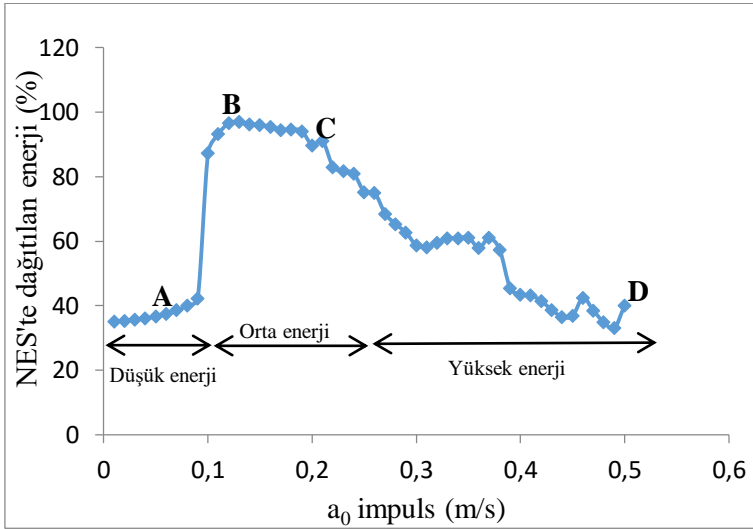
sönüm gerçekleştirilebilecekleri için büyük önem arz etmektedir. Başlangıç şartları,  $\dot{x}_1(0)=a_0$ ,  $x_1(0)=x_2(0)=\dot{x}_2(0)=0$  olarak alınmıştır. Burada  $a_0$ , sistemin ilk hızıdır.(İmpuls olarak da ifade edilebilir.) Sistemin katsayıları;  $\varepsilon=0.05$ ,  $\omega_1^2 = 1$ ,  $\lambda_1=0.001$ ,  $\lambda_2=0.002$  şeklinde ifade edilmiştir. Bu sistemde meydana gelen farklı dinamik olayları daha iyi vurgulamak için zayıf sönümlenme seçilmiştir.

NES'in impulsif enerjiyi ana sistemden pasif olarak absorbe edip dağıtma kapasitesinin niceliksel bir ölçümü, aşağıdaki enerji dağıtım ölçümlerinin (EDM) hesaplanmasıyla elde edilebilir.

$$E_{NES}(t) = \frac{\lambda_2 \int_0^t [\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)]^2 dt}{a_0^2 / 2} * 100, \quad E_{NES, \infty} = \lim_{t \rightarrow 1} E_{NES}(t) \quad (4)$$

Denklem (4)'de,  $E_{NES}(t)$ , anlık t zamanında NES tarafından absorbe edilip ve dağıtılan impulsif enerji yüzdesini ifade etmektedir.  $E_{NES, \infty}$  ise, sönümlü hareket sonuna kadar NES tarafından dağıtılan impulsif enerji yüzdesini ifade etmektedir. Ayrıca  $E_{NES, \infty}$ , bu pasif sistemde artan zamanla  $E_{NES}(t)$ 'nin ulaştığı asimptotik sınırdır

$E_{NES, \infty}$ 'nin impuls büyüklüğüne bağlı grafiği Şekil (2)'de gösterilmiştir.



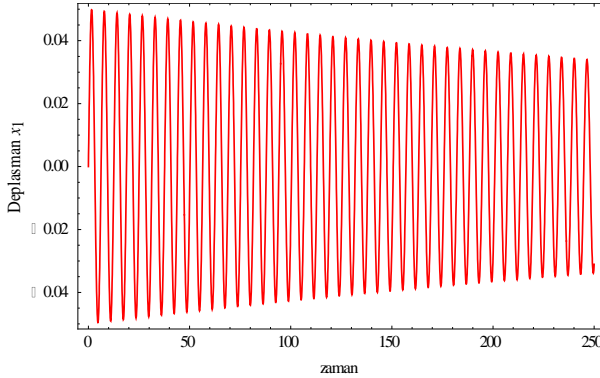
Şekil 2.  $E_{NES, \infty}$ 'nin  $a_0$  impuls büyüklüğüne göre değişimi

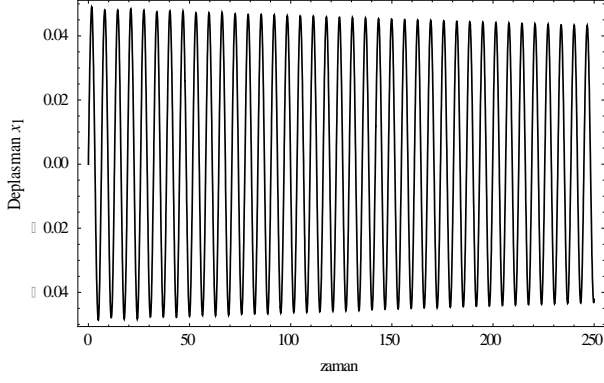


Şekil 2’de, başlangıç impulsif enerjinin %97’sinin dağıtıldığı orta enerji seviyelerinde NES’in çok etkili olduğunu görülmektedir. İyi tanımlanmış bir başlangıç enerji eşik değerinin altında NES tarafından önemli bir enerji dağıtımını gerçekleştirilemez.

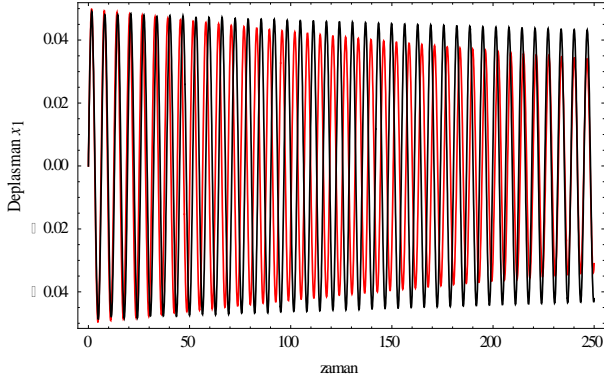
Burada, Şekil 2’de belirtilen enerji seviyeleri göz önüne alınarak iki serbestlik dereceli sistemin geçiş çözümleri elde edilerek NES ve TVA karşılaştırmaları yapılmıştır. Öncelikle düşük enerji seviyesi ( $a_0=0.05$ ) ele alınarak NES ve TVA karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 3’te görüldüğü üzere ana sistemin genliklerinde azda olsa sönümlenme söz konusudur. Bu enerji düzeyinde, NES’in TVA’ya göre daha iyi enerji sönümlediği görülmektedir.

Şekil 4’de; orta enerji düzeyi ( $a_0=0.12$ ) ele alınmıştır. Orta enerji düzeyinde, NES’in enerji sönümlenmesi düşük enerji seviyesine göre çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4a) Ancak, TVA’nın enerji sönümlenmesi neredeyse aynı kalmıştır (Şekil 4b). Şekil 4c’de NES ve TVA’nın enerji sönümlenmeleri karşılaştırılmış ve NES’in TVA’ya göre ana sistemin titreşim enerjisini mükemmel sönümlediği görülmüştür.



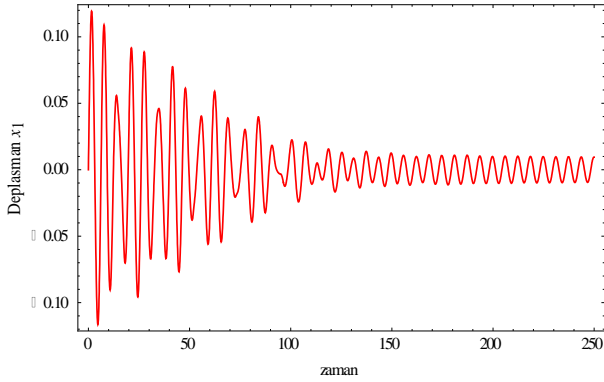


(b)

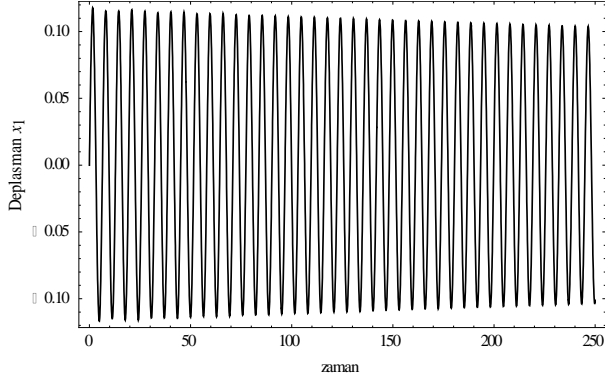


(c)

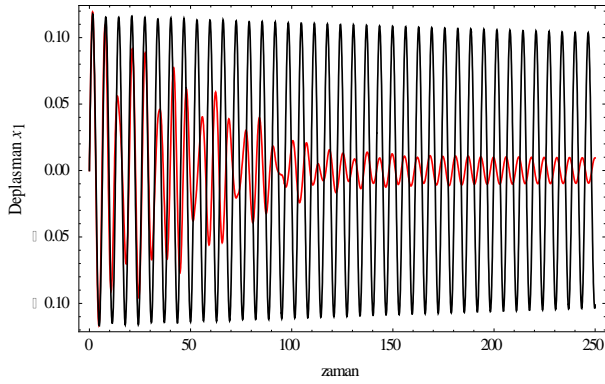
**Şekil 3.** İki serbestlik dereceli sistemin geçiş çözümleri (düşük enerji düzeyi;  $a_0=0.05$ ) a) NES bağlı ana sistemin deplasmanı; b) TVA bağlı ana sistemin deplasmanı; c) NES ve TVA bağlı ana sistemin deplasmanları



(a)



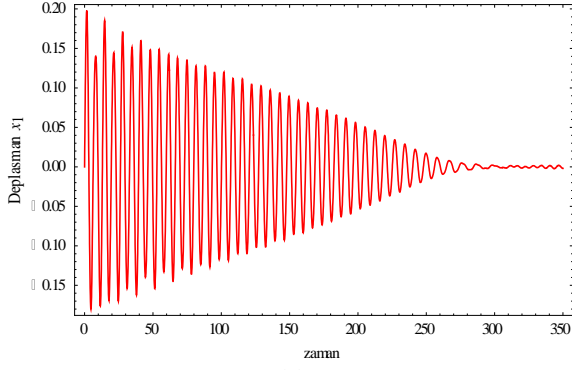
(b)



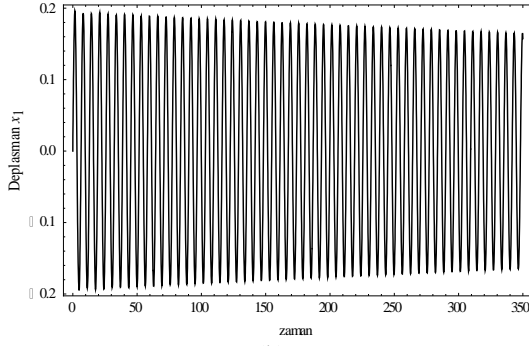
(c)

**Şekil 4.** İki serbestlik dereceli sistemin geçiş çözümleri (orta enerji düzeyi;  $a_0=0.12$ ) a) NES bağlı ana sistemin deplasmanı; b) TVA bağlı ana sistemin deplasmanı; c) NES ve TVA bağlı ana sistemin deplasmanları

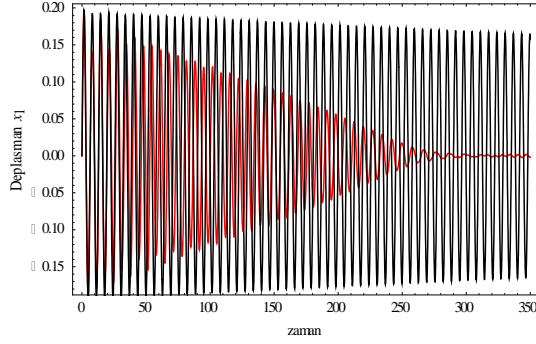
Şekil 5’de, orta enerji düzeyinde, başlangıç impuls değeri biraz daha artırılarak ( $a_0=0.2$ ) geçici dinamik davranışlar incelenmiştir. NES’in TVA sönümlemesine göre çok daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak Şekil 4’deki NES sönümlemesine göre sönümleme süresinin uzadığı tespit edilmiştir.



(a)

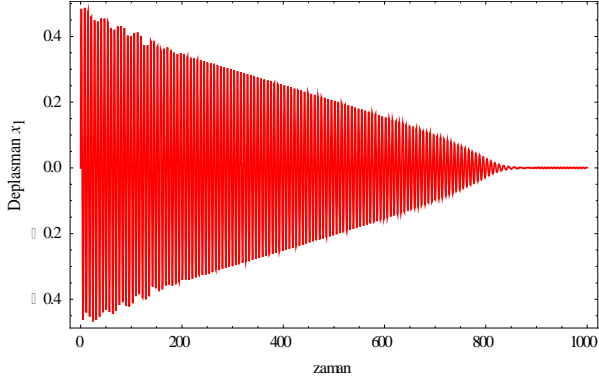


(b)

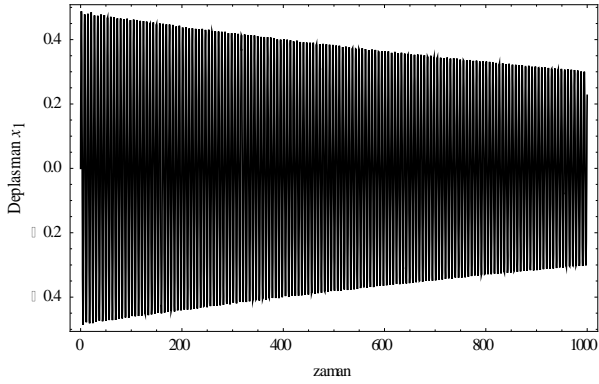


(c)

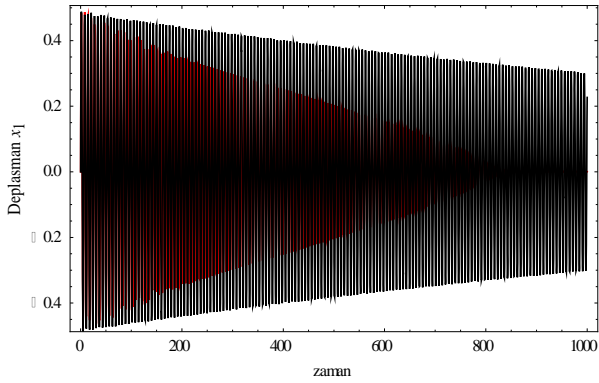
**Şekil 5.** İki serbestlik dereceli sistemin geçiş çözümleri (orta enerji düzeyi;  $a_0=0.2$ )  
a) NES bağlı ana sistemin deplasmanı; b) TVA bağlı ana sistemin deplasmanı; c)  
NES ve TVA bağlı ana sistemin deplasmanları



(a)



(b)



(c)

**Şekil 6.** İki serbestlik dereceli sistemin geçiş çözümleri (yüksek enerji düzeyi;  $a_0=0.5$ ) a) NES bağlı ana sistemin deplasmanı; b) TVA bağlı ana sistemin deplasmanı; c) NES ve TVA bağlı ana sistemin deplasmanları

Yüksek enerji düzeyinde ( $a_0=0.5$ , Şekil 6), ana sistemin geçiş çözümlerinde niteliksel bir değişme gözlemlenmemiştir. Bir önceki simülasyona göre daha yavaş sönümleme elde edilmiştir.

## **Sonuç ve Öneriler**

Dinamik bir ana sistemin titreşiminin azaltılmasını pasif olarak kontrol etmek amacıyla TVA ve NES yutucuları arasında aynı koşullarda objektif bir karşılaştırma yapılmıştır. Sistemin geçiş çözümleri sayısal analiz ile elde edilmiştir. Düşük, orta ve yüksek enerji düzeylerinde dört farklı başlangıç impuls değeri alınarak çözümler elde edilmiştir. En iyi sönümlemenin orta enerji düzeyinde gerçekleştirildiği görülmüştür. Yapılan karşılaştırmalarda, NES sistemlerinin TVA sistemlerine göre daha iyi titreşim enerjisini absorbe ettiği gözlemlenmiştir.

## **Kaynaklar**

- T Asami and O Nishihara, (2003). Closed-form exact solution to  $\infty$  optimization of dynamic vibration absorbers (application to different transfer functions and damping systems). *Journal of vibration and acoustics*, 125(3):398–405.
- H Frahm, (1909). Device for damping vibrations of bodies. US Pat.989958.
- JP Den Hartog, (1985). *Mechanical vibrations*. Courier Corporation.
- Zuo,L. and Nayfeh ,S., (2004). Minimax optimization of multidegree-of-freedom tuned-mass dampers. *J.SoundVibr.*,272(3–5),893–908.
- Krenk, S., (2005). Frequency analysis of the tuned massdamper. *Trans.ASME,J.Appl.Mech.*,72,936–942.
- El-Khatib, H., Mace, B., and Brennan, M., (2005). Suppresion of bending waves in a beam using a tuned vibration absorber.*J.SoundVibr.*,288,1157–1175.
- Zuo, L. and Nayfeh, S. , (2006). The two-degree-of-freedom tuned-mass damper for suppression of single-mode vibration under random and harmonic excitation. *Trans.ASME,J.Vibr.Acoust*,128,56–65.
- Roberson, R., (1952). Synthesis of a nonlinear dynamic vibration absorber.*J.Franklin Inst.*,254,205–220.

- Y Starosvetsky and OV Gendelman, (2008). Attractors of harmonically forced linear oscillator with attached nonlinear energy sink. ii: Optimization of a nonlinear vibration absorber. *Nonlinear Dynamics*, 51(1-2):47–57.
- Y.S. Lee, A.F. Vakakis, L.A. Bergman, D.M. McFarland, G. Kerschen, F. Nucera, S. Tsakirtzis, P.N. Panagopoulos, (2008). Passive nonlinear targeted energy transfer and its applications to vibration absorption: a review, *Proc. IMechE Part K: J. Multi-body Dyn.* 222 (2) 77-134.
- A.F. Vakakis, O.V. Gendelman, L.A. Bergman, et al. , (2009). *Nonlinear Targeted Energy Transfer in Mechanical and Structural Systems*, Springer, Netherlands.
- M. Parseh, M. Dardel, M.H. Ghasemi, (2015). Performance comparison of nonlinear energy sink and linear tuned mass damper in steady-state dynamics of a linear beam, *Nonlinear Dyn.* 81 (4) 1981-2002.
- Y.-W. Zhang, Z. Zhang, L.-Q. Chen, T.-Z. Yang, B. Fang, J. Zang, (2015). Impulse-induced vibration suppression of an axially moving beam with parallel nonlinear energy sinks, *Nonlinear Dyn.* 82 61-71.
- M. Parseh, M. Dardel, M.H. Ghasemi, (2016). M.H. Pashaei, Steady state dynamics of a non-linear beam coupled to a non-linear energy sink, *Int. J. Non Lin. Mech.* 79 48-65.

# AKILLI TARIM UYGULAMALARI İÇİN KULLANILAN BİR MOBİL ROBOTUN TASARIMI VE ANALİZİ

Alican KAZMACI\* & Mehmet Hakan DEMİR\*\*

\* *Yüksek Lisans Öğrencisi, Makine Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, alicankazmaci@gmail.com*

\*\* *Dr. Öğretim Üyesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, mhakan.demir@iste.edu.tr*

**Özet:** Zirai robotlar son yıllarda, sanayi 4.0 da gelişmesiyle birlikte, tarım uygulamalarında oldukça fazla kullanılmaktadır. Dijital algılayıcılarla donatılmış tarım aletleri ve onları destekleyen mobil uygulamalar, çiftçilere alan seçimi, kullanılacak gübre seçimi, hava koşullarına göre bitkilerin ihtiyacı olan su miktarı, toprağın durumunu, tahmini hasat zamanı ve miktarını belirleme ve önceden öğrenmesine olanak sağlamaktadır. Böylece, tarım alanlarında çalışacak olan tarım robotları sayesinde maddi, çevresel ve zaman olarak oldukça fazla avantajlar sağlanmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmada tarım sektöründeki tohumlama işleminin ve bununla ilgili diğer bağlantılı faaliyetlerin tek bir zirai makinede toplanıp otomasyon ve sanayi 4.0 sistemine entegre edilmesini sağlayan bir mobil tarım robotu dizaynı yapılmıştır. Yapılan tasarım ile robotun genellikle engebeli olan arazi şartlarına uyum sağlayabilmesi üzerinde durulmuş olup kazı, tohumlama ve sulama alt sistemlerine sahip olan mobil robotun statik, dinamik ve kinematik analizleri ile çevresel şartlara uyumlu, dayanıklı ve verilen görevleri yerine getirebilecek en uygun tasarım geliştirilmiştir. Yapılan analizlerde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış olup yapılan dinamik ve statik analizler ile robotun malzeme ve tasarım özellikleri belirlenmiştir. Ek olarak tasarımı yapılan tarım robotunun ulaşması gereken optimum hızlar dikkate alınarak kullanılacak motorların teknik özellikleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Mobil Robot, Akıllı Tarım, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Statik-Dinamik Analiz*

## Giriş

İnsanoğlunun yerleşik hayata geçtiği günden itibaren yaşamının merkezini tarım oluşturmaktadır. Günlük hayat şartları tarım odaklı gelişmektedir. Tekerleğin icadı, sanayi devrimleri ve teknolojinin gelişmesinden direkt olarak etkilenen tarım sektörü, günümüzde insan nüfusunun hızla artması karşısında yetersiz kalmaya başlamıştır. 18. Yüzyıla kadar tarım arazileri toprakta yetersiz besin olmasından dolayı nadasa bırakılıyor, sürekli ekim



yapılamıyordu. Şalgam ekiminin ön plana çıkması ve sonrasında dörtlü ekim yöntemi ile tarımda bir sıçrama yakalanmıştır. 1980'lerden itibaren geleneksel tarım yöntemleri yerine hassas tarım yöntemleri üzerine çalışmalar hız kazanmıştır.

Tarımda hayvan gücünden yararlanılmaya saban kullanımı ile M.Ö. 4000'lerde başladığı bilinmektedir. Sabanı daha sonra ağır saban, pulluk, tohum ekme, harman makineleri ve oraklar gelişim sürecini takip etti. 1892'de benzin ile çalışan ilk traktörün üretilmesi ile tarım makineleri hızlı bir şekilde motorla çalışan araçlara dönüştüler.

Makineleşme ve tarım konusunda yapılan araştırmalar sonucunda verimdeki artışlar tarım insanlarını makine kullanımına yönlendirmiştir. Endüstri devrimleri ile her seferinde daha fazla modernleşen tarım makineleri endüstri 3.0 ile bir traktör ile birkaç işlem yapabilen makinelere dönüşmüşlerdir. Endüstri 4.0 ile ise bu makineler artık tamamen otonom olarak hareket edebilen ve işlevlerini yerine getirebilen makinelere dönüşmüşlerdir. Bu konuyu temel alarak literatürde dijital tarım kavramı ortaya çıkmıştır.

Dijital tarım, meşakkatli işlemlerden sürekli otomatik işlemlere geçiş için algılayıcılar, robotik ve veri analizi gibi modern teknolojilerin uygulamasıdır. Modern çiftliklerin, işgücüne daha az bağımlı olan sürdürülebilir bir şekilde düşük maliyetlerle daha yüksek kalitede daha fazla ürün üretmesi beklenmektedir. Dijital tarım ve sahaya özgü hassas yönetimin uygulanması, yalnızca algılayıcı teknolojisine değil, tarımsal robotların uygun şekilde kullanılmasıyla mümkün olan saha verilerinin sürekli toplanmasına bağlı olan bu beklentiye verilen yanıtların bazılarıdır. Tarım bilim adamları, çiftçiler ve yetiştiriciler de 2050'de tahmin edilen 9,8 milyar nüfusun taleplerini karşılamak için daha az topraktan daha fazla gıda üretme zorluğuyla karşı karşıya kalacağını vurgulamaktadırlar (King, 2017). Dijital araçların, algılayıcıların ve kontrol teknolojilerinin entegrasyonu, tarımsal robotik tasarım ve gelişmelerini hızlandırarak modern tarımda önemli potansiyel ve faydaları ortaya koymaktadır. Bu gelişmeler, doğru ve ayrıntılı zamansal ve uzaysal bilgileri zamanında toplayarak bitkileri ve tarlaları dijitalleştirmekten, robot navigasyonu için karmaşık doğrusal olmayan kontrol görevlerini yerine getirmeye kadar uzanmaktadır. Örnek olarak, sıra bitkilerinde ve meyve bahçelerinde çalışmak için yerel ve küresel algılayıcılarla donatılmış otonom traktörler ve tarım makineleri kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Bu sebeple tarımsal alan robotları ve manipülatörleri, dijital tarımın (Wolfert vd., 2017) ve hassas tarımın (Chlingaryan vd., 2018) farklı

yönlerinde önemli bir parçası haline gelmiştir. Teknoloji, robotik ve kontrol teorisindeki gelişmelerle birlikte, bu robotların dijital tarımdaki uygulamaları otomasyona olan ilginin arttığını, geleneksel saha aktivistlerinin yatırımcıları, profesyonel mühendisleri ve şirketleri çeken yüksek teknoloji endüstriyel görevlere dönüştürdüğünü göstermiştir. Tarımsal alanlarda kullanılan bu robotlar genel olarak ekin izleme (Bechar ve Vigneault, 2016), haşere ve yabancı ot kontrolü (Oberti vd., 2016), hasat (Longo ve Muscato, 2013), hedeflenen ilaçlama (Gonzalez-de-Soto, 2016), budama (Ishigure vd., 2013), sağım (Drach vd., 2017), fenotipleme (Zhang vd., 2016) ve sıralama (Comba vd., 2016) vb. görevleri yerine getirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu tip tarım araçlarının sahip oldukları boyut, tekerlek yapısı, motorlar ve izlenilebilen mobil sistemlerini de içerisine alan mekanik, elektrik-elektronik ve yazılım tasarımlarının da yukarıda belirtilen tarımsal görevlerin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Tasarımların göreve özel geliştirilmesi sayesinde büyük tarım makinelerine kıyasla arazi ortamlarında hareket kabiliyetlerinin fazla olması, daha hızlı hareket etme, detaylara ince becerisinin fazla olması gibi birçok avantaja sahip olurlar. Ancak bir çok avantajının yanında engebeli bir arazi yapısı ve eğimli bir yüzeyde araçların tekerleklerinin yüzey ile teması sonucunda oluşan kayma dezavantajları aracın hareketini kısıtlayan ve kontrolünü zorlaştıran unsurlar olarak ön plana çıkmakta ve araçların performans kabiliyetinin arttırılabilmesi ve istenilen hassasiyetin sağlanabilmesi için tüm bu dezavantajlar üzerinde kapsamlı çalışmalar devam etmektedir (Eaton vd., 2009, Matveev vd., 2010).

Bu çalışmada akıllı bir tarım robotunun mekanik tasarımı ve istenilen hareketleri yapması için gerekli motor seçimi üzerinde durulmuştur. Mekanik tasarımı yapılan mobil robotun daha sonra dinamik ve statik analizleri yapılmıştır. Yükler altındaki dayanımı incelenen robotun daha sonra istenilen ideal hızlara bağlı olarak gerekli toplam güç ve belirlenen sayıdaki motor başına düşen motor gücü hesaplanmıştır.

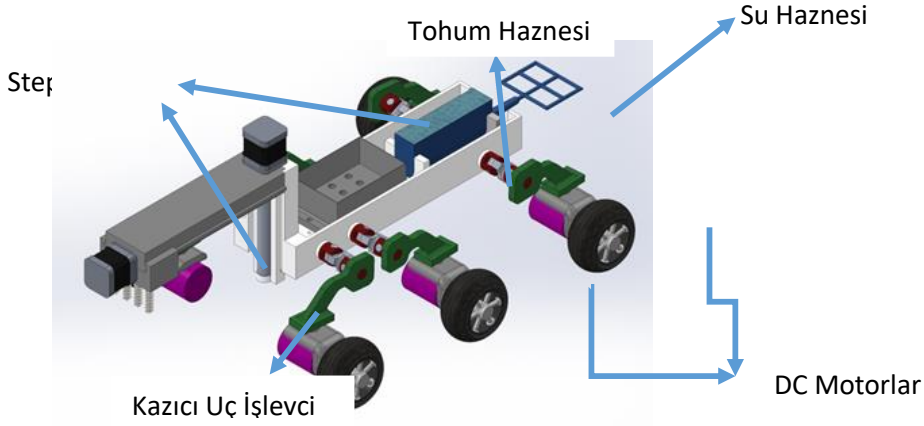
## **Yöntem**

Tasarımı gerçekleştirilen tarım robotunun hayata geçirilmesi için öncelikle makinenin çalışacağı koşulların iyi belirlenmesi ve yapılacak olan faaliyetlerin iyi tayin edilmesi gerekmektedir. Eğimli ve kaygan yüzeyde çalışma, dar alanlarda çalışma ve hassas çalışma vb. koşulları sağlaması beklenen robotun mekanik tasarımı bu kriterler bütünü göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Mekanik tasarım genel olarak ana gövde, tekerlekler, bir uç işlevci ve manipülatörden oluşmaktadır. Manipülatörün tasarımında görev, ekonomik verimlilik ve gerekli hareketler dahil olmak üzere çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak uç işlevcinin belirli bölgelere ulaşımı için yönlendirme kolu görevini yapmasıdır. Uç işlevci tasarımı ise üzerine düşen işlemin hassas bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

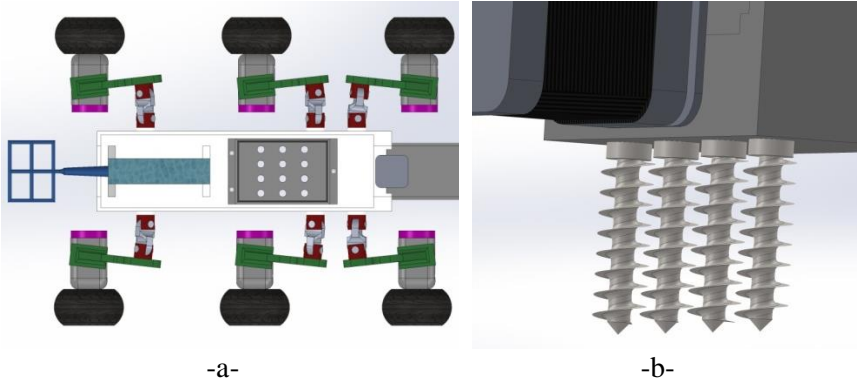
Bu çalışma kapsamında tasarlanan mobil tarım robotu tohum ekimi ve sulama işlemini gerçekleştirecektir. Diğer ek işlemleri yapması için eklemeler ilerleyen çalışmalar doğrultusunda robotun tasarımı geliştirilerek yapılması planlanmaktadır. Tasarımı yapılan sistem altı adet tekerlekten oluşmakta olup bu altı adet tekerleği tahrik edecek altı adet DC Motor içermektedir. Tekerlekler zorlu arazi koşullarında hareketi sağlayacak şekilde seçilmiş ve robotun yerden olabildiğince yüksek olması için tekerleklerin ana gövdeye bağlanması için ek aparatlar tasarlanmıştır. Ayrıca manipülatör ve uç işlevcinin hareketini sağlayacak 2 adet step motor bulunmakta ve böylece robotun manipülatör olarak tasarlanmış kısmının daha hassas hareketler yapması sağlanmıştır. Robotun ana gövdesinde hem ekimi yapılacak tohumların hem de sulama esnasında kullanılacak suyun depolandığı hazneler bulunmaktadır. Robotun tohum ekimi işlemi sırasında kazı işlemini gerçekleştirmesi kazıcı sistem tasarımı yapılmıştır. Dört adet helisel kazıcının bulunduğu robot uç işlevcisinde bu kazıcıların toprak içerisine doğru döndürülerek kazma işlevi gerçekleştirilmektedir. Kazma işlemi gerçekleştirildikten sonra robot hareketine devam etmekte ve robotun ileri ilerleyişine bağlı olarak ilk sırada gelecek olan tohum haznesinden kazılan alanlara tohum bırakımı sağlanmaktadır. Tohum bırakımı gerçekleştirdikten sonra ise robot ilerlemeye devam etmekte ve bu ilerleyişle kapatılan kazı alanı depolama haznesindeki su ile sulanarak tohum ekim işlemi tamamlanmış olmaktadır. Bu süreç döngüler şeklinde ekimi yapılacak alan, tohum ve kullanıcı isteğine bağlı olarak belirli aralıklarla devam etmektedir. Bahsi geçen robotun nihai tasarımı Şekil 1’de ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Detayları verilen robotun şekilde gösterildiği şekilde nihai tasarımına karar verilmiş olup mobil robotun boyutları 314,18 x 826 x 110 mm olarak belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan robotun detaylarını içeren tasarım görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. Şekil 2.a’da tasarımın üstten görünüşü verilmekte ve robotun iç tasarımının ayrıntılarının detayları net olarak görülmektedir.



Şekil 1: Mobil tarım robotunun nihai tasarımı

Şekil 2.b’de ise tasarımı yapılan helisel uç işlevci ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Üzerindeki step motor vasıtasıyla dönmesi sağlanan uç işlevci toprak kazım işleminin daha kolay bir şekilde gerçekleşmesi için helisel bir şekilde seçilmiştir.



Şekil 2: a) Robotun üstten görünüşü b) Kazı sistemi tasarımı

Tasarımı yapılan robot önceden de belirtildiği gibi yapısal olarak ana gövde, depolama hazneleri, sulama sistemi, motorlar, kazıcı sistem ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Tablo 1’de robotun bu ana yapısal elemanlarının malzemeleri ve malzeme özellikleri detaylı olarak verilmiştir. Her bir parçanın malzemeleri parçaların hafiflik ve dayanım özelliklerine göre belirlenmiştir. Robotun mümkün olduğunca gövdesinin hafif olması gereksinimi motorların seçimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durumda dikkate mobil tarım robotunun parçalarının malzemeleri parça özelinde hafiflik ve dayanıklılık özelliklerini

sağlayacak şekilde seçilmiştir. Bu sebeple seçilen malzemelerin yoğunlukları ağırlık açısından elastisite modülü ve akma mukavemeti parametrelerinin değerleri de dayanıklılık açısından büyük önem taşımaktadır.

Tablo 1’de verilen teknik özellikler dikkate alındığında 314,18 x 826 x 110 mm boyutlarında tasarımı gerçekleştirilen robotun toplam ağırlığı 6.5 kg olarak hesaplanmıştır. Bu ağırlığın robotun faaliyetlerini gerçekleştirilmesi için ideal bir ağırlık olduğu aynı amaçla üretilen diğer robotlar ile karşılaştırıldığında görülmektedir.

Tablo 1: Robot parçalarının malzeme seçimi ve malzeme özellikleri

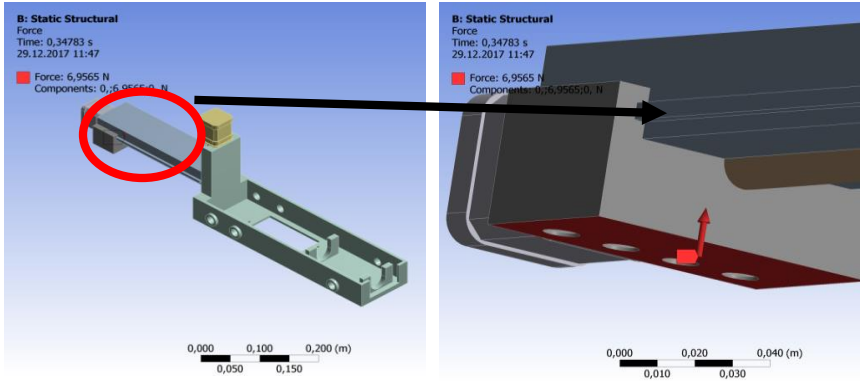
Parça adı	Malzeme	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	Elastikiyet Modülü ( $N/m^2$ )	Akma Mukavemeti ( $N/m^2$ )
*Şase	Polietilen çapraz bağlı	950	$6e + 008$	$66 e + 06$
*15 yatay mil *20 dikey mil *Sulama sistemi Serbest mafsalsal	1060 Alaşım	2700	$6.9e + 010$	$2.75742 + e007$
*Lineer kayıcı *Lineer kol *Tohum haznesi *Motor üst kol *Teker ve motor tutucu	POM Asetal Kopolimer	1390	$2.6e + 009$	$7e + 07$
*DC Motor	1345 Alaşım	2700	$6.9e + 010$	$2.75742e + 007$
*Kazıcı sistem	Sade Karbon Çeliği	7800	$2.1 e + 011$	$2.2 e + 07$
*Step motor	2219-T81	2800	$7.2e + 010$	$35e + 07$

### Statik Analiz

Yapılar veya sistemler kullanıldıkları süre boyunca çeşitli kuvvetlere veya darbelerle maruz kalırlar. Bu kuvvet ve darbeler sonucunda yapıda bazı bozulmalar görülebilir. Bu bozulmaları daha önceden tespit edip engellemek için statik analizler yapılmaktadır. Statik analiz kısaca analiz edeceğimiz yapıların ya da sistemlerin üzerlerine gelen durağan yüklerin

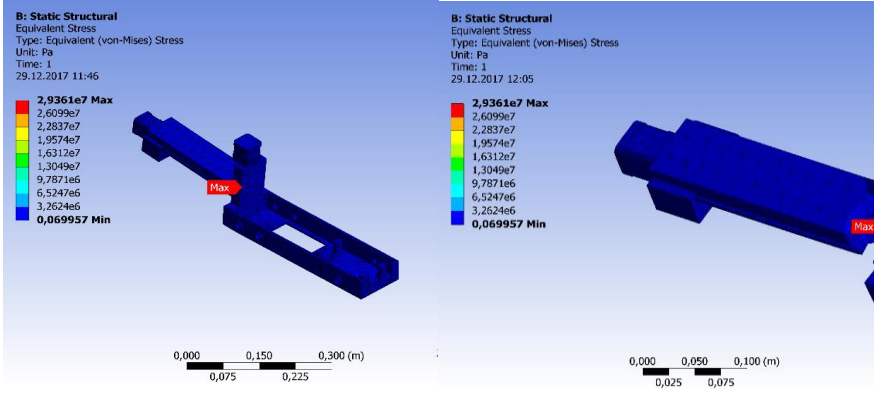
ve kısıtlamaların anlık olarak analiz edilmesi olarak ta tanımlanabilir ve statik analiz zamana bağlı olarak yapılmamaktadır. Sistemlere yapılan statik analiz ile bütün sistemin ya da parçanın karşı koyabileceği yükleme miktarları, sistemin ana konstrüksiyonunun güvenliği ve emniyet katsayısının belirlenmesi, sistemin yüklemeler doğrultusunda yaptığı sehim miktarlarını ve sistem üzerindeki eşdeğer, minimum ve maksimum gerilmelerin tespitleri yapılabilmektedir. Bu amaçla tasarladığımız mobil tarım robotunun statik analizinin yapılması robotun çalışması sırasında karşılaşılabileceği yükleme durumlarında parçaların ve tüm sistemin çalışmasının önceden garanti altına alınması için önemli hale gelmektedir.

Sistem üzerindeki tüm parçaların ve genel olarak sistemin boyutları tasarım aşamasında belirlenmiştir. Bu bilgileri ve Tablo 1’de verilen parçaların malzemeleri ve malzeme özellikleri birlikte kullanılarak 15 mil, 20 mil, lineer kol, lineer kayıcı ve stepmotorlardan oluşan şase ve manipülör kol sistemi için statik analiz testleri yapılmıştır. Şekil 3’te analiz programına aktarılmış parça ve 20 N büyüklüğüne sahip kuvvetin uygulama yeri görülmektedir. Bu yönde 20 N’luk bir kuvvetin uygulanmasının nedeni toprak kazım işlemi sırasında kazıcı takımlar üzerinde oluşması tahmin edilen ve manipülör kısmına iletilecek kuvvetin bu değere yakın olacağını düşünülmesidir.



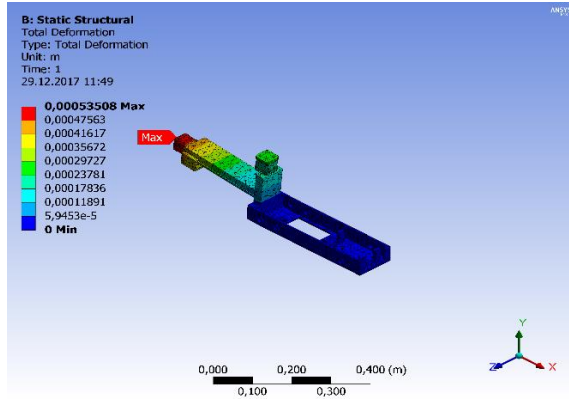
Şekil 3: Statik analiz için ele alınan parça ve uygulanan kuvvet

Yapılan simülasyonlar sonucunda uygulanan kuvvet doğrultusunda parça üzerinde ortaya çıkan eşdeğer gerilmeler Şekil 4’te detaylı olarak verilmiştir. Simülasyonlarda analiz için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır.



Şekil 4: Parça üzerinde oluşan eşdeğer gerilmeler

Şekil 4'te görüldüğü üzere 20 N tepki kuvveti altında 92 mm yükseklikteki lineer kol üzerindeki 15 mil ve 20 mil parçalarında oluşan maksimum gerilme  $2.9 \times 10^7$  Pa ve maksimum gerilmenin yeri ise manipülâtörün ana gövde ile birleşme yerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde parçanın bu bölgesinin bu durum göz önüne alınarak üretilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5: Kuvvet etkisi altında parça üzerinde oluşan deformasyonlar

Bu aşamadan sonra aynı kuvvet etkisi altında parça üzerinde oluşan deformasyon analiz edilmiştir ve bu amaçla yapılan simülasyon sonuçları Şekil 5'te görülmektedir. Parçanın manipülâtör kısmında 20 N'luk yük altında 92 mm yükseklikte maksimum  $5 \times 10^{-4}$  mm yer değiştirme olduğu gözlemlenmektedir. Bu deformasyon değerlerinin makul seviyelerde olduğu belirlenmiş olup yapılan tasarımın tohum ekimi sırasında oluşan yüklere dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

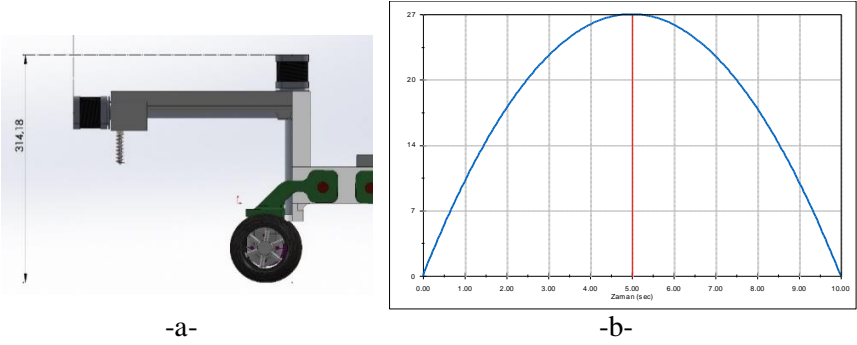
## Dinamik Analiz

Statik analiz yüklerin durağan olarak ya da yavaş yavaş uygulandığı bir analiz türüdür. Fakat günlük yaşamda yükler yapıya yavaş yavaş uygulanmazlar. Zamana bağlı olarak ya da belirli bir frekans değerine göre değişirler. Değişken bu durumlarda daha doğru kararlar almak için yapıya dinamik analiz yapılması gerekmektedir. Sistem üzerinde yapılan dinamik analiz ile sistemin hasara uğrayacağı sürenin belirlenmesi, sistemin zamanla değişen yüklemeye karşı sistemin verdiği cevabının belirlenmesi ve sistemin doğal frekansının belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu sebeple bir önceki bölümde statik analizi yapılan parça için dinamik analiz gerçekleştirilmiştir.

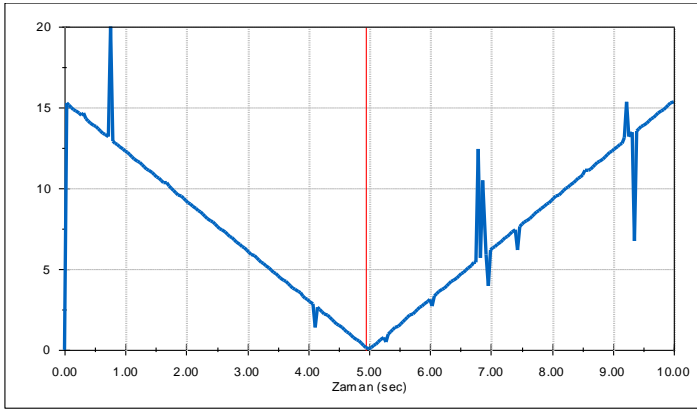
Ele alınan parçada tohum ekimi için kazma işlemi sırasında titreşimler oluşmaktadır. Bu titreşimlerin frekanslarının değerleri makinenin düzenli çalışması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu titreşimler kimi zaman sadece izleyende rahatsızlığa neden olur ama bazen de bir makinenin arızalanmasına neden olmaktadır. Bu durumdan rezonans kavramı ön plana çıkmaktadır. Bir cismin doğal frekansı ile çakışan bir frekansta uyarılması ile ortaya çıkan fiziksel olay olan rezonans parça üzerinde kararsız titreşimlerin oluşmasına neden olmaktadır ve mümkün olduğunca bu frekans değerlerinden uzak kalınması gerekmektedir. Bu sebeple ele alınan parça için doğal frekans analizi yapılarak doğal frekansı belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda Tablo 1'de belirtilen malzeme özellikleri kabul edildiğinde parçanın doğal frekansı 36,933 Hz olarak tespit edilmiştir. Bu frekanslara yakın çalışmamak robotun seyri ve hem tüm sistemin hem de gövdeye bağlı parçaların ömrü açısından önemlidir.

Ek olarak Şekil 6.a'da görülen gibi yan görünüş dikkate alındığında X ekseninde (yatay eksen) hareket edecek olan ele alınan parça lineer kayıcı vasıtasıyla başlangıç konumundan 10 saniyede gidebileceği +x yönünde 180 mm öteleyebilmek için gerekli olan maksimum hızı ve ivmesi bulunmuştur. Parçanın +x yönündeki hareketi sırasında belirlenen özellikler doğrultusunda meydana gelen hız ve ivmesinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 6.b ve Şekil 7'de görülmektedir.





Şekil 6: a) Parçanın yandan görünüşü b) Parçanın +x yönündeki hareketi boyunca hız-zaman grafiği



Şekil 7: Parçanın +x yönündeki hareketi boyunca ivme-zaman grafiği

Şekillerden görüldüğü üzere belirtilen hareketin gerçekleştirilmesi için gerekli maksimum hız ve ivme değerleri sırasıyla  $v_1 = 0.027 \text{ m/s}$  ve  $a_1 = 0.02 \text{ m/s}^2$  olarak belirlenmiştir. Yatay hareket yapacak parçanın kütlesi Tablo 1 deki malzeme özellikleri dikkate alındığında  $m_1 = 27 \times 10^{-3} \text{ kg}$  olarak hesaplanmaktadır. Parçanın bahsi geçen +x yönündeki hareketi için gerekli olan kuvvet ve buna bağlı olarak gerekli olan güç aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$F_1 = m_1 * a_1 = 27 \times 10^{-3} * 0.02 = 0.57 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (1)$$

$$P_1 = F_1 * v_1 = 0.57 \times 10^{-3} * 0.027 = 0.014 \times 10^{-3} \text{ W} \quad (2)$$

Ek olarak Şekil 6.a'da görülen yan görünüş dikkate alındığında Y ekseninde (düşey eksen) hareket edecek olan lineer kol parçanın başlangıç  $Y = 0$  konumundan 10 saniyede gidebileceği +Y yönünde 130 mm öteleyebilmek için gerekli olan maksimum hızı ve ivmesi belirlenmiştir. Parçanın +y yönündeki hareketi sırasında belirlenen

özellikler doğrultusunda meydana gelen hız ve ivmesinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 8.a ve Şekil 8.b'de görülmektedir.

Şekil 8'den görüldüğü üzere belirtilen hareketin gerçekleştirilmesi için gerekli maksimum hız ve ivme değerleri sırasıyla  $v_2 = 0.020 \text{ m/s}$  ve  $a_2 = 0.011 \text{ m/s}^2$  olarak belirlenmiştir. Düşey hareket yapacak parçanın kütlesi Tablo 1 deki malzeme özellikleri dikkate alındığında  $m_2 = 0.71 \text{ kg}$  olarak hesaplanmaktadır. Parçanın bahsi geçen +y yönündeki hareketi için gerekli olan kuvvet ve buna bağlı olarak gerekli olan güç;

$$F_2 = m_2 * a_2 = 0.71 * 0.011 = 7.81 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (3)$$

$$P_2 = F_2 * v_2 = 7.81 \times 10^{-3} * 0.020 = 0.15 \times 10^{-3} \text{ W} \quad (4)$$

olarak elde edilir.

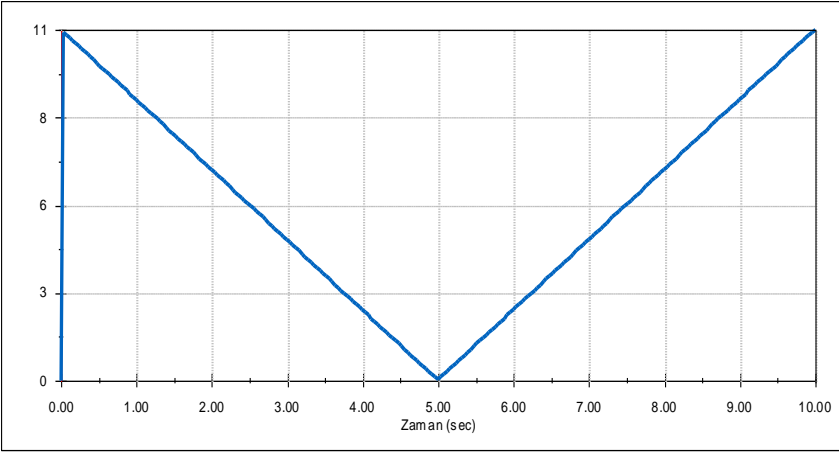
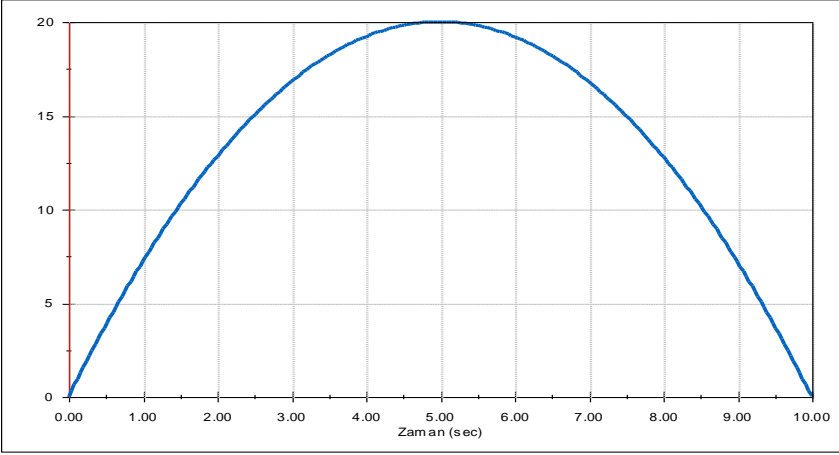
Elde edilen bu güç değerlerine göre tasarlanan mobil tarım robotunun motor güçleri belirlenmiştir. Bütün sistemin kütlelerinin 6,5 kg olduğu Tablo 1 deki malzeme özelliklerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Sistemin maksimum hızı ( $v_{max}$ ), literatürde bulunan çalışmalara bağlı olarak 5 km/h (1,38 m/s) olarak belirlenmiştir. Bu durumda maksimum güç;

$$F_{max} = m_T * a_{max} = 6.5 * 9.81 = 63.76 \text{ N} \quad (3)$$

$$P_{max} = F_{max} * v_{max} = 63.76 * 1.38 = 87.99 \text{ W} \quad (4)$$

olarak elde edilir.

Sistem genel hareketinin sağlayacak toplamda 6 motorlu bir tasarım yapıldığı için  $87.99/6 = 14,66 \text{ W}$  motor başına gereken güç olarak belirlenmiştir. Motor seçiminin bu değer dikkate alınarak yapılması ele alınan tasarımdan istenilen performansın alınması açısından büyük önem arz etmektedir.



Şekil 8: a) Parçanın +y yönündeki hareketi boyunca hız-zaman grafiği b) Parçanın +y yönündeki hareketi boyunca ivme-zaman grafiği

## Sonuç ve Öneriler

### Sonuç

Bu çalışmada tarım sektöründeki tohumlama işleminin ve bununla ilgili diğer bağlantılı faaliyetlerin tek bir zirai makinede entegre edilmesini sağlayan bir mobil tarım robotu dizaynı yapılmıştır. Yapılan tasarım ile çeşitli çevre şartlarına (kaygan ve engebeli yüzey vb.) sahip ortamlarda çalışabilecek ve kazı, tohumlama ve sulama alt sistemlerine sahip olan mobil robotun statik, dinamik ve kinematik analizleri üzerinde durulmuştur. Bu analizler ile çevresel şartlara uyumlu, dayanıklı ve verilen görevleri yerine getirebilecek en uygun tasarım geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarımın statik analizi ile ana gövde ve manipülâtörü birlikte ele alan

parçada toprağı kazı işleminde oluşması öngörülen bir yük altında oluşan eşdeğer gerilme değer değerleri ile meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir. Oluşan gerilmelerin ana gövde ile manipülatörün birleşme noktasında maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Parçada ele alınan yük altında oluşan tüm deformasyonların makul seviyede olduğu görülmüştür. Ayrıca robotun yatay ve düşey hareketi sırasında belirli bir görevi yine belirli bir zaman içerisinde yapması için gerekli maksimum hızlar ve ivmeler hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin ağırlığı ve hareket koşulları (maksimum hız) dikkate alınarak sistem tasarımında kullanılan ve sistemin hareketi sağlayan motorların maksimum ne kadar güce sahip olmaları gerektiği hesaplanmıştır. Bu veri bize motor seçiminde önemli bir bilgi sağlayacak olup gereğinden yüksek güçlü motorlar seçerek hem ağırlığı hem de maliyeti arttırmamızı engelleyecektir.

## **Öneriler**

İlerleyen aşamalarda tasarımı nihai sonuca bağlanan mobil tarım robotunun matematiksel modeli çıkarılacak ve teorik altyapısı zenginleştirilecektir. Ayrıca matematiksel model kullanılarak yapılacak simülasyonlar ile tasarımda geliştirmeler yapılacak ve mobil tarım robotunun üretimi gerçekleştirilecektir. Akıllı bir sistem olması planlanan robotun makine öğrenmesi ve yapay zeka teknikleri kullanılarak geliştirilmesi sağlanacaktır.

## **Kaynaklar**

Bechar, A.& Vigneault, C. (2016). Agricultural Robots for Field Operations: Concepts and Components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.

Chlingaryan, A., Sukkarieh, S. & Whelan, B. (2018). Machine Learning Approaches for Crop Yield Prediction and Nitrogen Status Estimation in Precision Agriculture: A Review. *Comput. Electron. Agric*, 151, 61–69.

Comba, L., Gay, P. & Ricauda Aimonino, D. (2016). Robot Ensembles for Grafting Herbaceous Crops. *Biosyst. Eng.*, 146, 227–239.

Drach, U., Halachmi, I., Pnini, T., Izhaki, I.& Degani, A. (2017). Automatic Herding Reduces Labour and Increases Milking Frequency in Robotic Milking. *Biosyst. Eng.*, 155, 134–141.

- Eaton, R., Katupitiya, J., Siew, K. W. & Siew, K. W. (2009). Robust Sliding Mode Control of an Agricultural Tractor Under the Influence of Slipe. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Singapore, 1873-1878.
- Gonzalez-de-Soto, M., Emmi, L., Perez-Ruiz, M., Aguera, J. & Gonzalez-de-Santos P. (2016). Autonomous Systems for Precise Spraying – Evaluation of a Robotised Patch Sprayer. Biosyst. Eng., 146, 165–182.
- Ishigure, Y., Hirai, K. & Kawasaki, H. (2013). A Pruning Robot with a Power-Saving Chainsaw Drive. in Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE International Conference on, 1223–1228.
- King A. (2017). Technology: The Future of Agriculture. Nature, 544, S21.
- Longo, D.&Muscato, G. (2013). Design and Simulation of Two Robotic Systems for Automatic Artichoke Harvesting. Robotics, 2(4),217–230.
- Matveev, A. S., Hoy, M, & Savkin, A. V. (2010). Mixed Nonlinear-Sliding Mode Control of an Unmanned Farm Tractor in the Presence of Sliding. 2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision, Singapore, 927-932.
- Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona E, et al. (2016). Selective Spraying of Grapevines for Disease Control Using a Modular Agricultural Robot. Biosyst. Eng, 146, 203–215.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. & Bogaardt, M J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. Agric. Syst., 153, 69–80.
- Zhang, C., Gao, H., Zhou, J., Cousins, A., Pumphrey, M. O. &Sankaran, S. (2016). 3D Robotic System Development for High-Throughput Crop Phenotyping. IFAC-PapersOnLine, 49(16), 242–247

# A COMPARATIVE STUDY ON CRASHWORTHINESS OPTIMIZATION OF VEHICLE BY USING STOCHASTIC METHODS

**Emin Burak GEZER\* & Levent AYDIN\*\* & Melih SAVRAN\*\*\***

**Ozan AYAKDAŞ\*\*\*\* & Nilay KÜÇÜKDOĞAN\*\*\***

**Savaş ÖZTÜRK\*\*\*\*\***

*\*Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering, Department of  
Mechanical Engineering*

*\*\* Izmir Katip Çelebi University, Department of Mechanical Engineering,  
levent.aydin@ikc.edu.tr*

*\*\*\* Izmir Katip Çelebi University, Department of Graduate School of Natural and  
Applied Sciences, mlhsvrn@gmail.com, kucukdogan.nilay@gmail.com*

*\*\*\*\* Izmir Institute of Technology, Department of Graduate School of Natural and  
Applied Sciences, ozanayakdas@gmail.com*

*\*\*\*\*\* Manisa Celal Bayar University, Department of Metallurgical and Material  
Science Engineering, savas.ozturk@cbu.edu.tr*

**Abstract:** In the present study, crashworthiness optimization of the vehicle body subjected to a frontal collision is considered. Experimental data used in this study are taken from another paper in which authors utilize meta-modelling with response surface methodology. The effect of the thickness of parts of the 1996 Dodge Neon vehicle at collision time on the amount of energy absorbed and peak acceleration is investigated. In order to optimize the thickness of vehicle parts successfully, (i) multiple linear and nonlinear regression analysis is conducted and (ii) the selected most suitable regression model is used as an objective function in the optimization process. In a single objective optimization process, energy absorption is maximized, and peak acceleration is minimized by using stochastic optimization methods such as Differential Evolution, Nelder Mead, Random Search, and Simulated Annealing. The present study shows that all proposed algorithms give the same results compared to each other used in this study in terms of energy absorption and peak acceleration.

**Keywords:** , crashworthiness optimization, frontal collision, response surface methodology, stainless steel, nonlinear regression

## Introduction

Every year 1.35 million people have died from vehicle crashes ("Road traffic injuries, "). Because of this, vehicle safety becomes more important, and research on vehicle crashworthiness has gained more attention in both academe and vehicle industry. Vehicle safety is closely related to the amount of energy absorbed by the vehicle before the impact wave reaches

the occupants. The role of traffic accidents in the injury and death of many people can't be ignored. The most critical parameter highlighted in the studies to minimize losses in traffic accidents is to increase the energy absorption for vehicle bodies. With increasing the energy absorption, it will be possible to decrease the impact force, which causes death. In the literature, many studies that have different methodologies can be found about this subject.

Redhe and Nilsson (Redhe & Nilsson, 2002) handled the vehicle crashworthiness problem. They aimed to reduce the total computing time needed to find an optimal solution by using space mapping technique and response surface methodology. Hamza and Saitou (Hamza & Saitou, 2005) studied the design and optimization of vehicle structures and developed a novel methodology optimizing energy absorption for crashworthiness using equivalent mechanism approximation. Dias and Pereira (Dias & Pereira, 2004) conducted a study to research the single and multi-criteria design methodologies for crashworthy structures. Deterministic and evolutionary algorithms are connected with simplified models based on multibody dynamics formulations and the parameters "accelerations, deformations, forces and energies" considered as design functions or design constraints. Youn et al (Youn, Choi, Yang, & Gu, 2004) proposed the Performance Measure Approach to obtain the reliability-based design for the crashworthiness of a large-scale vehicle side impact. Fang et al. (Fang, Rais-Rohani, Liu, & Horstemeyer, 2005) conducted a study to maximize energy absorption and to minimize peak acceleration for the vehicle body subjected to frontal collision by using response surface methodology. Yildiz and Solanki (Yildiz & Solanki, 2012) proposed a hybrid approach based on a particle swarm algorithm to solve the vehicle crashworthiness optimization problems. Pareto set of the solution obtained for full-frontal impact and side-impact scenarios.

In the present study, in order to maximize energy absorption and minimized peak acceleration of the vehicle subjected to the frontal collision, the optimum thickness of vehicle parts is specified by using the single-objective optimization approach. Four stochastic optimization methods are utilized, and the results are compared to each other.

## **Methods**

### Regression Analysis

While the simple and multiple linear regression functions are adequate for modeling a wide variety of relationships between the response variable and

predictor variables, many situations require non-linear functions. Certain types of nonlinear regression functions have served and will continue to serve as useful models for describing various physical and biological systems ("Regression analysis," 1999). Nonlinear regression is a form of regression analysis in which observational data are modeled by a function which is a nonlinear combination of the model parameters and depends on one or more independent variables

Here are some definitions before creating the non-linear regression model:

**SSE** or error sum of squares, which are the sum of the squared differences between each observation and its group's mean. It can be used as a measure of variation within a cluster. If all cases within a cluster are identical, the SSE would then be equal to 0. The formula for SSE is:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{fit})^2$$

Where  $n$  is the number of simulation or experiment

**SST** or the total sum of squares is a quantity that appears as part of a standard way of presenting results of such analyses. It is defined as being the sum, over all observations, of the squared differences of each observation from the overall mean. The formula for SST is:

$$SST = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2$$

**$R^2$**  (Coefficient of determination), it is an association between two quantitative variables. In regression, this technique involves estimating the best function to summarise the association. The value of  $R^2$  can range between 0 and 1, and the higher its value, the more accurate the regression model is. It is often referred to as a percentage. The formula for  $R^2$  is:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SSE}{SST} \right)$$

## Methodology

Constrained optimization problems are problems for which a function  $f(x)$  is to be minimized or maximized subject to constraints  $\Phi(x)$ . Here  $f: R^n \rightarrow R$  is called the objective function, and  $\Phi(x)$  is a Boolean-valued formula. In the Wolfram Language the constraints  $\Phi(x)$  can be an arbitrary Boolean combination of equations  $g(x)=0$ , weak inequalities  $g(x)\geq 0$ , strict inequalities  $g(x)>0$ , and  $x \in Z$  statements. The following notation will be used.



Min  $f(x)$

s.t.  $\Phi(x)$

stands for "minimize  $f(x)$  subject to constraints  $\Phi(x)$ ", and

Max  $f(x)$

s.t.  $\Phi(x)$

stands for "maximize  $f(x)$  subject to constraints  $\Phi(x)$ ".

You say a point  $u \in R^n$  satisfies the constraints  $\Phi$  if  $\Phi(u)$  is true.

The methods used to solve local and global optimization problems depend on specific problem types. Optimization problems can be categorized according to several criteria. Depending on the type of functions involved, there are linear and nonlinear (polynomial, algebraic, transcendental) optimization problems. If the constraints involve  $x \in Z$ , you have an integer and mixed integer-real optimization problems. Additionally, optimization algorithms can be divided into numeric and symbolic (exact) algorithms.

The constrained optimization problem for this article will be solved with Wolfram Mathematica Software. Wolfram Language functions for constrained optimization include Minimize, Maximize, NMinimize, and NMaximize for global constrained optimization, FindMinimum for local constrained optimization, and linear programming for efficient and direct access to linear programming methods.

For the present problem, we need to solve global numeric optimization with NMaximize and NMinimize function by trying all the methods for the best solution. The followings are the direct search methods which will be used in the current optimization problem

**Differential Evolution (DE)** is a method that optimizes a problem by iteratively trying to improve a candidate solution with regard to a given measure of quality. Such methods are commonly known as metaheuristics as they make few or no assumptions about the problem being optimized and can search vast spaces of candidate solutions. However, metaheuristics such as DE do not guarantee an optimal solution is ever found.

**Simulated Annealing (SA)** is a probabilistic technique for approximating the global optimum of a given function. Specifically, it is a metaheuristic to approximate global optimization in an ample search space.

**Nelder–Mead (NM)** is a commonly applied numerical method used to find the minimum or maximum of an objective function in a multidimensional space. It is applied to nonlinear optimization problems for which derivatives may not be known.

**Random search (RS)** is a family of numerical optimization methods that do not require the gradient of the problem to be optimized, and RS can

hence be used on functions that are not continuous or differentiable. Such optimization methods are also known as direct-search, derivative-free, or black-box methods.

### **Problem Definition**

In the present study, crashworthiness optimization of the vehicle body subjected to the frontal collision is considered. The effect of the thickness of parts of the 1996 Dodge Neon vehicle at collision time on the amount of energy absorbed and peak acceleration is investigated. A single objective optimization approach is used to maximize energy absorbed capacity and minimize peak acceleration by means of four distinct stochastic optimization methods (DE, SA, NM, RS). Detail explanation about problem description is given as follow:

#### **Single Objective Problems**

**Find :**

$$x_k, x_k \in \{-1, 1\}, k=(1,2,\dots,10)$$

**Maximize :**

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_{10})$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_{10})$$

**Minimize :**

$$f_3(x_1, x_2, \dots, x_{10})$$

**Such that :**

The thickness of vehicle parts  $\in (-1, 1)$

**Design variables :**

Thickness of vehicle parts  $(x_1, x_2, \dots, x_{10})$

Where  $f_1$  and  $f_2$  represent the amount of energy absorbed in case of collision energy of 20 kJ and 40 kJ, and  $f_3$  indicates the acceleration of the engine top. The values of design variables  $(x_1, x_2, \dots, x_{10})$  given in (Fang et al., 2005) are normalized as -1, 0, 1 representing those at lower bound, initial design, an upper bound, respectively, by using Taguchi (Taguchi & Yokoyama, 1993) L27 orthogonal array. Here, the upper and lower bounds are the values corresponding to  $\pm 50\%$  change in the initial values of the

design variables, respectively. The normalized values of thickness of vehicle parts and a corresponding amount of energy absorbed and peak acceleration taken from (Fang et al., 2005) are given in Table 1.

**Table 1.** The normalized values of design variables and objective functions obtained from FE simulations (Fang et al., 2005)

No	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	1.0
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.51	0.71	1.05
2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0.57	0.77	1.26
3	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0.61	0.81	1.17
4	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0.81	0.89	1.02
5	-1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.87	0.92	0.94
6	-1	0	0	0	1	1	1	-1	-1	-1	0.87	0.88	0.78
7	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1.05	1.00	0.95
8	-1	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	1.00	0.94	0.80
9	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.13	1.04	0.88
10	0	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	1.00	1.01	0.93
11	0	-1	0	1	0	1	-1	0	1	-1	1.01	0.99	1.02
12	0	-1	0	1	1	-1	0	1	-1	0	1.11	1.06	0.75
13	0	0	1	-1	-1	0	1	0	1	-1	0.97	0.94	0.74
14	0	0	1	-1	0	1	-1	1	-1	0	1.04	1.02	1.04
15	0	0	1	-1	1	-1	0	-1	0	1	1.05	1.01	0.83
16	0	1	-1	0	-1	0	1	1	-1	0	0.81	0.92	1.16
17	0	1	-1	0	0	1	-1	-1	0	1	0.79	0.90	1.06
18	0	1	-1	0	1	-1	0	0	1	-1	0.79	0.87	1.08
19	1	-1	1	0	-1	1	0	-1	1	0	1.20	1.12	0.88
20	1	-1	1	0	0	-1	1	0	-1	1	1.23	1.13	0.67
21	1	-1	1	0	1	0	-1	1	0	-1	1.19	1.10	0.73
22	1	0	-1	1	-1	1	0	0	-1	1	0.98	1.03	0.80
23	1	0	-1	1	0	-1	1	1	0	-1	0.98	0.95	0.81
24	1	0	-1	1	1	0	-1	-1	1	0	1.00	1.02	0.91
25	1	1	0	-1	-1	1	0	1	0	-1	0.99	1.00	0.72
26	1	1	0	-1	0	-1	1	-1	1	0	0.96	1.01	0.87
27	1	1	0	-1	1	0	-1	0	-1	1	1.01	1.01	0.76

The models generated to define the objective functions using the data given in Table 1 are as follows:

***First order multiple linear regression model for  $f_1$***

$$\text{Model 1} = a_0 + a_1t_1 + a_2t_2 + a_3t_3 + \dots + a_{10}t_{10}$$

$\{a_0 \rightarrow 0.9475, a_1 \rightarrow 0.117778, a_2 \rightarrow 0.00555556, a_3 \rightarrow 0.156667, a_4 \rightarrow 0.0861111, a_5 \rightarrow 0.0244444, a_6 \rightarrow 0.00722222, a_7 \rightarrow 0.00833333, a_8 \rightarrow 0.015, a_9 \rightarrow -0.00555556, a_{10} \rightarrow 0.0155556\}$

**First order multiple linear regression model for  $f_2$**

Model 2 =  $a_0 + a_1t_1 + a_2t_2 + a_3t_3 + \dots + a_{10}t_{10}$

$\{a_0 \rightarrow 0.966071, a_1 \rightarrow 0.0783333, a_2 \rightarrow -0.000555556, a_3 \rightarrow 0.0733333, a_4 \rightarrow 0.0422222, a_5 \rightarrow 0.01, a_6 \rightarrow 0.00888889, a_7 \rightarrow 0.00277778, a_8 \rightarrow 0.01, a_9 \rightarrow -0.00111111, a_{10} \rightarrow 0.0244444\}$

**Second order multiple nonlinear regression model for  $f_3$**

Model 3 =  $a_0 + a_1t_1 + \dots + a_{10}t_{10} + a_{11}t_1^2 + a_{12}t_2^2 + \dots + a_{20}t_{10}^2 + a_{21}t_1 t_2 + a_{22}t_1 t_3 + \dots + a_{29}t_1t_{10} + \dots + a_{65}t_9t_{10}$

$\{a_0 \rightarrow 1, a_1 \rightarrow -0.0894645, a_2 \rightarrow 0.00421262, a_3 \rightarrow -0.0417724, a_4 \rightarrow -0.0184322, a_5 \rightarrow -0.0134315, a_6 \rightarrow 0.0121581, a_7 \rightarrow -0.0107185, a_8 \rightarrow -0.00045257, a_9 \rightarrow 0.00844995, a_{10} \rightarrow 0.0119946, a_{11} \rightarrow -0.0727577, a_{12} \rightarrow 0.0209194, a_{13} \rightarrow 0.0127803, a_{14} \rightarrow -0.00570638, a_{15} \rightarrow -0.019645, a_{16} \rightarrow -0.00357142, a_{17} \rightarrow -0.000790229, a_{18} \rightarrow -0.0129375, a_{19} \rightarrow -0.0166594, a_{20} \rightarrow -0.0344099, a_{21} \rightarrow 0.0312884, a_{22} \rightarrow 0.030634, a_{23} \rightarrow 0.0220655, a_{24} \rightarrow 0.00100622, a_{25} \rightarrow 0.00397145, a_{26} \rightarrow 0.0130103, a_{27} \rightarrow -0.0286463, a_{28} \rightarrow 0.00744777, a_{29} \rightarrow -0.00878945, a_{30} \rightarrow 0.00255042, a_{31} \rightarrow 0.0302805, a_{32} \rightarrow 0.00335539, a_{33} \rightarrow -0.0246042, a_{34} \rightarrow 0.00679097, a_{35} \rightarrow 0.00995295, a_{36} \rightarrow -0.016073, a_{37} \rightarrow 0.00724447, a_{38} \rightarrow 0.0424891, a_{39} \rightarrow -0.00386342, a_{40} \rightarrow 0.0101243, a_{41} \rightarrow -0.0207187, a_{42} \rightarrow 0.0031704, a_{43} \rightarrow -0.00486186, a_{44} \rightarrow 0.00281594, a_{45} \rightarrow -0.0139498, a_{46} \rightarrow 0.0000220558, a_{47} \rightarrow -0.000530091, a_{48} \rightarrow -0.0119989, a_{49} \rightarrow 0.0220593, a_{50} \rightarrow -0.00893594, a_{51} \rightarrow 0.00992465, a_{52} \rightarrow 0.00575287, a_{53} \rightarrow -0.0101902, a_{54} \rightarrow 0.0296757, a_{55} \rightarrow -0.0183611, a_{56} \rightarrow -0.0183576, a_{57} \rightarrow -0.0016944, a_{58} \rightarrow -0.0153754, a_{59} \rightarrow 0.0181943, a_{60} \rightarrow 0.0130091, a_{61} \rightarrow -0.0131759, a_{62} \rightarrow 0.00129128, a_{63} \rightarrow -0.0405048, a_{64} \rightarrow -0.013879, a_{65} \rightarrow -0.00829621\}$

**Results and Discussion**

**Regression Analysis:**

The result of regression analysis for the first and second-order ones for each objective are shown in Tables 2-4:

**Table 2.** Calculated values for Internal Energy at 20ms ( $f_I$ )

Error Sum of Squares (SSE)	0.0149
Total Sum of Squares (SST)	0.86233
Coefficient of Determination ( $R^2$ )	0.98

**Table 3.** Calculated values for Internal Energy at 40ms ( $f_2$ )

Error Sum of Squares (SSE)	0.0102
Total Sum of Squares (SST)	0.2655
Coefficient of Determination ( $R^2$ )	0.96

**Table 4.** Calculated values for Peak Acceleration ( $f_3$ )

Error Sum of Squares (SSE)	0
Total Sum of Squares (SST)	0.6391
Degree of Correlation ( $R^2$ )	1.00

In the first two analyses of two outputs (Internal energy at 20ms and internal energy at 40ms), we used first-order regression analysis, which gives us results of determination coefficient values bigger than 0.95. Nevertheless, for the third objective function (peak acceleration), we have had to use a second-order regression model for an accurate value. Results shows for all the analysis, regression analysis for this optimization problem is acceptable.

**Methodology:**

For finding maximum energy absorptions and minimum peak acceleration values, we used “NMaximize,” and “NMinimize” commands in Wolfram Mathematica with different methodologies. The results of all stochastic optimization methods are shown in Table 5 below:

**Table 5.** Comparison of optimization results for  $f_1$ ,  $f_2$ , and  $f_3$

	$f_1$	$f_2$	$f_3$
DE	1.3897	1.2177	0.3690
SA	1.3897	1.2177	0.3690
NM	1.3897	1.2177	0.3690
RS	1.3897	1.2177	0.3690

At the end of our studies about methodologies by using NMaximize and NMinimize commands, we were capable of seeing the values of design variables as well. Comparison of optimal values of ten design variables for three distinct objective functions  $f_1$ ,  $f_2$ , and  $f_3$  are given in Tables 6-8:

**Table 6.** Comparison of optimum values of design variables for  $f_1$ 

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
DE	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1
SA	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1
NM	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1
RS	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1

**Table 7.** Comparison of optimum values of Design Variables for  $f_2$ 

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
DE	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1
SA	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1
NM	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1
RS	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1

**Table 8.** Comparison of optimum values of Design Variables for  $f_3$ 

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
DE	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
SA	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
NM	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
RS	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1

Table 6 shows that in order to maximize internal energy at 20ms,  $x_1$ - $x_8$ , and  $x_{10}$  parameters should be increased by 50% compared to the initial value, and  $x_9$  parameter should be reduced by 50%. It should be noted here that all four optimization methods suggest the same optimum parameter values. If we examine Table 7, it is seen that in order to maximize internal energy at 40ms, the input parameters  $x_1$ ,  $x_3$ - $x_8$ , and  $x_{10}$  should be increased by 50% compared to the initial value while  $x_2$  and  $x_9$  should be reduced by 50%. Similarly, Table 8 exhibits that in order to minimize peak acceleration  $x_1$ ,  $x_4$ ,  $x_5$ ,  $x_8$ , and  $x_{10}$  should be increased by 50% compared to the initial value while  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_6$ ,  $x_7$ , and  $x_9$  should be reduced by 50%.

## Conclusion

In this study, optimization of the fuselage of the vehicle body subjected to the frontal collision is discussed. The experimental data used in this study are taken from another article in which automobiles use meta-modeling with response surface methodology. The effect of the thickness of the part of the Dodge Neon on the amount of energy absorbed in the collision and peak acceleration was investigated. In order to successfully optimize the thickness of the vehicle parts, (i) multiple linear and nonlinear regression

analyses are performed, and (ii) the most appropriate regression model selected is used as an objective function in the optimization process. By single-objective optimization, energy absorption is maximized, and peak acceleration is minimized. Differential Evolution, Nelder-Mead, Random Search, and Simulated Annealing are the stochastic methods used in the optimization process. This study shows that all proposed algorithms give the same results in terms of the output parameters energy absorption and peak acceleration.

## References

- Dias, J., & Pereira, M. (2004). Optimization methods for crashworthiness design using multibody models. *Computers & structures*, 82(17-19), 1371-1380.
- Fang, H., Rais-Rohani, M., Liu, Z., & Horstemeyer, M. (2005). A comparative study of metamodeling methods for multiobjective crashworthiness optimization. *Computers & structures*, 83(25-26), 2121-2136.
- Hamza, K., & Saitou, K. (2005). Design optimization of vehicle structures for crashworthiness using equivalent mechanism approximations. *Journal of Mechanical Design*, 127(3), 485-492.
- Redhe, M., & Nilsson, L. (2002). *Using space mapping and surrogate models to optimize vehicle crashworthiness design*. Paper presented at the 9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization.
- Regression analysis. (1999). Retrieved from [www.stat.colostate.edu/regression\\_book/chapter9.pdf](http://www.stat.colostate.edu/regression_book/chapter9.pdf)
- Road traffic injuries. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Taguchi, G., & Yokoyama, Y. (1993). Taguchi methods: design of experiments, quality engineering. *Amer Supplier Institute, Nasr*.
- Yildiz, A. R., & Solanki, K. N. (2012). Multi-objective optimization of vehicle crashworthiness using a new particle swarm based approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1-4), 367-376.
- Youn, B. D., Choi, K., Yang, R.-J., & Gu, L. (2004). Reliability-based design optimization for crashworthiness of vehicle side impact. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(3-4), 272-283.

**METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING /  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**



# TIG KAYNAK TEKNİĞİ İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI BOYUTTAKİ MALZEMELER İÇİN PORTATİF FİKSTÜR TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Halil ULUPINAR<sup>1</sup> & Murathan KALENDER<sup>2</sup> & Ecem ORUÇ<sup>3</sup>  
Yahya BOZKURT<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>1,2,4</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

**Özet:** Tungsten inert gaz (TIG) kaynak tekniği günümüzün popüler kaynak tekniklerinden biridir. TIG kaynak yöntemi genellikle paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır. Düşük ısı girdisi sebebiyle ince sacların kaynağında tercih edilmektedir. TIG torcunun kaynak yapılacak yüzeyden sapmaması, kaynak yapılacak numunelerin stabil olması ve ark kararlılığı kaynak kalitesi için son derece önemli bir etkenlerdir. Bu nedenle fikstür kullanımı TIG kaynak çalışmaları için önemli bir ekipmandır.

Bu çalışmada, çok değişkenli portatif ve sabit bir fikstür tasarlanmıştır. Birleştirilecek numunelerin sabitlemesi, titreşim problemini en aza indirme ve ısı girdisi bazlı problemler için çözüm önerisi bulunmaktadır. Önerilen fikstür en az iki eksenli makineler için uyarlanabilir bir tasarıma sahiptir. Farklı uzunluk ve genişlikteki levha ve kesitler bu teknik ile distorsiyona maruz kalmadan kolayca birleştirilebilmektedir. Bununla birlikte yöntemde ısı girdisini azaltmak için bakır altlık ve alüminyum soğutucu profil kullanılmıştır. Tasarımı yapılan fikstür ile kaynak işlemi yapılan 304L paslanmaz çelikler, manuel kaynaklı paslanmaz çelikler ile kıyaslanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** TIG kaynağı, fikstür, tasarım, imalat, AISI 304L.

## Giriş

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi kaynak kalitesi olarak diğer kaynak yöntemlerine göre daha estetik ve temiz bir dikiş görüntüsü sunmaktadır. TIG kaynak yöntemi ile demir dışı metallerin kaynağında nüfuziyetli bir birleştirme oluşturulduğu gibi paslanmaz çeliklerin kaynağında da son derece kaliteli ve pürüzsüz bir kaynak dikişi sağlanmaktadır. Bu kaynak yönteminde ergimeyen elektrot olarak adlandırılan tungsten elektrot kullanılmaktadır ve esas metal ile elektrot ucunda oluşan ark sayesinde kaynak yöntemi gerçekleştirilmektedir. Bu ark bölgesi ortamdaki istenmeyen gazlardan soy gazlar veya alaşım gazlar ile korunmaktadır. Kaynak işlemi esnasında tungsten elektrodun yüksek sıcaklıklara çıkması ile arkın devamı için gerekli olan elektron akışı sağlanmaktadır. TIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantajı olduğu gibi bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır.

Özellikle ilerleme hızının diğer yöntemlerine göre yavaş olması toplam verimi düşürdüğü için bu kaynak yönteminin seri üretimde kullanılabilirliği kısıtlanmıştır. Bununla beraber kalın kesitli malzemelerde tek pasoda geçişin yetersiz nüfuziyet oluşturması bu yöntemin daha çok ince parçaların kaynaklı birleştirmelerinde kullanılmasına neden olmuştur (Modenesi, Apolinaaria & Pereira, 2000), (Gürcan, 1987). Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi TIG kaynak yönteminde de malzemenin cinsine en uygun kaynak parametreleri belirlenmeli ve belirlenen bu parametrelere kaynak esnasında aynen uyulması gerekmektedir. TIG kaynak işlemi esnasında uygulanan çeşitli parametreler kaynak dikişinin geometrik yapısının kalitesinde önemli olduğu gibi kaynak metalinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. İlerleme yönü ve hızı, torç tutuş açısı, kaynak amperi, koruyucu gaz cinsi, ark mesafesi, kaynak gerilimi ve birleştirme dizaynı gibi çeşitli parametrelerin TIG kaynak banyosunun geometrik görüntüsünde önemli ölçüde fark yarattığı bilinmektedir. Özellikle ilerleme hızı ve kaynak akımı bu parametrelerden en önemlileri olup kaynak genişliğini, nüfuziyet derinliğini, ısı girdisi miktarını direkt olarak etkilemektedir. TIG kaynak makinelerinde bulunan darbeli ark (palslı) yöntemi kullanıldığında birleştirme esnasında nüfuziyet miktarı önemli ölçüde artarken, malzemede oluşan toplam ısı girdisi miktarı minimum seviyede kalmaktadır (Eşme, 2006), (Kim & Son, 2003). Bu yöntem ile ince kesitli parçalar distorsiyona maruz kalmadan düşük ısı girdisi ile optimum nüfuziyet sağlanarak birleştirilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da birçok araştırmacı farklı kaynak yöntemleri, birleştirme dizaynları ve parametreler kullanarak kaynaklı birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir. Seçilen parametrelerin kaynak metalinde oluşturduğu nüfuziyet derinliği ve esas metaldeki distorsiyon miktarı incelenmiştir (Murugan & Gunaraj, 2005). Bileşiminde aynı kimyasal kompozisyonları barındıran paslanmaz çeliklerin kaynağında ilerleme hızı, tutuş açısı, kaynak akımı gibi parametrelerde oluşan çok az farklılıklar bile kaynak banyosundaki sıvı akış düzenini önemli ölçüde etkilemektedir (Aidun & Martin, 1997). TIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz türünün kaynak kompozisyonundaki nüfuziyet derinliği ve genişliğindeki etkisinin büyük olduğu gözlemlenmiştir (Kim & Son, 2003). Kaynaklı birleştirme uygulanacak numunelerin yüzeyine çeşitli oksitler tatbik edilerek gerçekleştirilen aktif TIG kaynak yönteminde kaynak dikişlerindeki nüfuziyet derinliğinin daha fazla olduğu vurgulanmıştır (Modenesi, Apolinaaria & Pereira, 2000).

Östenitik paslanmaz çelikler otomotiv ve otomotiv yan sanayisinde, gıda endüstrisinde, kimya ve petrokimya tesislerinde kullanıldığı gibi birçok endüstride sıklıkla tercih edilmektedir. Bu paslanmaz çelik türlerinin derin çekme kabiliyeti ve şekillendirilebilirliğinin yüksek olmasıyla beraber, sahip oldukları yüksek korozyon direnci ve mekanik özellikleri nedeniyle

depolama tankları, pompa sistemleri, basınç tankları ve gemi endüstrisi gibi birçok farklı alanda kullanım alanı bulmaktadır (Smith, 2000), (Odabaş, 2004). Paslanmaz çelikler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilirken genellikle argon koruyucu gazı kullanılmaktadır. Bu yöntem ile gerçekleştirilen birleştirmelerde nüfuziyet derinliği en çok 3 mm olarak sınırlı olmakla beraber, helyum veya hidrojen gazlarının ilavesi ile bu nüfuziyet derinliği önemli ölçüde arttırılabilmektedir (Modenesi, Apolinaaria & Pereira, 2000). Koruyucu argon gazı kompozisyonuna ilave edilen hidrojen gazının kaynaklı birleştirmelerdeki mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir (Durgutlu, 2004), (Gökmen & Yılmaz, 2006). Gerçekleştirilen birleştirmenin mekanik özellikleri ve mikroyapı özelliklerinin sağlıklı olabilmesi için kaynak işlemi esnasında oluşan farklı ilerleme hızı, torc tutuş açısı ve ark mesafesi gibi parametreler çok önemlidir ve sabit tutulmalıdır. Bu nedenle TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerin dayanıklı ve mukavemetli olması; kaynak dikiş şekli, geometrisi ve nüfuziyetine etki eden kaynak akımı, ilerleme hızı gibi kaynak parametrelerinin kontrol altına alınmasına bağlıdır. Endüstriyel alanda uygulama alanı geniş olan östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı otomatik fikstür ile birleştirilerek optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi hem bilimsel hem de endüstriyel uygulamalar açısından faydalı olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada, AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çelik numuneler eşit ebatlarda kesilen levhalar; tasarlanan portatif fikstürde ilerleme hızı, ark mesafesi gibi değişkenler sabit tutularak ve manuel olarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. İki farklı yöntem ile birleştirilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

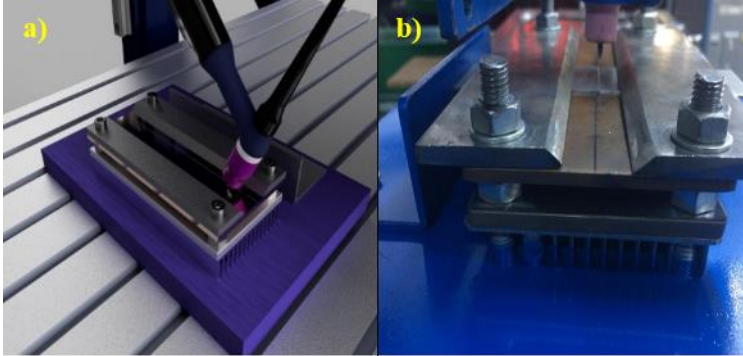
### **DeneySEL Çalışmalar**

Çalışmalarda 1 mm kalınlığında AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çelik levhalar TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanılmadan argon gazı altında birleştirilmiştir. Numuneler önce portatif fikstür tasarımı kullanılarak; sabit ilerleme hızı, ark mesafesi şartlarında ve manuel olarak kaynatılmıştır. Her iki yöntemde de akım değeri, gaz debisi ve malzeme ebatları gibi değişkenler sabit tutulmuştur. Kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilen levhalardan numuneler hazırlanarak birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. DeneySEL çalışmada kullanılan AISI 304L östenitik paslanmaz çeliğın kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Kimyasal Analiz Değerleri (% Ağırlık)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
AISI 304L	0,0208	0,418	1,461	0,0316	0,0024	18,167
	Ni	Cu	Mo	Co	N	Fe
	8,054	0,183	0,095	0,210	0,0396	Kalan

TIG kaynağındaki çeşitli parametrelerin sabitlenmesi amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılan fikstür çok değişkenli, portatif ve sabit bir dizayna sahiptir. Bu fikstür tasarımı; ilerleme tertibatı olan en az iki eksenli makineler için uyarlanabilir bir dizayna sahiptir. Bu çalışmada portatif fikstür; x-ekseninde 30-825 mm/dak. hızlarında ilerleme tertibatı olan bir freze tezgahına adapte edilmiştir. Fikstürde ısı girdisini optimum seviyede tutmak için alüminyum soğutucu profil ve bakır altlıklar kullanılmıştır. Kaynak sonrası optimum soğuma hızı oluşturması hedeflenen bakır altlığın form ölçüleri 8 mm genişlikte ve 0.3 mm derinlikte tasarlanmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan portatif fikstür Şekil 1' de gösterilmiştir. Şekil 1a'da portatif fikstürün tasarımı ve Şekil 1b'de fikstürün frezeyle bağlanmış hali gösterilmektedir.

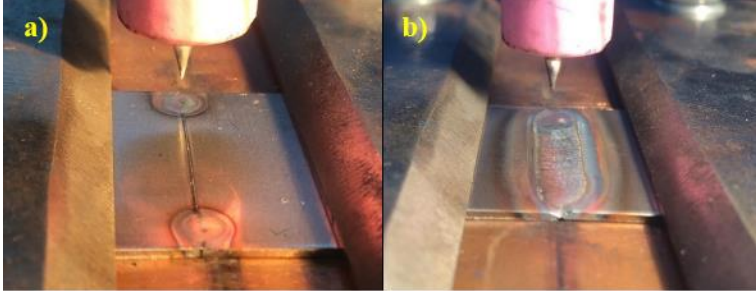


**Şekil 1.** Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan portatif fikstürün, a) Tasarımı b) Frezeyle bağlanmış hali.

Kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilecek olan levhalar 60x30x1 mm ebatlarında kesilmiş ve numene yüzeyleri temizlenerek puntalama işlemine tabi tutulmuşlardır. TIG kaynağının portatif fikstürde yapılışı Şekil 2' de gösterilmiştir. Levhaların puntalanmış hali Şekil 2a'da ve kaynak edilmiş hali ise Şekil 2b'de gösterilmiştir.

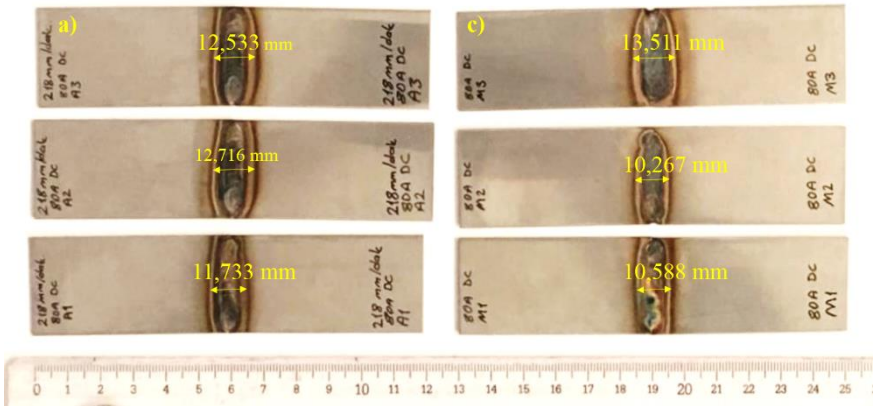
Kaynak işlemleri Magmaweld Monotig 160ip tipi kaynak makinesi ile 3 mm ark boyu, 90° torç açısı, 218 mm/dak. kaynak hızı, Ø2,4 mm tungsten elektrod, 13 lt/dak. saf argon gaz koruması ve 80 amper akım şiddeti

altında kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında kaynak torcu otomatik ilerleme tertibatı ile sabit hızda ilerletilmiştir. Bütün birleştirme işlemleri tek pasoda yapılarak oda şartlarında soğumaya bırakılmıştır.



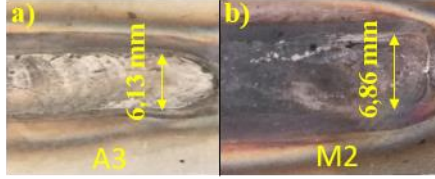
**Şekil 2.** Portatif fiķstür kullanılarak a) puntalanmış ve b) kaynaklanmış levhalar.

Şekil 3' de kaynaklı levhalar gösterilmiştir. Şekil 3a'da gösterilen A1, A2, A3 numuneleri bakır altlık ve alüminyum soğutucu profilin bulunduğ u portatif fiķstürde otomatik ilerleme ile kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3b'de gösterilen M1, M2, M3 numuneleri ise yaklaşık 180 mm/dak. İlerleme hızı ile manuel olarak, 70-80° torç açısı ve düz dikiş ilerleme ile birleştirilmiştir. Portatif fiķstür kullanılarak birleştirilen A1, A2, A3 numunelerinde daha stabil bir kaynak yüzey geometrisi elde edilmiştir. Kaynaklı bölgedeki ısı dağılımı incelendiğ inde otomatik olarak birleştirilen levhaların birbirine yakın değ erlerde ısı dağılımı genişliklerinin oluştuğ u gözlemlenmiştir. Manuel olarak birleştirilen levhalarda ise ısı dağılımı tamamen uygulamacının el hareketine ve ilerleme hızına bağlı olarak değişbildiğ i gözlemlenmiştir.



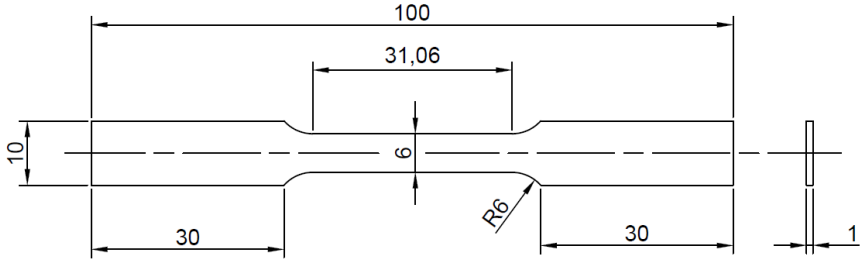
**Şekil 3.** Kaynaklı levhaların görüntüleri ve ısı dağılımı genişlikleri, a) Otomatik kaynaklı b) Manuel kaynaklı.

Manuel olarak ve fikstürün frezeyle bağlanması ile birleştirilen numunelerin kaynak dikişleri arasında, Şekil 4'de gösterildiği gibi çıplak gözle dahi ayırt edilebilen bir fark oluşmuştur. Otomatik olarak gerçekleştirilen kaynak dikişlerinde lineer bir çizgide düz dikiş gözlemlenirken, manuel olarak gerçekleşen kaynak dikişlerinde girintili çıkıntılı bir yüzey ve çizgi gözlemlenmiştir. Otomatik olarak birleştirilen kaynak dikişi Şekil 4a'da ve manuel olarak birleştirilen kaynak dikişi ise Şekil 4b'de gösterilmektedir.



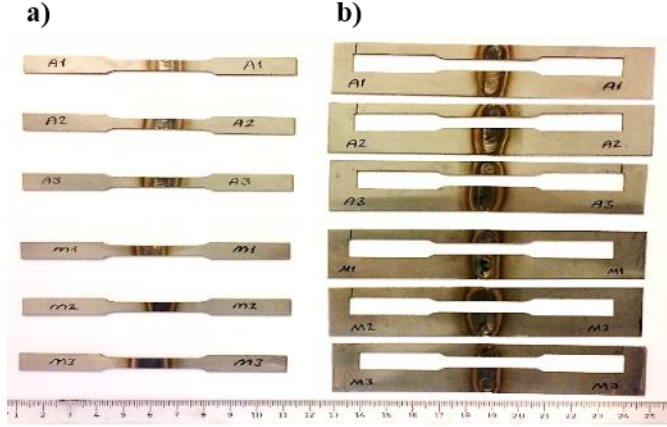
**Şekil 4.** Kaynak dikiş görüntüleri, a) Otomatik b) Manuel.

Otomatik ve manuel şartlarda kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş levhalardan ASTM E8/E8M-09 standart ölçüleri kullanılarak çekme numuneleri elde edilmiştir. Bu standarta ait ölçüler Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** ASTM E8/E8M-09 standart ölçüleri (ASTM Int, 2009).

Çekme testinin yapıldığı cihaz; DEVOTRANS marka, D.V.T. model ve 50 kN' a kadar çekme kuvveti uygulayabilen bir cihazdır. Kaynak işlemi tamamlanmış levhaların kaynak bölgesinin ısıdan etkilenmesini önlemek amacıyla çekme numuneleri tel erezyon makinesi ile kesilmiştir. Tel erezyon makinasıyla işlenen numuneler Şekil 6'da gösterilmektedir. ASTM E8/E8M-09 ölçülerindeki numuneler Şekil 6a' da ve mikroyapı kontrolü için ayrılan numuneler Şekil 6b'de gösterilmiştir.



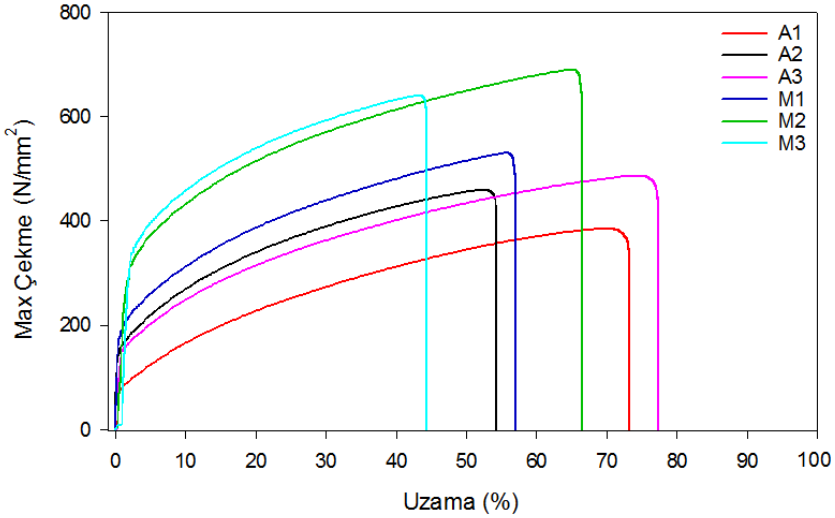
**Şekil 6.** Tel erzyon makinesi ile işlenen numuneler, a) ASTM E8/E8M-09 standart ölçülerinde kesilen numuneler b) Mikroyapı kontrolü için ayrılan numuneler.

Çekme numunelerinin çıkarılması işleminden sonra levhada kalan kaynaklı bölge, hassas kesme makinesi kullanılarak mikroyapı incelemesinde kullanılmak üzere alınmıştır. Kesme işlemi sırasında kaynaklı bölgenin ısıdan etkilenmemesi amacıyla sürekli bor yağ tıbbi ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan numuneler mikroyapı kontrolü için sıcak bakalitleme yöntemi ile kesit alanına dik olacak şekilde bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler 220-2500 mesh silisyum karbür su zımparası ile her defasında 90° döndürülerek zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Kademeli olarak zımparalama işlemine tabi tutulan numuneler 0,25 µm'lik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pasta ile kaba ve ince çuhalarda sırasıyla parlatılmış ve dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Dağlama reaktifi olarak 3ml HCl, 2ml HNO<sub>3</sub>, 2ml asetik asit ve 0,5 ml gliserin kullanılmıştır. Bakalitin kaynaklı yüzeyi 60-70 saniye süresince hazırlanan çözeltide bekletilmiştir. Optik mikroskop ile görüntülenmek için hazır hale getirilen numuneler HAYNES-25 marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Mikroyapı görüntüleri alınan numunelere; FUTURE-TECH marka, FM-310e model cihazda elmas uç kullanılarak HV<sub>0,3</sub> = 300 gf yük ile 7 farklı noktadan, eşit aralıklarla 10 saniye boyunca basınç uygulamıştır. Bu yöntem ve metotlar kullanılarak gerçekleştirilen otomatik ve manuel kaynaklı malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

## Deney Sonuçları ve Tartışma

### Çekme Testi İncelemeleri

Çekme numuneleri E8/E8M-09 standartında belirtilmiş olan 5 mm/dak. hız ile oda sıcaklığında çekme testine tabi tutulmuşlardır. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucunda kopma, numunelerin tümünde ITAB ile kaynak metali arasındaki bölgede gerçekleşmiştir. Kopmanın gerçekleştiği ITAB bölgesi kaynak işlemleri esnasında 900 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaştıktan sonra ani soğumaya maruz kalmaktadır. Genellikle ısıdan etkilenen bölge olarak adlandırılan bu bölge kaynaklı birleştirmelerin en kritik bölgesidir ve kırılmalar daha çok bu bölgede meydana gelmektedir (İbrahim & Tuncay & Berk). Elin M. Westin çalışmasında (Westin, 2010), ITAB bölgesinin kaynak işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma sonucunda oluşan bölgedeki ferritik tane iriliği, ferrit tane sınırları içerisinde oluşması muhtemel olan ve ferrit/östenit dengesi göz önüne alındığında, kaynaklı birleştirmelerin süneklik değerleri üzerinde olumsuz etkilerinin yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu durum göz önüne alındığında çekme testine tabi tutulan numuneler sünekliğin az olduğu ITAB bölgesinden kopma davranışı göstermiştir. Otomatik ve manuel olarak kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilen çekme numunelerinin grafiği Şekil 7’de verilmiştir.

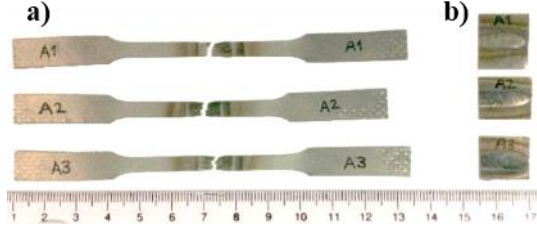


Şekil 7. Otomatik ve manuel olarak birleştirilmiş numunelerin çekme grafiği.

Kesit daralması, kopma uzaması, boyun verme gibi oluşumların gözlemlendiği otomatik olarak birleştirilmiş numuneler, genellikle sünek yapılarda oluşan açılı kopma davranışı göstermiştir. Kayıkçı R. ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada (Kayıkçı, Aktaş) sünek malzemelerde



belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemelerde büzülmenin oluşmadığını bildirmişlerdir. Otomatik olarak birleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 8a'da çekme testi sonrası sünek kopma davranışı gösteren otomatik kaynaklı numuneler ve Şekil 8b'de ise her bir numunenin mikroyapı kontrolü için ayrılan kesitleri gösterilmiştir.



**Şekil 8.** Otomatik olarak birleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri a) Otomatik olarak birleştirilmiş numunelerin çekme işlemi sonucu görüntüleri b) Mikroyapı için ayrılan kesitler.

Manuel olarak kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunelerin kırılma Şekilleri incelendiğinde ise gevrek kopma davranışı sergilediği anlaşılmıştır. Genel genel ortalaması alındığında daha iyi çekme mukavemeti elde edilmiştir. Ancak %uzama değerleri göz önüne alındığında ise otomatik olarak birleştirilen kaynaklara oranla daha düşük %uzama dayanımı olduğu saptanmıştır. Bu durum mikroyapı testlerinde daha detaylı incelenmiştir. Manuel olarak kaynaklı birleştirmesi gerçekleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9a'da kopma davranışları ve Şekil 9b'de mikroyapı için ayrılan kesitleri gösterilmiştir. Çekme testi ise sonuçları Tablo 2 'de verilmiştir.



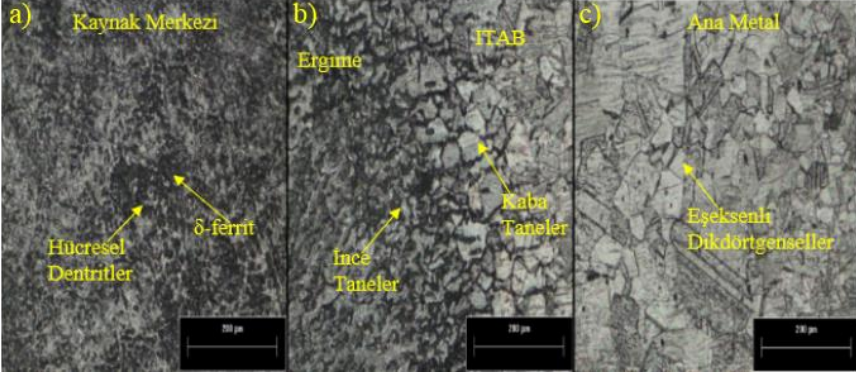
**Şekil 9.** Manuel olarak kaynaklı birleştirmesi gerçekleştirilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri a) Manuel olarak birleştirilmiş çekme numunelerinin kopması b) Mikroyapı kesitlerinin alınması.

**Tablo 2.** Çekme testi sonuçları.

Numune	Çekme Mukavemeti $\sigma_{\varphi}$ - (MPa)	Ortalama Çekme Mukavemet $\sigma_{\varphi}$ - (MPa)	Elastise Modülü E-(MPa)	Uzama $\Delta l$ - (mm)	% Uzama	Ortalama % Uzama	Maksimum Kuvvet F - (N)
A1	385	443	525.4	22.76	73.3	68.5	2310
A2	459		839.6	16.98	54.7		2755
A3	486		627.6	24.05	77.4		2915
M1	530	600	945.5	17.41	56.2	55.7	3180
M2	690		1040.9	20.59	66.3		4140
M3	640		1433.1	13.87	44.7		3840

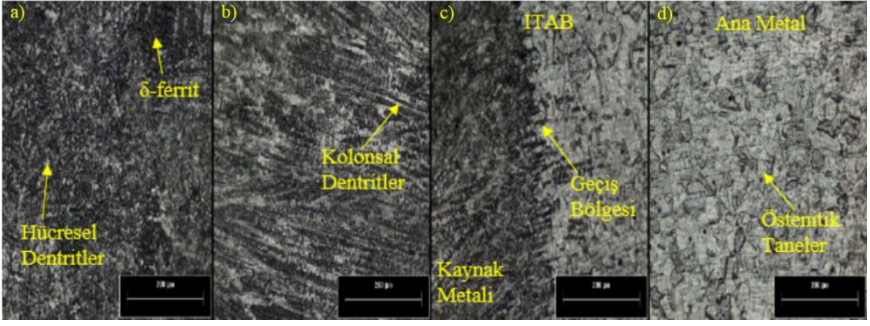
### Mikroyapı İncelemeleri

Çekme testi sonuçlarında yüksek mekanik özellikler sergileyen A3 ve M2 numuneleri optik mikroskop ile 200x büyütme kullanılarak incelenmiştir. A3 numunesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 10c'de numunenin ana metal kısmı incelendiğinde eşksenli dikdörtgensel taneler net olarak gösterilmektedir. Ana metalde beyaz renkte görülen bu eşksenli dikdörtgenseller östenit fazını, siyah renkler ise  $\delta$ -ferrit fazını ifade etmektedir. Kaynak merkezinde  $\delta$ -ferrit fazı daha yoğun şekilde oluşmaktadır ve ana metaldeki tanelere oranla daha ince taneler gözlemlenmektedir (Vural & Akkuş, 2004). Şekil 10a'da  $\delta$ -ferrit fazı ve hücrel dentritler gözlemlenmektedir. ITAB' dan ana metale doğru ilerledikçe eşksenli tanelerin ince taneliden, kaba taneliye döndüğü Şekil 10b'de gözlemlenmiştir. Bu tane yapıları arasındaki geçişler, kaynak merkezinde gözlemlenen hücrel dentritlerin etkisine oranla daha sünek bir bölge sunar ve ITAB'da sertlik değerinin düşük olmasına neden olur. Tane boyutunun inceden kaba taneliye, hücrelden kolonsala dönmesinin sebebi soğuma hızı farkıdır. Stabil ilerleyen bir kaynak ergiyiğinde soğuma dıştan içe doğru gerçekleşir. Otomatik olarak yapılan kaynaklarda daha dengeli ısı girdisi sağlanır ve inceden kabaya doğru ilerleyen bu taneler belirgin olarak gözlemlenebilir. A3 numunesinin ITAB bölgesi incelendiğinde bu geçiş net olarak gözlemlenmektedir. ITAB bölgesinin ana metal kısmında bulunan kaba tanelerden kaynak havuzunun merkezine doğru gidildikçe ince taneli hücrel dentrit şeklindeki yapı yoğun olarak gözlemlenmiştir.



**Şekil 10.** Otomatik olarak birleştirilen A3 numunesinin mikroyapı görüntüleri, a) Hücresel dendrit yapı b) İnce ve kaba taneler c) Eşeksenli dikdörtgenseller.

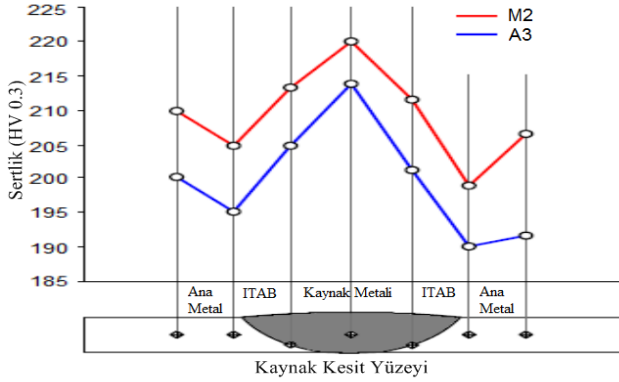
Manuel olarak birleştirilen M2 numunesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 11'de gösterilmektedir. Şekil 11d'de ana metaldeki östenitik taneler net olarak görülmektedir. Şekil 11c'deki ITAB bölgesini incelediğimizde ise A3 numunesine kıyasla kaba taneden ince taneye geçiş belirgin olarak gözlemlenememiştir. Bu durumun sebebinin; sabit hızda lineer olarak ilerleyen kaynak hızına kıyasla manuel kaynak ilerleme hızının daha düşük olması nedeniyle malzemeye olan ısı girdisi miktarının artması olarak düşünülmektedir. Kaynak merkezindeki  $\delta$ -ferrit fazındaki artış dikkat çekmektedir. J. Lippold ve arkadaşları (Lippold & Kotecki, 2005)  $\delta$ -ferrit fazının yüksek sıcaklıklarda meydana geldiğinden bildirmiştir.  $\delta$ -ferrit fazının ana metaldeki taneler arasında veya kaynak metalinde bulunması çeliğin uzama ve büzülme mukavemetini düşürmektedir (Kaluç & Tülbentçi, 1998) Şekil 11b'de geçiş bölgesinden hemen sonra, tane sınırlarından tane içlerine doğru olan kısımlarda, omurga şeklinde kolonidal dendrit kolları gözlemlenmiştir. Manuel yapılan kaynakların yavaş olması sebebiyle kaynak bölgesindeki ısı girdisi miktarı artmış ve katılma süresi uzamıştır. Bu sebeple iri dendritler oluşmuş ve sertlik değeri yükseltmiştir. Bu dendrit kolları kaynak metalinin merkezine kadar uzanmış, Şekil 11a'da gösterilen kaynak merkezinde ise hücresel dendrit taneleri ve  $\delta$ -ferrit fazı yoğunluk göstermiştir. Yapılan bir diğer çalışmada Savage ve arkadaşları (Savage, Lundin & Aronson, 1965) katı haldeki kaynak metalinin mikroyapısını incelemişler ve iki farklı tane yapısının bulunduğu alan ile karşılaştıklarını belirtmişlerdir. ITAB bölgesine yakın konumda bulunan kaynak metali kolonsal tane yapısı sergilerken, kaynak merkezine yakın olan bölgede ise ısı girdisinin karmaşıklığından dolayı hücresel dendritlerin içerdiğini bildirmişlerdir.



**Şekil 11.** Manuel olarak birleştirilen M2 numunesinin mikroyapı görüntüleri, a) Kaynak merkezi b) Kolonsal dentritler c) ITAB d) Ana metal.

### Sertlik İncelemeleri

Mikroyapı ve çekme testi sonuçları incelenen A3 ve M2 numunelerine ait sertlik değerleri Şekil 12’de şematik olarak gösterilmektedir. Burada, kaynak metalinin olduğu yerden alınan mikrosertlik değerlerinin ana metalden ve ITAB bölgesinden daha sert olduğu görülmektedir. Kölük F. ve arkadaşların yaptığı bir çalışmada ise (Köçük, 2000) kaynak metalinden alınan sertlik değerinin ana metal ve ITAB bölgesinden alınan sertlik değerinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Sertlik değerleri arasındaki bu fark numunelerin mikroyapı görüntülerinde de gösterildiği üzere ince ve kaba tane boyutları arasındaki farktan doğmaktadır. Çekme deneylerinde gevrek kırılma davranışının, mikroyapı testlerinde ise kolonsal dentritlerin gözlemlendiği M2 numunesinin sertlik değerinin A3 numunesine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sünek kırılma davranışı gösteren A3 numunesinin sertlik değerlerinin ise M2 numunesi temel alındığında genel olarak daha az sert olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 12.** M2 ve A3 numunelerinin kaynak kesit bölgesinden alınan sertlik değerleri.

## Sonuçlar

- Manuel olarak yapılan TIG kaynağı işlemlerinin kalitesi büyük oranda operatörün el becerisine, kaynak bilgisine ve tecrübesine bağlı olarak değişmektedir.
- Numune özelliklerinin en iyi duruma getirilmesi amacıyla optimum kaynak şartlarını sağlamak büyük önem taşımaktadır.
- İki farklı yöntem ile kaynaklı birleştirme işlemi sağlanan malzemelerin arasındaki en belirgin fark kaynak yüzey geometrisi olmuştur.
- Kaynak torcunun otomatik bir frezeyle bağlanması ile kaynak hızı, torç açısı, ark mesafesi gibi parametreler sabitlendiğinde kaynak pasosu boyunca, iş parçasında olumsuz bir etkiye sebep verilmemiş, stabil bir kaynak havuzu oluşturulmuş ve kaynak hataları minimuma indirilmiştir.
- Otomatik olarak yapılan kaynaklarda pürüzsüz, yarım hilal şeklinde bir yüzey elde edilirken manuel olarak birleştirilen numunelerin yüzeyinde yanma olukları, krater boşlukları ve çarpılma sorunları meydana gelmiştir.
- Her iki yöntemde kaynak nüfuziyeti sağlanmış ancak manuel olarak birleştirilen numunelerde kısmen aşırı nüfuziyet görülmüştür. Bu sorun, ilerleme hızı sabit tutulan portatif bir fikstüre bağlı TIG torcu ile yapılan birleştirmelerde gözlemlenmemiştir.
- Kaynak dikişinin genel yapısı üzerinde tesir eden faktörlerden olan ark mesafesi ve kaynak hızı yükseldikçe veya azaldıkça, mikroyapıda ve nüfuziyette önemli farklılıklar oluşmuştur.
- Bu farklılıklar kaynaklı malzemenin kullanım anındaki mekanik davranışlarını önemli ölçüde etkilemiştir.

## Kaynak

Modenesi, P.J., Apolinaaria, E.R., Pereira, I.M., (2000), "TIG Welding with Single Component Fluxes", *Journal of Materials Processing Technology*, 99, 260-265.

Gürcan, M., (1987), "TIG Kaynağı", SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara.

Eşme, U., (2006), "Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Kim, I.S., Son, J.S., Kim, I.G., Kim, J.Y., Kim, O.S., (2003), "A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO<sub>2</sub> arc welding", *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 139–145.

Murugan, N., Gunaraj, V., (2005), "Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes", *Journal of Materials Processing Technology*, 168, 478–487.

Aidun D.K., Martin S.A., (1997), "Effect of Sulfur and Oxygen on Weld Penetration of High-Purity Austenitic Stainless Steels", *JMEPEG*, 6, 496-502.

Tümer, M., Yılmaz, R., (2011), "The Effects of Welding Parameters and Gases Composition on Microstructure and Penetration of Stainless Steels", *International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems*, 483-488, Antalya.

Shanping L., Hidetoshi F., Kiyoshi N., (2005), "Influence of Welding Parameters and Shielding Gas Composition on GTA Weld Shape", *ISIJ International*, 45, 66-70.

Gao M., Zeng X., Hu Q., (2007), "Effects of gas shielding parameters on weld penetration of CO<sub>2</sub> laser-TIG hybrid welding" *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 177–183.

Zeraati, E., Hallvae, A., (2011), "Effect of Activated Flux on the Weld Shape of 25CrMo4 Low Alloy Steel Welded by TIG Welding Process", *International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems*, Antalya.

Smith, W.F., (2000), "Paslanmaz Çelikler", "Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri", 5, 1, Çeviri: M. Erdoğan, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Odabaş, C., (2004), "Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri", Askaynak-İstanbul.

Durgutlu, A., (2004), “Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design*,25, 19–23.

Gökmen, M., Yılmaz, R., (2006), “AISI 316Ti Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi”, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu,Denizli.

ASTM Int., (2009), “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1,” *Astm*, no. C, pp. 1–27.

İbrahim E., Tuncay D., Berk Ş., “Çeliklerin Kaynağında Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikro yapı ve Özelliklerinin Tahmini”, X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı.

Westin, E. M. (2010) “Microstructure and Properties of Welds in The Lean Duplex Stainless Steel LDX 2101,” Ph. D. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

R. Kayıkcı, G. Aktaş, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Çekme Deneyi Föyü.

Vural M., Akkus A., (2004), “On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets”, *J. Mater. Process. Technol.* 1 (6), 53-156.

J. Lippold and D. Kotecki, , (2000), “Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels”, Wiley Interscience Publications, New Jersey.

Kaluç, E., Tülbentçi, K., (1998). “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği”, *Seminer Notları*, Kocaeli

Savage W. F., Lundin C. D., Aronson A. H., (1965), *Weldmetal solidifications mechanics*, *Welding Journal*, 175-181, April.

Kölük, F., (2000), “Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin ısı tesiri altında kalan bölgeye etkisinin incelenmesi”, G.Ü.F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

# SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN ARA KATMANLI AA2024-T3 LEVHALARIN MEKANİK VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Ecem ORUÇ<sup>1</sup> & Murathan KALENDER<sup>2</sup> & Halil ULUPINAR<sup>3</sup>  
Yahya BOZKURT<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2, 3, 4</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

**Özet:** Alüminyum ve Alüminyum alaşımları, kolay şekillendirilebilir olması, hafiflik vb. iyi özelliklerinden dolayı otomotiv ve uçak endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, kaynaklı bağlantılarda çok iyi mekanik özellikler elde etmemizi sağlayan bir kaynak yöntemidir. Bu çalışmada, farklı ara katmanlara sahip AA2024-T3 levhalar sabit kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma nokta kaynağı tekniği ile birleştirilmiştir. Bahsi geçen iki ara katmandan ilki AA-6061 alüminyum alaşımı tozu olup, diğeri SiCp partikül takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit tozudur. Kaynak parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkilerini tespit etmek için çekme-makaslama testi, vickers mikrosertlik testi, SEM ve EDS analizlerinden yararlanılmıştır. Deney sonuçları her iki ara katmanın da kayda değer bir artış sağladığını göstermiş olup, silisyum karbür partikül takviyeli metal matrisli kompozit toz ara katmanın kaynak performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum alaşımları, Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı, Toz, Silisyum Karbür.

## Giriş

Yüzyıllar boyunca, mühendisler ve üreticiler, gökdelenler ve köprüler inşa ederken ya da otomobil ve uçakları monte ederken metal yapıları birleştirmek için benzer kaynak yöntemlerini kullanmışlardır. Farklı metallerin birleştirilmesi, çoğunlukla ısı ile ergitmeden yararlanılarak yapılmıştır. Bununla birlikte, 1990'ların başlarında, yeni bir kaynaklı birleştirme metodu ortaya çıkmış olup, kaynak için yüksek sıcaklık yerine sürtünmeyi kullandığı için "Sürtünme Karıştırma Kaynağı" (SKK) adı verilmiştir. Bu yeni teknik çok daha esnektir, kaynaklı üründe daha az deformasyona sebep olurken aynı zamanda çevre için başka herhangi bir kaynak yönteminden daha fazla enerji tasarrufu sağlar. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) bu metodun daha da geliştirilmesiyle

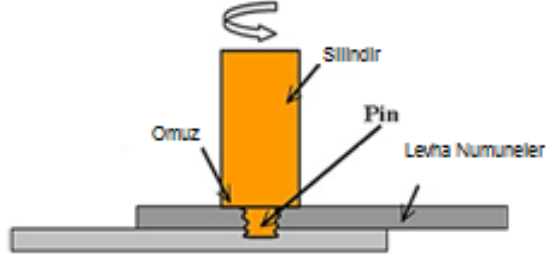


bulunmuş bir yöntemdir. SKNK ile hem aynı cins malzemeleri, hem de farklı malzeme kombinasyonlarını birleştirmek mümkündür. Katı hal kaynak tekniği olan SKNK, Mazda Motor Corporation ve Kawasaki Heavy Industry tarafından, alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için SKK' nın bir uzantısı olarak geliştirilmiştir. (Sakano, et al., 2001) (Iwashita, 2003). SKNK yöntemi, SKK yönteminden türetilen yeni bir kaynak yöntemidir ve son zamanlarda sadece otomobil endüstrisinde değil, diğer endüstrilerde de büyük ilgi görmüştür. Her iki yöntemde de birleştirme mekanizmaları çoğunlukla benzerdir. Ancak, bu iki yöntem arasında uygulamada bazı farklılıklar vardır. SKNK yönteminin SKK' dan en önemli farkı, kaynak ucunun dikey yönde hareketi haricinde başka hiçbir yönde hareket etmemesidir. Yöntem, SKK yönteminde kullanılan kaynak omzuna benzer, dalma, karıştırma ve geri çekme olarak adlandırılan bir omuz ile çok basit bir üç aşamalı uygulamaya sahiptir. SKNK ile birleştirilen kaynaklı bağlantının görünümü, otomobil gövdelerinin montajında yaygın olarak kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı'na (EDNK) benzer. Bununla birlikte, otomobil karoseri montajının ilk kaynak yöntemi olan EDNK kullanılarak; alüminyum alaşımları ve gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler gibi birçok hafif yapı malzemesi birleştirilirken, zorluk çekilebilmektedir. Bu nedenle, SKNK yönteminin, otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan EDNK yönteminin yerini alabilecek yeni bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bu konuda emek veren pek çok araştırmacının çalışmalarından yararlanılarak; takım hızının, takım derinliğinin ve bekleme süresinin kaynağın çekme mukavemeti üzerinde büyük bir etkisi olduğu sonucu çıkartılabilmektedir. (Mert & Mert, 2013) Daha önce belirtildiği gibi, SKNK, alüminyum ve alaşımlarını ve daha pek çok malzemeyi birleştirmek için çok uygun bir yöntemdir. (Babu, Janaki Ram, Venkitakrishnan, Madhusudhan Reddy, & Prasad Rao, 2012) SKK'ya benzer şekilde, SKNK işlemi boyunca en yüksek sıcaklığı, kaynaklı malzemenin erime noktasından daha düşüktür. (Mahmoud & Khalifa, 2014) Bu nedenle; sıcak çatlaklar, yüksek kalıntı gerilme gibi kaynak kusurlarının oluşması büyük oranda önlenmektedir. (Su, Gerlich, North, & Bendzsak, 2007) Bu çalışmada, alüminyum alaşımlı levha SKNK işlemiyle birleştirilmiştir. Özel olarak tasarlanmış bir karıştırıcı uca sahip dönen bir alet üst plakaya girer. Alt plakanın altındaki bir destek omzu, makinenin pimi ve omzuna karşı gereken kuvveti tedarik etmeyi sağlar (Şekil 1).



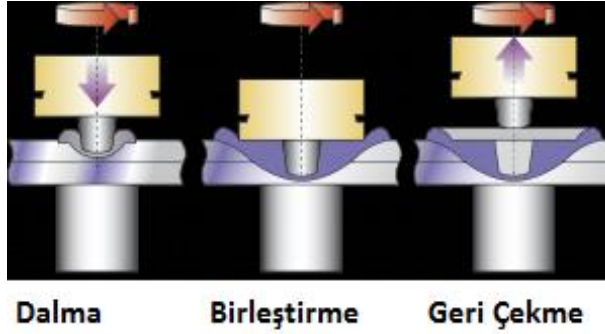
**Şekil 1.** SKNK işleminin yapıldığı tezgâhın görüntüsü

Karıştırıcı omzun iki temel işlevi vardır; bunlardan biri kaynak bölgesi için gereken ısıyı üretmek, diğeri ise kaynaklı birleştirmenin olması için malzemenin hareketini sağlamaktır. (Mishra & Mahoney, 2007)



**Şekil 2.** Kaynaklı bölümün dikey görünümü (Türker, Soytemiz, Bozkurt, & Salman, 2018)

Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı işleminde, Şekil 3'te gösterilen üç temel adım vardır; Dalma- Omuz, alın kaynağı için nüfuza başlama safhasındadır; Birleştirme - Takımın omuz kısmı parçaya temas eder, ısı ve bağlantı bölgesini oluşturur; Çekme - Omuz kaynaklanan bölgeden geri çekilir (Türker, Soytemiz, Bozkurt, & Salman, 2018).



**Şekil 3.** Sürtünme-Karıştırma Nokta Kaynak İşlemi'nin Şematik Gösterimi. (Boiocchi, 2014)

### Deneysel Çalışmalar

Ana levha malzeme olarak 100x25x1,6 mm ölçülerinde AA2024-T3 Alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. Hem AA2124 alüminyum metal matrisli kompozit hem de AA6061 alüminyum alaşımli levhaların toz kalınlığı 0,4 mm' dir. Tüm test numuneleri için kaynak bölgesi 25x25 mm olarak standartlaştırılmıştır. Alaşımın kimyasal kompozisyonu Tablo.1'de gösterilmiştir. SKNK deneyleri SKK uyumlu freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** AA2024-T3 levhaların kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mo	In	Nb
AA 2024-T3	97,38	2,08	0,183	0,183	0,094	0,029	0,025	0,024

Kullanılan SKNK takımının omuz ve karıştırıcı uç bölgesi, Alüminyum Titanyum Nitrat (AlTiN) kaplı, 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş ve 56 HRC sertliğe ulaştırılmıştır. SKNK'da omuz çapı 18 mm, karıştırıcı uç çapı ise 6 mm çapına sahiptir.

Kaynak hızı Takım dönme hızı 1500 rpm dev/dak. olarak belirlenmiştir. Takımın dalma süresi ve bekleme süresi 10 s olarak ayarlanmıştır. Takım eğim açısı ise; 0°'dir. Çekme makaslama testi, oda sıcaklığında Zwick Z010 üniversal tip çekme test cihazı ile 5 mm/sn'lik sabit bir hızda gerçekleştirildi. SKNK ile birleştirilen numunelerden en az 3 adet levha test edilerek ortalamaları alınmıştır. Vickers mikrosertlik testi, Future Tech FM-310e test cihazı kullanılmıştır. 200 gr yük ve 10 s' lik süre kullanılarak

ölçüm yapılmıştır. Kaynaklı numunenin alt ve üst kısımlarından her hizadan 20' şer ölçüm yapılmıştır.



Şekil.4 SKNK takımının görüntüsü a) pin, b) omuz

## **DeneySEL SonuÇlar ve Tartışma**

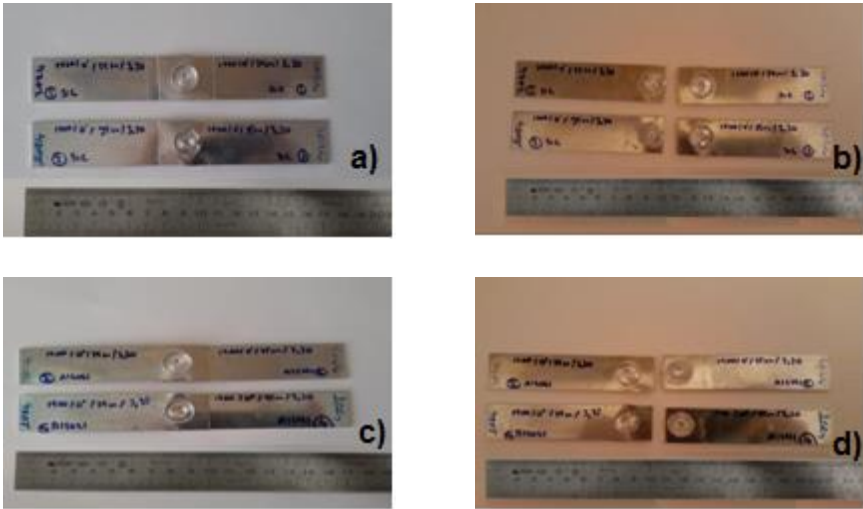
### **Çekme Makaslama Testi**

SKNK işleminde, 3.80 mm'ye kadar olan takım dalma derinliği çekme-makaslama kuvvetini artırır ve bu derinlikten sonra azalır. Bunun nedeni, takımın SKNK sırasında Al-alaşımli levha üzerinde aşırı derinlikli bir şekilde işlem görmesidir. Bu, omuzun üst levhaya temas ettiği bölgede (kaynak bölgesinde) levhanın üst yüzeyinde incelmeye sebebiyet vermektedir. Karıştırıcı uç uzunluğu ve profilindeki farklılıklar malzemenin karıştırılmasında, akışın sağlanmasında vb. doğrudan bir etkiye sahiptir. Kaynaklı levha çiftleri ASTM-D638 standartlarına göre aşağıdaki Şekil 5'te gösterildiği çekme-makaslama testine (ÇMT) tabi tutulmuşlardır.



**Şekil 5.** (a).Zwick Z010 Çekme test cihazı,(b)Cihaza bağlanmış test numunesi

SKNK işlemi sırasında, takım dalma derinliği ve bekleme süresi, karıştırıcı uç etrafındaki metal akışını, ısı oluşumunu, kaynak dayanımını ve geometriyi belirlemektedir. SKNK ile birleştirilen numunelerden her parametre için örnekler test edildi ve ortalamaları alındı. SKNK kaynaklı numune levhalarının görünüşleri (AA2024), Şekil 6'da gösterilmiştir.

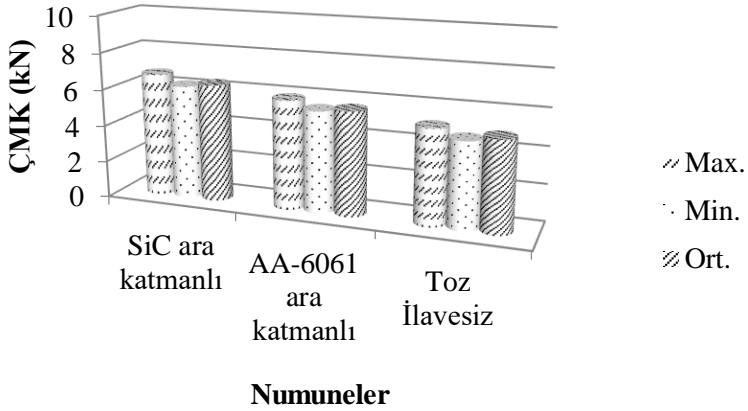


**Şekil 6.** Çekme testi öncesi ve sonrası numuneler ;(a) Çekme öncesi SiCp toz ara katmanlı numuneler, (b) Çekme sonrası SiCp toz ara katmanlı numuneler, (c) Çekme öncesi AA6061 toz ara katmanlı numuneler, (d) Çekme sonrası AA6061 toz ara katmanlı numuneler

SKNK ile birleştirilen numunelerin Çekme-Makaslama Mukavemeti sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Şekil 7’de ise grafik halinde gösterilmiştir.

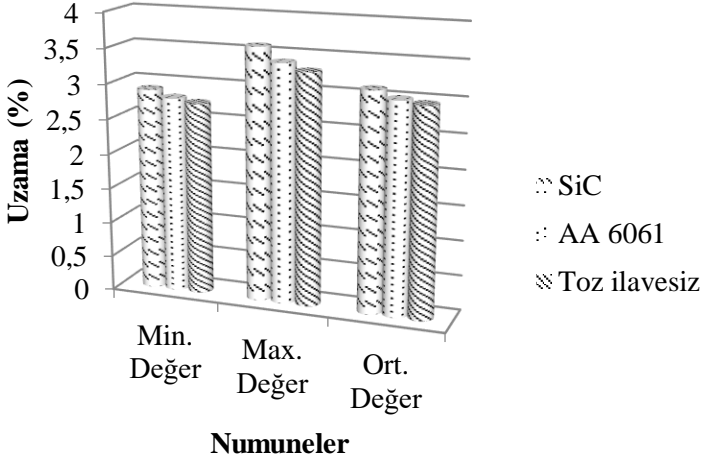
**Tablo 2.** Çekme Testi Sonuçları.

	ÇMT (kN)	ÇMT (kN)	ÇMT (kN)
	SiCp metal matrisli Toz ilave edilmiş numuneler	AA 6061 tozu ilave edilmiş numuneler	Toz ilavesiz AA2024-T3 numuneler
Max.	6,75	5,95	5,16
Min.	6,20	5,50	4,67
Ort.	6,40	5,65	4,92



**Şekil. 7.** Çekme-makaslama testi sonuçları grafiği.

Çekme sonuçları; SiC toz ara katman ilaveli numuneler için ortalama 6,40 kN, uzama değeri % 3,12 olarak saptanmışken, AA6061 toz ara katman ilaveli numuneler için ortalama sonuç 5,65 MPa, uzama değeri % 3,01 olmuştur. ÇMT sonuçlarından SiC ara katman ilaveli numunelerden daha iyi sonuçlar elde edildiğini, fakat AA6061 ara katman ilaveli numunelerin sonuçlarının da başarısız olmadığı söylenebilmektedir. % uzama değerleri Şekil.8’de verilmiştir.

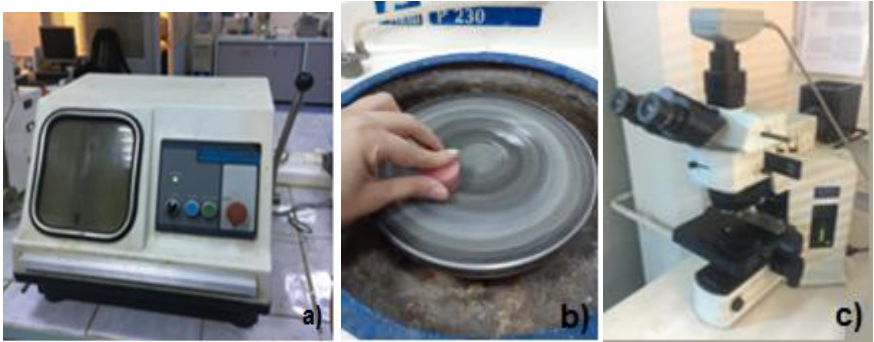


Şekil

8. Minimum ve Maksimum % uzama değerleri.

### Metalografik İnceleme

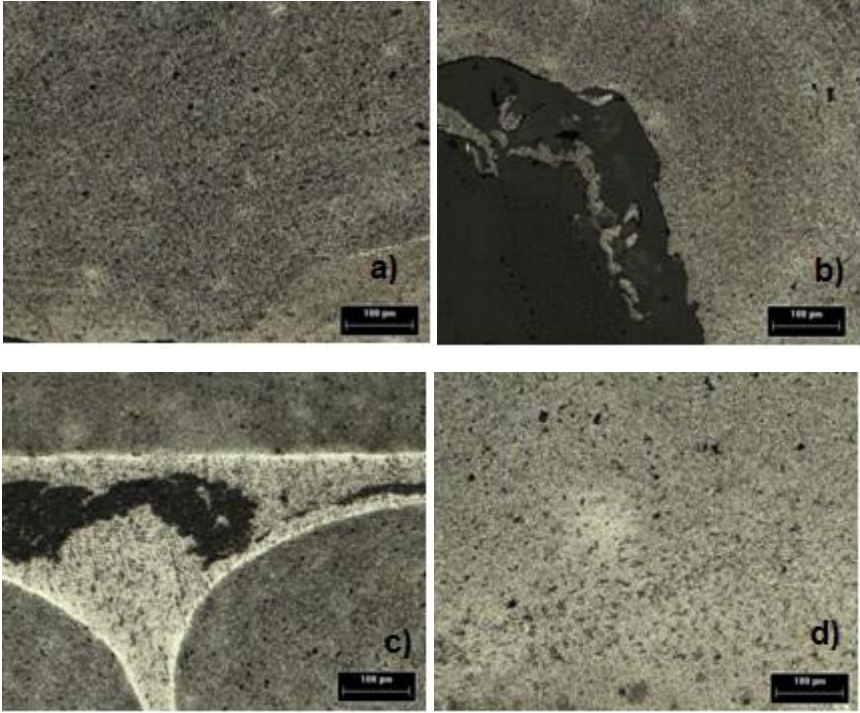
SKNK numunelerinin kaynak bölgesi üzerinden Buehler Abrasimet 2 cihazı ile uygun kesitte parçalar kesilmiştir. Kesilen parçalara bakalit kaplama işlemi yapılmış, sonrasında zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri ile mikroyapı incelemesine uygun hale getirilmiştir. Mikroyapı görüntüleri Olympus BX61M model mikroskop cihazından alınmıştır. Metalografik işlemlerde kullanılan numune kesim cihazı, mikroskop ve zımparalama ve parlatmanın yapıldığı cihaz Şekil 9'da gösterilmiştir. Zımpara olarak 180,320,500,800,1200 ve 2500 ölçekli zımparalar kullanılmış olup, dağlama reaktifi olarak Keller reaktifi kullanılmıştır.



Şekil 9. Metalografik İnceleme için kullanılan cihazlar;(a) Numune kesme işlemi yapılan Buehler Abrasimet 2, (b) Presi Mecapol P 230 Parlatma Tezgahı, (c) Mikroyapı görüntülerini alırken kullanılan Olympus BX61M model mikroskop

Kaynaklı bağlantının merkezindeki kaynak bölgesinin boyutu, kullanılan kaynak takımının geometrisine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. SKNK ile birleştirilen bu parçalarda, kaynak bölgesi (KB), termo-mekanik olarak etkilenen bölge (TEB), ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve esas metal (EM) bölge olarak toplamda dört bölge bulunmaktadır. Şekil 10 'da görüldüğü gibi I. bölge esas metali, II. bölge ısı ITAB'ı, III. bölge TEB'i ve IV. bölge kaynak bölgesini temsil etmektedir. Bu bölgelerdeki mikro yapılarda oluşan değişimlerin, mekanik özelliklere önemli etkiler yaptığı yapılan pek çok çalışmada tespit edilmiştir. Takımın dönme hızı düşük olursa, oluşan kanca şeklinin yüksekliği daha fazla olur. Bundan dolayı üstteki ve alttaki levha malzemeler arasında ortaya çıkan mekanik kilitlenme, daha yüksek bir takım dönme hızı altında yapılan kaynaktaki kancanınkinden daha güçlüdür. TEB'de deformasyon yüksek olup, gerilme daha düşüktür. ITAB, kaynak esnasında termal bir etkide kalıyor olsa da, bu bölgede deformasyon gözlenmez. ITAB'ın sıcaklığı TEB'den daha düşüktür ancak kaynak esnasında oluşan kararsız mikroyapılar kaynağın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir. Buradaki plastik deformasyon yüksek ölçüdedir ve yüksek sıcaklıkla birlikte yeniden kristalleşmeye yol açabilme riskini doğurmaktadır. Kaynak sonrasındaki mikroyapılar hem Şekil 10'da gösterilmiştir.





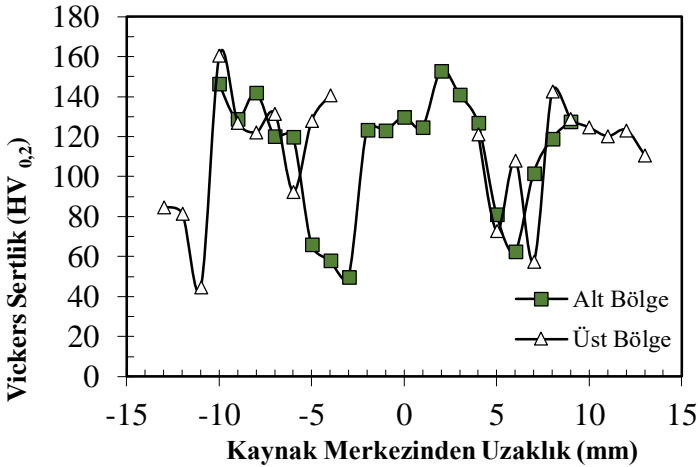
**Şekil.10.** Kaynaklanan numunelerin 4 farklı bölgesinin 100x büyütmedeki görüntüleri; (a). Kaynak Bölgesi, (b). Kaynak Bölgesi+TEB, (c). ITAB, (d) Ana metal

Tane boyutu çatlak büyümesini etkileyebilecek önemli bir mikroyapı parametresidir. Özellikle korozif ortamlarda kaynak bölgesindeki tane boyutu değişimi önem arz etmektedir. SKNK sırasında yeniden kristalleşmenin aktif bir şekilde olduğu karışım bölgesinde eş boyutlara

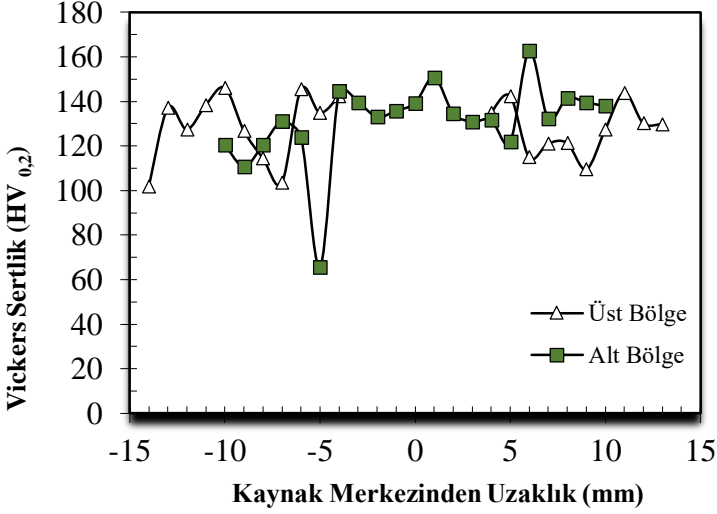
sahip daha ince taneler meydana geldiği kabul edilmektedir. Tanelerin boyutu üzerindeki en büyük etkileri; belirlenen SKNK parametreleri, kullanılan takımın geometrisi, kaynak işlemi yapılacak iş parçasının bileşimi, iş parçasının sıcaklığı, basınç gibi parametreler yapmaktadır. Şekil 10' da SKNK ile birleştirilmiş numunelerin makro ve mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Karışım bölgesi ve TMEB olarak gösterilen bölge uzunluğu takım dönme yönünde ve takım dönme yönünün tersinde aynı kaynak dikiş kalınlığı bulunmuştur. Bu sonuç bize takımın homojen bir şekilde iki farklı levhayı birleştirebildiğini göstermektedir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında oluşan kaynak metali kullanılan takım piminin yapısına benzemektedir. Takımın omuzu dalma sırasında üst yüzeydeki malzemeyi kenarlara doğru fıskırtarak çapak oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda da bu şekilde olduğundan ve üst malzeme yüzeyinde bir miktar çökmeye müsade edildiğinden literatürdeki çalışmalarla uyumludur (Badarinaraya, Hunt, & Okamoto, 2007) Kaynak süresi hesaplamalara uygun tutulmuştur. SKNK' daki birleşme hattı ölçümleri, optik mikroskop yardımı ile yapılmıştır.

### Vickers Mikrosertlik Testi

Vickers Mikrosertlik Testi için Future Tech FM-310e test cihazı kullanılmıştır. Yük 200 gr olarak belirlenmiş olup, süre 10sn olarak belirlenmiştir. Kaynaklı numunenin alt ve üst kısımlarından her hizadan 20'şer değer alınmıştır.



**Şekil 11.** AA 6061toz Ara Katmanlı Numunelerin Vickers Deneyi Sonuçları.



**Şekil 12.** SiC Toz Ara katmanlı Numunelerin Vickers Deneyi Sonuçları.

## Sonuçlar

Bu çalışmada iki çeşit örnek incelenmiştir. SiC metal karbür tozu alüminyum levhalar ve AA6061 alaşımli tozlar ile alüminyum alaşımli levhalardır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı işleminin etkileri, 1,6 mm kalınlığındaki AA 2024-T3 ana metalin mekanik özellikleri ile incelenmiştir. Numunelerin hepsi SKNK yöntemleriyle birleştirilmiştir. Maksimum ve minimum LSTT belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Sonuçlar; SiCp kompozit toz ilaveli numuneler ile AA6061 toz ilaveli numuneler arasında benzerlik göstermiştir.

2. Tüm numuneler SKNK işlemleri ile test edildi, maksimum çekme-makaslama kuvveti SiC tozu ilaveli AA2024 alaşımli numunelerden 6,75 kN, AA6061 tozu ilaveli AA2024 alaşımli numunelerden 5,95 kN, Toz ilavesiz numunelerden ise 5,16 kN olarak belirlenmiştir. Ortalama ÇMK kuvveti, AA2024-T3 örneklerinde; SiC metal karbür tozu ilaveli olanlar için 6,40 kN, AA6061-alaşımli ilaveli AA2024-T3 numuneler içinse 5,65 kN olarak belirlenmiştir.

3. ÇMK test sonucu, SiC kompozit tozunun numunelerin çekme mukavemetini ortalama değerlere göre %30,08 oranında, AA6061 toz malzemesinin ise numunelerin çekme mukavemetini ortalama değerlere göre %14,84 oranında artışına katkı sağladığı gözlenmiştir.
4. Mikroyapılar incelenirken karışım bölgesinin esas metal kısmından daha farklı bir yapı gösterdiği, ITAB bölgesinde kanca hatasının literatüre uygun olarak ortaya çıktığı gözlenmiştir.
5. Vickers mikro sertlik değerleri, bölgelerin mikro yapı özelliklerine bağlı olarak değişmiştir ve en yüksek 162,7 HV değeri, karıştırma bölgesine yakın olan ısı tesiri altında kalan bölgede ölçülmüş olsa da değerlerin birbirine benzer olduğu tespit edildi. En düşük sertlik değerleri ITAB bölgesinin esas metale yakın olduğu bölgelerde olduğu gözlemlendi.
6. Daha önce bahsedilen diğer gerçeklere ek olarak, bekleme süresi, dönme hızı ve dalma derinliği tarafından takip edilen eklem özelliklerinin kararlaştırılmasında önemli bir rol oynamıştır.

### **Kaynakça**

- Babu, S., Janaki Ram, G., Venkitakrishnan, P., Madhusudhan Reddy, G., & Prasad Rao, K. (2012). *Materials Science and Technology* , s. 414-426.
- Badarinaraya, H., Hunt, F., & Okamoto, K. (2007 ). *Friction Stir Welding and Processing. Friction Stir Spot Welding, American Society for Metals* , 235-250.
- Boiocchi, F. (2014, 02 18). Process phases of Friction Stir Spot Welding. 10 14, 2019 tarihinde *Metal Working World Magazine*: [https://www.metalworkingworldmagazine.com/friction-stir-spot-welding-applied-to-tp-aa6061-t4-sheet-metals/lam\\_2014\\_001\\_ricerca1\\_1/](https://www.metalworkingworldmagazine.com/friction-stir-spot-welding-applied-to-tp-aa6061-t4-sheet-metals/lam_2014_001_ricerca1_1/) adresinden alındı
- Güler, H. (2014). The Mechanical Behavior of Friction-Stir Spot Welded Aluminum Alloys. *JOM* , 2156-2160.
- Iwashita, T. (2003). Method And Apparatus For Joining, Us Patent Issued On August 5.
- Mahmoud, T., & Khalifa, T. (2014). *Journal of Materials Engineering and Performance* , s. 898-905.
- Mert, Ş., & Mert, S. (2013). *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* , s. 26-35.

Mishra, R., & Mahoney, M. (2007). Friction Stir Spot Welding. American Society for Metals , s. 235-250.

Sakano, R., Murakami, K., Yamashita, K., Hyoe, T., Fujimoto, M., Inuzuka, U., et al. (2001). Development Of Spot Fsw Robot System For Automobile Body Members. Proceedings Of The Third Int. Symposium Of Friction Stir Welding.

Shen, Z., Yang, Z., Zhang, Z., Cui, L., & Li, T. (2013). Materials & Design , s. 476-486.

Su, P., Gerlich, A., North, T., & Bendzsak, G. (2007). Metallurgical and Materials Transactions A , s. 584-595.

Türker, A., Soytemiz, G., Bozkurt, Y., & Salman, S. (2018). 5 th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'18). Sarajevo-Bosnia and Herzegovina.

# SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN NİKEL KAPLANMIŞ AA2024 LEVHALARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Murathan KALENDER<sup>1</sup> & Halil ULUPINAR<sup>2</sup> & Ecem ORUÇ<sup>3</sup>  
Yahya BOZKURT<sup>4</sup>**

<sup>3</sup>*Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

<sup>1,2,4</sup>*Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

**Özet:** Günümüzde alüminyum, dayanım/ağırlık oranının yüksek olması, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, üstün korozyon dayanımı, yaşlanma ile dayanımının artırılabilmesi, işlenebilme ve dökülebilme kolaylığı gibi pek çok özellikten dolayı tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle kolay olmamaktadır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, birçok avantajı nedeniyle, otomotiv ve havacılık sektörleri dâhil olmak üzere çeşitli endüstrilerden büyük ilgi görmüş olan bir katı hal kaynak prosesisidir. Al, Cu, Mg ve polietilen gibi malzemelerin kaynağı bu kaynak yöntemi ile sorunsuz bir şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmada, nikel kaplanmış ve kaplanmamış AA2024-T3 levhalar sabit kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma nokta kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Elde edilen mekanik ve mikroyapısal deneyler sonucunda birleştirilen parçaların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, kaynak teknolojileri, nikel, sürtünme karıştırma nokta kaynağı.

## Giriş

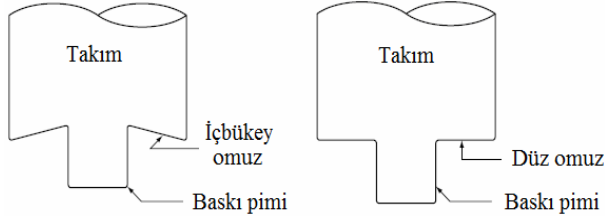
Günümüz teknolojisinde malzemelerin düşük sıcaklıklarda birleştirilmeleri tasarım ve konstrüksiyon açısından çok önemlidir. Bu malzemelerin ergitmeli yöntemler ile birleştirilmesi zordur. Bu malzemelerin birleştirilmesi, yüksek teknoloji gerektiren katı hal kaynak teknikleri ile mümkündür. Ergitmesiz kaynak yönteminde malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir (Kurt, 1990).

Elektrik direnç nokta kaynağına (EDNK) alternatif olarak geliştirilen ve sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi temel alınarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi, kaynak teknolojisi konusunda karşımıza çıkan en son gelişmelerden birisidir. Yöntem, nokta sürtünme kaynağı veya sürtünme nokta birleştirmesi olarak da adlandırılmaktadır (Coşkun, 2009). SKNK yöntemi alüminyum alaşımları başta olmak üzere magnezyum, kurşun, alaşımsız çelik ve yüksek alaşımlı çeliklerin noktasal birleştirilmelerinde kullanılmaktadır. Bu alaşımların ergitmeli

birleştirilmelerinde kalitesinde büyük sorunlar meydana gelmektedir (Yamamoto, Gerlich, North & Shinozaki, 2007). SKNK yöntemi bir katı hal kaynak yöntemi olduğu için kaynak esnasında ergime meydana gelmediği için ergitmeli kaynaklarda yaşanan kalite problemleri SKNK yönteminde görülmemektedir. SKNK yönteminin büyük benzerlikler gösterdiği elektrik direnç nokta kaynağından daha az teçhizat maliyeti ve çok düşük enerji tüketimi gerektiği için EDNK'ya göre önemli bir ekonomik avantaj sağlamaktadır. SKNK yönteminde ergitme gerçekleşmediğinden dolayı kaynak bölgesinde ergitmeli kaynak yöntemlerine göre, kalıntı gerilme oluşumu ve çarpılmalar çok az oranlarda görülmektedir. İşte bütün bu özellikler dikkate alındığında SKNK yönteminin endüstride uygulama alanı bulması oldukça kolay bir hale gelmiştir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında ergitme oluşturmaksızın gerçekleştirilebilecek olan SKNK yöntemi endüstride yoğun bir şekilde kullanılır duruma gelmiş olmasına rağmen çelik için aynısı söz konusu değildir. Uzun ömürlü araç yapımına yönelik projelerin son yıllarda artmasıyla SKNK yöntemi ile birleştirmenin önemi bir kez daha ortaya çıkmış ve bu konularda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Matsuyama, 2006).

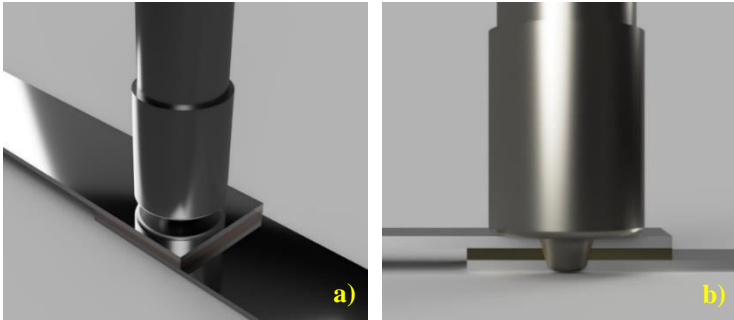
Son yıllarda otomotiv sektöründe genellikle kullanılan çelik sacların yerine daha hafif alaşımların kullanılması yönünde önemli kararlar alınmaktadır. Otomobil gövde yapımında ve kapalı panellerde; bagaj kapağı, motor kapağı gibi arabanın birçok bölgesinde alüminyum alaşımı saclar ya da daha ince kesitlerde yüksek mukavemetli çelik saclar kullanılarak gövde ağırlığı azaltılmıştır. Ağırlığın azaltılması otomotiv endüstrisinde önemli yakıt tasarrufları sağlamaktadır (Mishra & Mahoney, 2007). Alüminyum sacların EDNK işleminde bazı büyük problemler meydana gelmektedir. Bu problemlerin başında; çatlama, porozite ve kaynak elektrot aşınması gelmektedir (Thornton, Krause & Davies, 1996), (Spinella, Brockenbrough & Fridy 2009). Alüminyum alaşımlarında yüksek akım ile çalışılması kaynak elektrotun aşınma ömrünün kısa olmasına sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklara ısınan bakır bazlı elektrotun alüminyum iş parçasına temas yüzeyinde Cu-Al alaşımı oluşur. Elektrot temas ucunda oluşan alaşımlar elektrot ucunda elektrik iletkenliğini azaltır. Bu sebeple elektrot, ile iş parçası arasındaki temas direnci arttığı için kaynak kalitesi düşmektedir. Alüminyum alaşımlarının termal genleşme özelliği çeliklere göre daha yüksek olduğu için kaynak esnasında kaynak bölgesinde genleşme ve büzülme daha fazla olmaktadır. Bu yüksek şekil değişimleri yüksek lokal gerilmelerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu yüksek gerilmeler çatlamalara sebebiyet vermektedir (Thornton, Krause & Davies, 1996). SKNK uygulamalarında kaynak edilecek malzemenin cinsine bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip takımlar kullanılmaktadır. Önceki çalışmalarda alüminyum ve alüminyum alaşımları için kullanıldığında alaşımsız çeliklerden yapılmış takımlar ile

iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak ısı işlem görmüş bazı alüminyum türlerinde kullanıldığında takımın aşınmasına ve kısa sürede kırılmasına neden olmuştur. Zaman içinde alaşımsız çelik takımlar yerini alaşımlı çelik takımlara bırakmıştır (Kahraman, 2009). SKNK prosesinde kullanılan takımlar, takım omuz yapısına göre içbükey veya düz olabilmektedirler (Lin & Pan, 2008). SKNK yönteminde kullanılan bazı takım omuz yapıları Şekil 1’de gösterilmektedir.



**Şekil 1.** SKNK yönteminde kullanılan takım omuz yapıları (Lin & Pan, 2008).

SKNK yönteminin endüstride kullanımı yöntemin gittikçe kavranması ile hızla artmaktadır. Günümüzde birleştirilmesi için yüksek ergime sıcaklığına ihtiyaç duyulan malzemeler bu yöntemle birleştirilmektedir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerde güçlü tezgâhlar, özel takım malzemeleri ve takım tutucuları kullanılmaktadır. Kullanımı zamanla artan SKNK yönteminin uygulama alanları da gün geçtikçe artmaktadır. SKNK yönteminin ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde gelişmesini sağlayabilmek için de kaynak sırasında kullanılan alet, donanım ve makinelerinde geliştirilmesi gerekmektedir (Meran & Çolak, 2008). Yüksek oranda freze esaslı makinelerde gerçekleştirilen SKNK tekniğinin kaynak esnasındaki şematik gösterimi Şekil 2’te verilmiştir.



**Şekil 2.** SKNK yönteminin şematik gösterimi a) Omuzun birleştirilecek levhalara dalmadan önceki hali, b) Omuz ve karıştırıcı ucun birleştirilecek levhalara dalmış halinin kesit görüntüsü.



Bu çalışmada, kaplanmamış AA2024-T3 ve Ni kaplanmış AA2024-T3 alüminyum levhalar SKNK ile birleştirilmiştir. Elde edilen mekanik ve mikroyapısal testler sonucunda kaynak performansı değerlendirilmiştir. AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 ve AA2024-T3/AA2024-T3 levhaları sabit kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Maksimum ve minimum çekme makaslama kuvveti, çekme testi sonucu ile değerlendirilmiştir.

## Deneyel Çalışmalar

### Malzemeler

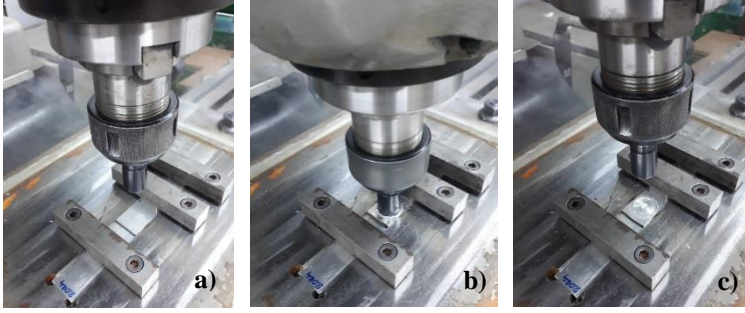
Yapılan çalışmada, SKNK işlemi için 1,6 mm kalınlığında kaplanmamış AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha ve Ni kaplı AA2024-T3 alüminyum alaşımı levha kullanılmıştır. AA2024-T3 alüminyum ve Ni alaşımının mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Alüminyum levhalar 25x100 mm boylarında ve Ni levhalar 25x25 mm boylarında kesilmiştir. Levha üzerine uygulanan kaynak bölgesi 25x25 mm olarak belirlenmiştir. SKNK işlemi yapılan freze makinesinde SKNK esnası Şekil 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** AA2024-T3 alüminyum alaşımının mekanik ve kimyasal özellikleri.

Malzeme	Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça %)							
	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
AA 2024-T3	435	17	93.1	0.07	0.14	4.5	0.65	1.5	0.01	0.02

**Tablo 2.** Nikel alaşımının mekanik ve kimyasal özellikleri.

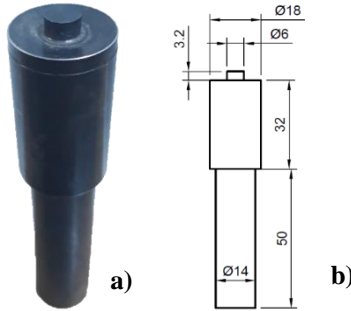
Malzeme	Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça %)						
	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Ni	Cu	Fe	Mn	C	Si	S
Ni	385	43	99	0.25 (max)	0.40	0.35	0.15	0.35	0.01 (max)



**Şekil 3.** a) İşlem öncesi parçaların fikstüre sabitlenmesi, b) SKNK yönteminin uygulanması, c) SKNK işlemi sonrası birleşen numuneler.

### SKNK İşlemi ve Kaynak Parametreleri

SKNK işleminde Alüminyum Titanyum Nitrat (AlTiN) kaplı takım kullanılmıştır. Bu takım 1.2344 kalite sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. SKNK takımının omuz çapı 18 mm, karıştırıcı uç çapı 6 mm olarak imal edilmiştir. Kullanılan takım ve ölçüleri Şekil 4'de gösterilmiştir. SKNK işleminde takım dönme hızı 1040 dev/dak. olarak sabitlenmiştir. Takımın kaynak bölgesindeki süresi 10 saniye olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.** a) SKNK işleminde kullanılan takım, b) SKNK işleminde kullanılan takımın ölçüleri.

### Çekme Makaslama Deneyi

Birleştirilmiş AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 ve AA2024-T3/AA2024-T3 deney numuneleri ASTM-D638 standartına göre test edilmiştir. Çekme deneyi Zwick Z010 model çekme test cihazında gerçekleştirilmiş olup Şekil 5'te gösterilmiştir. Çekme testi oda sıcaklığında ve 5 mm/sn.'lik sabit çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi uygulanmış numuneler Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. a) Zwick Z010 model çekme test cihazı, b) Makine çenesine bağlanmış test numunesi.



Şekil 6. a) Çekme-makaslama testi öncesi AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 kaynaklanmış numuneler, b) Çekme-makaslama testi sonrası AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 birleştirilmiş numuneler, c) Çekme-makaslama testi öncesi AA2024-T3/AA2024-T3 birleştirilmiş numuneler, d) Çekme-makaslama testi sonrası AA2024-T3/AA2024-T3 birleştirilmiş numuneler.

## Mikroyapı

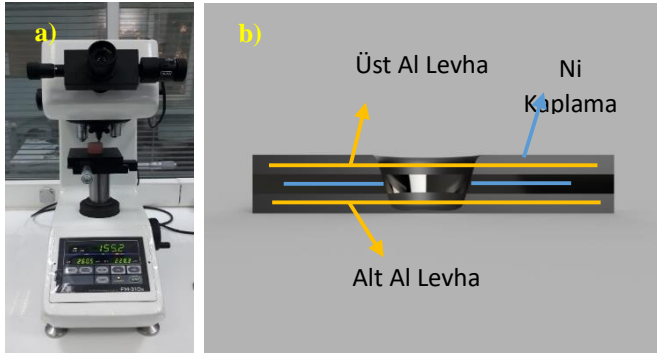
Hazırlanan kaynak numunelerinin kaynak bölgesi üzerinden Buehler Abrasimet 2 cihazı ile uygun kesitte parçalar kesilmiştir. Kesilen parçalara bakalitleme işleminden sonra metalografik işlemler uygulanmıştır. Mikroyapı görüntüleri Olympus BX61M model mikroskop cihazından alınmıştır. Metalografik işlemlerde kullanılan numune kesim cihazı ve mikroskop cihazı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. a) Numune kesme işlemi yapılan cihaz, b) Mikroyapı görüntüleri alınan mikroskop cihazı.

### Mikrosertlik

Mikrosertlik deneyleri için, Şekil 8a'daki FM-310e marka mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Şekil 8b'de gösterildiği gibi SKNK kesitinden kesilen numunelerden, alt ve üst bölgelerden x hattı boyunca her iki yönde olmak üzere 1'er mm aralıklarla ölçüm alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri 10 sn'lik bir süre ve 200 gr yük parametrelerinde alınmıştır.



Şekil 8. a) Kullanılan FM-310e marka mikrosertlik cihazı, b) Numune üzerinde sertlik alınan x ekseni bölgeleri.

### Sonuçlar ve Tartışma

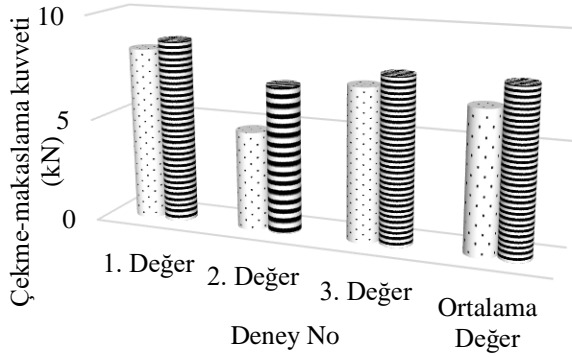
#### Çekme Makaslama Deneyi Sonuçları

SKNK işlemi sonucu yapılan çekme testlerine bakıldığında optimum çekme mukavemetinin karıştırıcı ucun 2.8 mm derinliğe kadar daldırıldığı numunelerde olduğu görülmektedir. Dalma derinliği 2.8 mm'nin daha üstündeki bir değer ile birleştirilen numunelerde mukavemet değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni birleştirilen bölgenin altında kalan metal kalınlığının incelmesidir. Çekme-makaslama kuvvetini etkileyen

diğer faktörlerden biri de kullanılan karıştırıcı ucun uzunluğu ve profilidir. Karıştırıcı ucun profili birleştirilen bölgedeki malzeme akışını doğrudan etkilemektedir. SKNK işlemi sırasındaki karıştırıcı uç uzunluğu ve dalma derinliği de malzeme akışını etkileyecektir. Ayrıca bu parametreler ısı oluşumunu etkileyerek kaynak dayanımını belirlemektedir. SKNK işleminde 18 mm'lik omuz çapı ve 6 mm'lik karıştırıcı uç çapına sahip takım kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalara dayanarak takım dalma süresi 10 sn değerinde sabit tutulmuştur (Bozkurt, Türker & Salman, 2018). SKNK yöntemi ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama deneyi sonuçları Tablo 4' de gösterilmiştir. Sonuçlar, Şekil 9 ve Şekil 10' da grafik olarak verilmiştir. Numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Ara malzeme ilavesiz (kaplama olmadan) birleştirilen numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 6,78 kN ve % uzama değeri % 3,56 olarak görülmüştür. Ni kaplanmış numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 7,91 kN ve % uzama değeri %3,23 olarak belirlenmiştir. Karıştırıcı ucun etki ettiği gerilim sonucunda ısı ve karıştırma etkisinde kalan bölgeye doğru gidildikçe sertlikte artış elde edilmiştir. Bu sertlik artışının alüminyum ve kaplama ile etkileşiminden ve dinamik yeniden kristalleşmeyle oluşan ince taneli yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir (Kaçar, Emre, Demir & Gündüz, 2011).

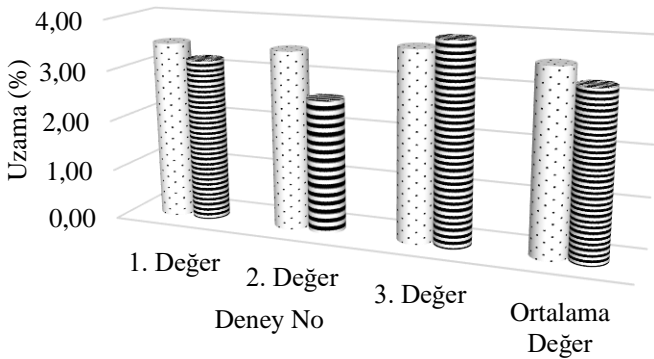
**Tablo 3.** Çekme makaslama deneyi sonuçları.

Deney No	AA2024-T3/AA2024-T3	AA2024-T3/Ni/AA2024-T3	AA2024-T3/AA2024-T3	AA2024-T3/Ni/AA2024-T3
	Çekme-makaslama kuvveti (kN)		Uzama (%)	
1	8.31	8.79	3.7	3.9
2	7.30	7.91	3.5	3.2
3	4.74	7.03	3.5	2.6
Ortalama	6.78	7.91	3.56	3.23



AA2024-T3/AA2024-T3

**Şekil 9.** AA2024-T3/AA2024-T3 ve AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 malzeme çifti için çekme makaslama deneyi yük değerleri.

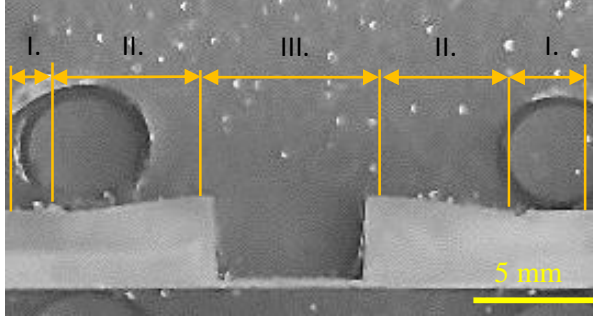


AA2024-T3/AA2024-T3 ≡ AA2024-T3/Ni/AA2024-T3

**Şekil 10.** AA2024-T3/AA2024-T3 ve AA2024-T3/Ni/AA2024-T3 malzeme çifti için uzama değerleri.

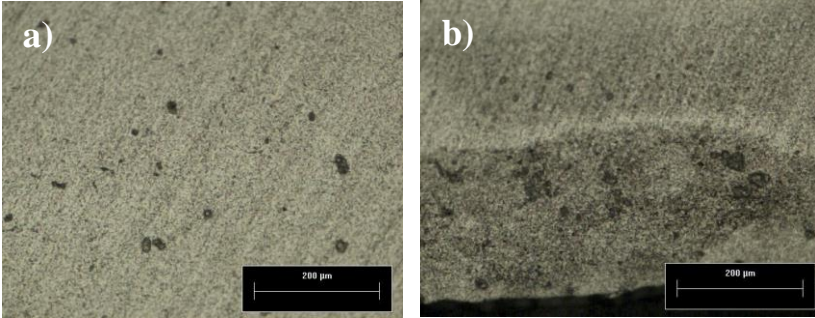
### Mikroyapı Sonuçları

Birleştirmenin merkezinde bulunan kaynak bölgesinin boyutu, kullanılan kaynak takımının geometrisine bağlı olarak değişmektedir. SKNK ile birleştirilmiş parçalarda, karışım bölgesi (KB), termo-mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB), ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana metal bölgesi olarak toplamda dört bölge bulunmaktadır. Şekil 11'de görüldüğü I. bölge ITAB'ı, II. bölge TMEB'i ve III. bölge karışım bölgesini göstermektedir. Bu farklı bölgelerdeki mikro yapı değişimleri kaynak sonrası mekanik özelliklere önemli etkiler yapmaktadır.



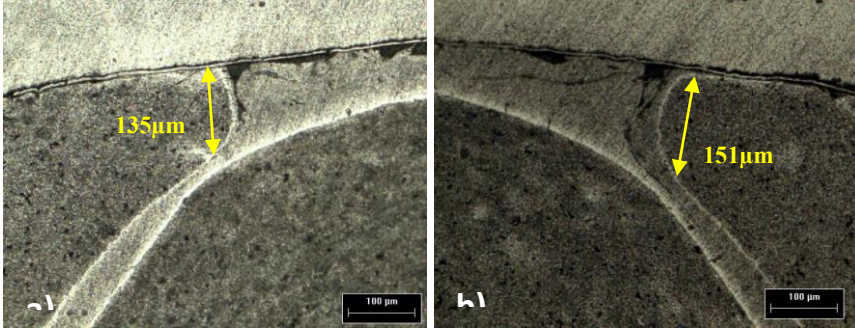
**Şekil 11.** SKNK ile birleştirilmiş parçalarda oluşan bölgeler.

TMEB’de sıcaklık kaynak bölgesine göre daha düşük olduğundan burada gerilme düşüktür fakat deformasyon yüksektir. ITAB, kaynak esnasında termal bir çevrime maruz kalmakta fakat, deformasyon görülmemektedir. Buradaki sıcaklık TMEB’den daha düşüktür ancak kaynak esnasında oluşan kararsız mikroyapılar kaynağın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu TMEB yoğun plastik deformasyon ve yüksek sıcaklık yeniden kristalleşmeye sebep olmaktadır. Kaynak öncesi ve sonrasındaki mikroyapılar Şekil 12’de gösterilmiştir.



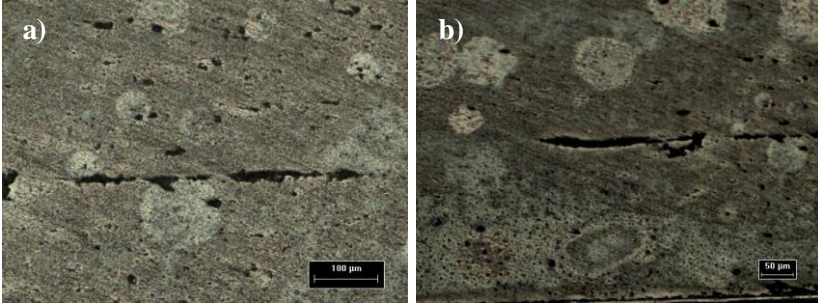
**Şekil 12. a)** Ana metal bölgesinin kaynak öncesi mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü, **b)** Kaynak metali bölgesinin kaynak sonrası mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü.

Y.C.Waterloo yaptığı çalışmada, farklı takım dönme hızları altında yapılan kaynaklar arasında kanca yüksekliği arasında bir fark olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, takımın dönme hızı azaldığında, kanca yüksekliğinin arttığını, böylelikle üst ve alt levhalar arasındaki mekanik kilitlemenin, daha yüksek bir takım dönme hızı altında yapılan birleştirmedeki kancanınkinden daha mukavemetlidir. Şekil 13’e bakıldığında kanca boylarının 135 µm ve 151µm olduğu belirlenmiştir. Bu durum ana ve ara metallerin birbirlerine tutunmasını arttırmış olup mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir (Yuyang & Waterloo, 2015).



**Şekil 13.** Kanca bölgesinin mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü, a) Kaynak bölgesinin solundaki (takım ilerleme yönünün tersi) ITAB bölgesinde kanca oluşumu, b) Sağ (takım ilerleme yönü) ITAB bölgesinde kanca oluşumu.

Tane boyutu önemli bir mikroyapı parametresidir ki bu parametre çatlak büyümesini etkileyebilir. Özellikle korozif bir ortamda karışım bölgesindeki tane boyutu değişimi önemlidir. SKNK sırasında dinamik olarak yeniden kristalleşmenin karışım bölgesinde eş boyutlara sahip ince taneler meydana getirdiği kabul edilmektedir. SKNK parametreleri, takım geometrisi, iş parçasının bileşimi, iş parçasının sıcaklığı, basınç ve aktif soğumanın SKNK malzemelerinde yeniden kristalleşmiş tanelerin boyutuna önemli bir tesiri olmaktadır. SKNK sonrası oluşan mikroyapı ve soğuma sırasında oluşan mikro çatlaklar Şekil 14’te gösterilmiştir (Yan, 2004).



**Şekil 14.** a) Çatlak olan bölgenin mikroskoptaki 100x büyütmedeki görüntüsü, b) Birleşmeme hatası olan bölgenin mikroskoptaki 50x büyütmedeki görüntüsü.

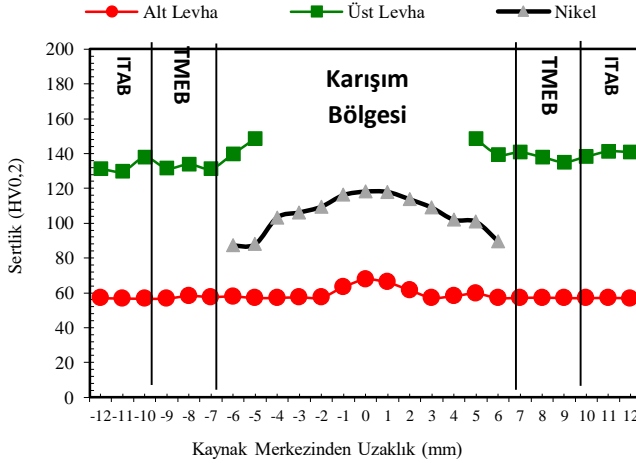
### Mikrosertlik Sonuçları

Al alaşımları ana hatlarıyla, çökelme sertleşmesi alaşımları ve katı çözünme sertleşmesi, alaşımları içerisinde sınıflandırılırlar. SKK, genellikle çökelme sertleşmesi yapılmış Al alaşımlarındaki karışım bölgesi civarında yumuşatılmış bir bölge meydana getirir. Kaynağın ısıl dönüşümü



esnasında, çökeltme sertleşmesi ile tane büyümesi ya da çözünmesiyle böyle bir yumuşak bölgeye sebebiyet verir.

SKNK sonrası Al levhalara baktığımızda kaynak bölgesinde ölçülen değere göre kısmen bir yumuşama görülmüştür. ITAB ve TMEB bölgelerinde ise 60-65 HV değerlerinde sertlik ölçülmüştür. Bu değer, o bölgede sıcaklıktan dolayı tane boyutunun arttığını ve Al levhanın kısmen yumuşadığını göstermektedir. Nikel, alt ve üst Al levhanın sertlik değer grafiği Şekil 15'te gösterilmiştir. Alt levhadaki sertliğin üst levhaya göre daha düşük olmasının nedeni, parçaların birleştirilmesi sırasında yüksek basınçtan kaynaklanan ısı girişi nedeniyle yumuşamasıdır. Kontrolsüz çökeltme sonucu ikincil faz partiküllerinin irileşmesi ve tane sınırlarında kararlı fazlarının oluşması neticesinde, diğer numunelere nazaran önemli bir sertlik düşüşü meydana gelmiştir. Bu yumuşama mukavemet artırıcı çökeltilerin çözülmesine ve/veya kabalaşmasına neden olmaktadır (Bozkurt, Salman & Cam, 2013).



Şekil 15. SKNK sonrası Al levhaların Ni kaplama bölgesi ile alt ve üst bölgelerinin mikrosertlik grafiği.

## Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, Ni kaplı ve kaplanmamış AA-2024-T3 alaşımlı levhalar SKNK yöntemiyle birleştirilmiştir. Maksimum ve minimum çekme makaslama kuvvetleri belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Ni kaplanmış alüminyum ve kaplanmamış alüminyum levhaların SKNK işlemi başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.
2. Çalışmadan elde edilen verilere göre, Ni metalinin alüminyum metalin kaynaklanabilirliği üzerinde çekme-makaslama kuvvetini artırıcı özellikler gösterdiği bulunmuştur.

3. Numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Ara malzeme ilavesiz birleştirilen numunenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 6,78 kN ve % uzama değeri % 3,56 olarak görülmüştür. Ni kaplı birleştirmenin ortalama çekme-makaslama kuvveti 7,91 kN ve uzama değeri %3,23 olarak belirlenmiştir.
4. Çekme makaslama kuvvetlerine bakıldığında Ni alaşımının alüminyum alaşımının kaynaklanabilirliği üzerinde olumlu etki yarattığı görülmüştür.
5. Karıştırıcı uç uzunluğu ve profilleri kaynak dayanımını doğrudan etkiye sahip olup, kanca dayanımını artırarak çekme makaslama testinde olumlu sonuçlar vermiştir.
6. SKNK sonrası Al levhalara baktığımızda kaynak bölgesinde ölçülen değere göre kısmen bir yumuşama görülmüştür. ITAB ve TMEB bölgelerinde ise 60-65 HV değerlerinde sertlik elde edilmiştir. Bu değer, o bölgelerdeki sıcaklıktan dolayı tane boyutunun arttığı ve Al levhanın kısmen yumuşadığından dolayıdır.
7. Kanca boylarının 135 µm ve 151 µm olduğu belirlenmiştir. Bu durum ana metal ve kaplanmış metalin difüzyonunu arttırmış olup mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.

## Referanslar

Kurt. A., (1990), "Katı Hal Kaynak Teknikleri", Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara, 1-10.

Coşkun M. H., (2009), "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan IF 7114 ve DP 600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı(FSSW) Yöntemleri İle Birleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yamamoto, M.; Gerlich, A.; North, T.H.; Shinozaki, K., (2007), "Mechanism of Cracking in AZ91 Friction Stir Spot Welds", Science and Technology of Welding and Joining, 12, 208-216.

Matsuyama, K., (2006), "Trends of Automobile Vehicles and the Joining Technologies", International Institute of Welding Document, IIW Doc. III- 1386-06.

R.S. Mishra, M.W. Mahoney, (2007), Friction Stir Spot Welding, American Society for Metals, 235-250, Amerika.

Thornton, P.; Krause, A.; Davies, R., (1996), "Aluminium Spot Weld", Welding Journal, 75,101-108.

Spinella, D.J.; Brockenbrough, J.R.; Fridy, J.M., (2009), "Trends in

Aluminium Resistance Spot Welding forth Auto Industry”, *Welding Journal*, 84, 35-40.

Kahraman B., (2009), “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lin, P. C., Pan, J. ve Pan, T., (2008), “Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of aluminum 6111-T4 sheets. Part 1: Welds made by a concave tool”, *International Journal of Fatigue*, 30(1): 74-89.

Meran, C. ve Çolak, M. (2008), “Tool holder design for friction stir welding”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3): 671-679.

Y. Bozkurt, A. Türker, S. Salman, (2018), The Investigation and Comparison of Friction Stir Spot Welding and Electrical Resistance Spot Welding of AA2024 Aluminum Alloy Joints, ICENS 4th International Conference on Engineering and Natural Science, Kiev, Ukraine.R. Kaçar, H. Ertek Emre, H. Demir, S.Gündüz, (2011), “Al-Cu-Al Malzeme Çiftinin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Kabiliyeti”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, Vol 26, No 2, 349-357.

Yuyang Chen Waterloo, (2015), “Refill Friction Stir Spot Welding of Dissimilar Alloys”, Ontario, Canada, pp.18.

Yan, J., (2004), “Fundamental Study in FSW Processing and FSW Process-StructureProperty Relationship for AA2024 and AA2524”, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering and Information Technology, University of South Carolina.

Y. Bozkurt, S. Salman, G. Cam, (2013) “Effect of welding parameters on lap shear tensile properties of dissimilar friction stir spot welded AA 5754-H22/2024-T3 joints”, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol 18, No 4, pp. 337-345.

# AI MATRİSLİ KOMPOZİTLERE ANFIS YAKLAŞIMININ UYGULANMASI

Halil İbrahim KURT<sup>1</sup> & Engin ERGÜL<sup>2</sup> & Murat ODUNCUOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep, Türkiye. hiakurt@gmail.com*

<sup>2</sup>*İzmir Meslek Yüksekokulu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 35380, Türkiye. engin.ergul@deu.edu.tr*

<sup>3</sup>*Fizik Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 34220, İstanbul, Türkiye. murato@yildiz.edu.tr*

**Özet:** Üretim esnasında porozite oluşumu üretilen malzemelerinin mekanik özelliklerini zayıflatmaktadır. Üretim esnasında işlem parametreleri ile mikroyapıda meydana gelen değişimler porozite içeriğini etkilemektedir. Mikroyapı değişimlerini kontrol etmek zor iken işlem parametrelerini belirlemek ve değiştirmek daha basit ve kontrol edilebilirdir. Bu amaçla bu çalışmada, alüminyum matrisli kompozitlerin porozite içerikleri uyarlamalı sinirsel bulanık mantık yaklaşımı (ANFIS) yaklaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Giriş değişkenlerinin porozite içeriği ve birbiri üzerindeki etkileri de analiz edilmiştir. Malzemelerin öğrenme oranlarının ve tahmin oranlarının uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al, Kompozit, SiC

## 1.Giriş

Alüminyum matrisli kompozitler, düşük yoğunluklu, yüksek özel modüllü, mukavemetli ve sürünme mukavemeti alüminyum alaşımlarına göre daha yüksek sürtünme direnci gibi üstün özellikleri olmaları nedeniyle otomobil ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Torralba, Da Costa, & Velasco, 2003). Geliştirilen bu kompozitlerde, işlem parametreleri ile güçlendiricinin türü, boyutu, fiziksel ve kimyasal özellikleri kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenlerden dolayı kompozit sistem üzerinde her bir parametrenin kontrol edilmesi önemlidir. Zaman ve imalat sürecinde yaşanan kaybı en aza indirmek ve süreci daha kontrol edilebilir hale getirmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Bazı proses modelleri literatürde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Liao & Li, 2019; Singh, Singh, Kumar, & Sharma, 2019; Terzioğlu, 2020). Bilgin ve arkadaşları(Bilgin, Gök, & Gök, 2017), östenitik

paslanmaz çelik üzerinde ısıl işlem için 3D sayısal bir model geliştirmiş ve torku ve meydana gelen eksenel kuvveti hesaplamıştır. Bu işlemin sonlu eleman analizi için DEFORM-3D yazılım aracı kullanılmıştır. Tork ve eksenel kuvvet değerlerinin azaldığı ve iş parçasının sıcaklığının, mil hızındaki artışla arttığı bildirildi. Somasundaram ve arkadaşları (Somasundaram, Rajendra Boopathy, & Palanikumar, 2012), alüminyum matriks kompozit levhaları karıştırma işlemi kullanarak ürettiler ve daha sonra yüksek hız çeliği kullanarak ısıl işlem gördü. Bu çalışmada, termik delinmiş deliklerin yuvarlaklık hataları, iş mili hızı, iş kalitesi, besleme hızı ve donatı partiküllerinin ağırlık yüzdesi gibi farklı işlem parametreleri koşulları altında ölçülmüştür. Ayrıca, yanıt yüzeyi metodolojisini kullanarak yuvarlaklık için bir regresyon modeli denklemi yarattılar. Bu çalışma, alüminyum matriks kompozitlerdeki donatı yüzdesindeki artışla yuvarlaklık hatasının azaldığını ortaya koydu. Bununla birlikte, kalan işlem parametrelerinin artmasıyla artmıştır. Bu çalışmada SiC takviyeli kompozitlerin ANFIS yaklaşımı kullanılarak analiz edilmesi ve sistem değişkenlerinin etkilerinin araştırılması üzerine odaklanılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen ve SiC ile güçlendirilmiş alüminyum-magnezyum matrisli kompozitlerin porozite içeriği incelenmiştir. Kompozitlerin yoğunlukları, Arşimet prensibine göre değerlendirilmiştir. Teorik yoğunluklar ve ölçülen yoğunluklar kullanılarak porozite değerleri hesaplanmıştır (Kurt, 2017). Daha sonra porozite içeriği ANFIS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Jang, 1993; Yılmaz, Kurt, Oduncuoğlu, & Ergül, 2018). Kullanılan giriş ve çıkış parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Sistemde kullanılan parametrelerin oranları

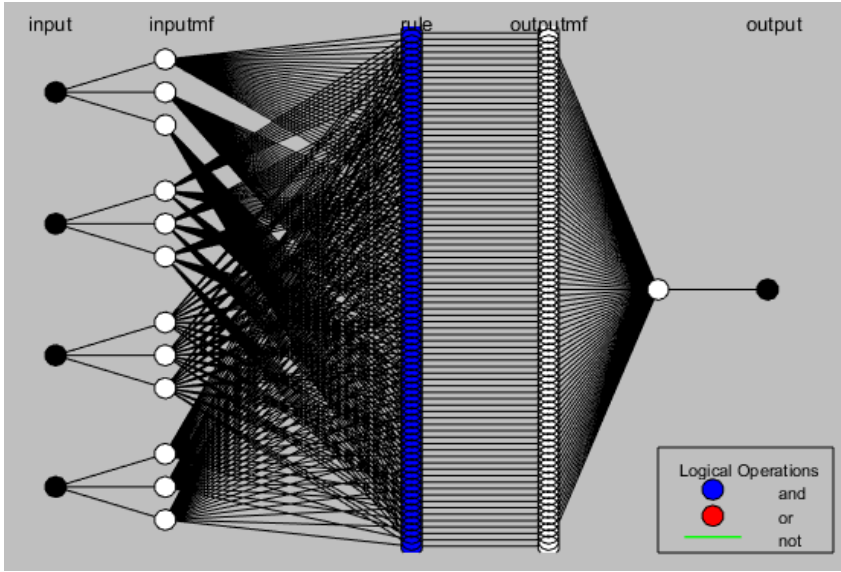
	Si C	Basınç (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Sıcaklığı (dk)	Porozite (%)
<b>Mi n</b>	15	260	300	30	22,87139 951
<b>Ma k</b>	30	520	500	90	44,51644 728

ANFIS programında, 4 giriş değişkeni, 1 çıkış değişkeni, giriş fonksiyon tipi (mf) gaussmf, fonksiyon numarası 3 3 3 3, çıkış fonksiyon tipi sabit, öğrenme algoritması (FIS) hibrid, epoch 1000, hata toleransı 0 olarak

ayarlanmıştır. Sistem sonuçları, ortalama karasal hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ve korelasyon katsayısı (R) ve tahmin oranı ( $R^2$ ) kullanılarak değerlendirilmiştir.

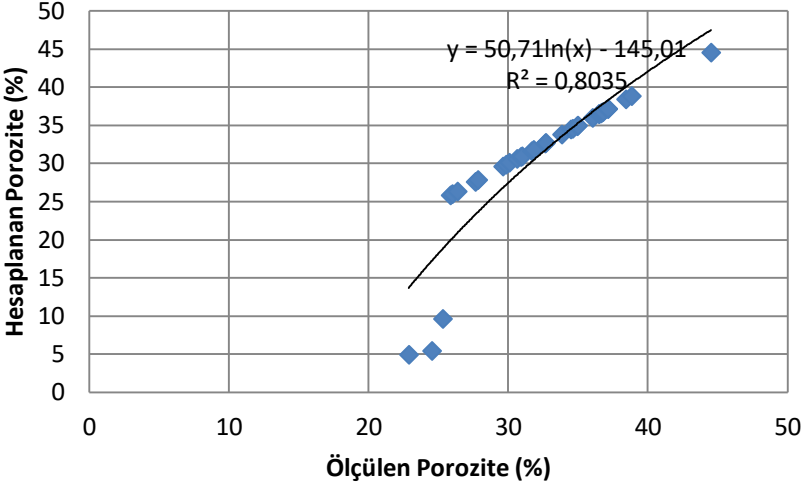
### 3.Bulgular ve Tartışma

Şekil 1’de ANFIS yaklaşımında sistem eğitimi esnasında kullanılan genel yapı verilmiştir. Burada 4 giriş parametresi, ağırlıkça %SiC oranını, kullanılan basıncı (MPa), sinterleme sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ), sinterleme zamanını (dk) ve bir çıkış parametresi porozite (%) oranını temsil etmektedir.



Şekil 1. Sistem genel yapısı

Şekil 2’de ölçülen ve hesaplanan porozitelere ait uyum gösterilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan prozitelere ait korelasyon katsayısı  $R=0,87141907$  ve  $R^2$  değeri 0,8035 olarak meydana gelmiştir. Bir başka ifadeyle sistemin tahmin oranı yaklaşık olarak %80 olduğu söylenebilir.



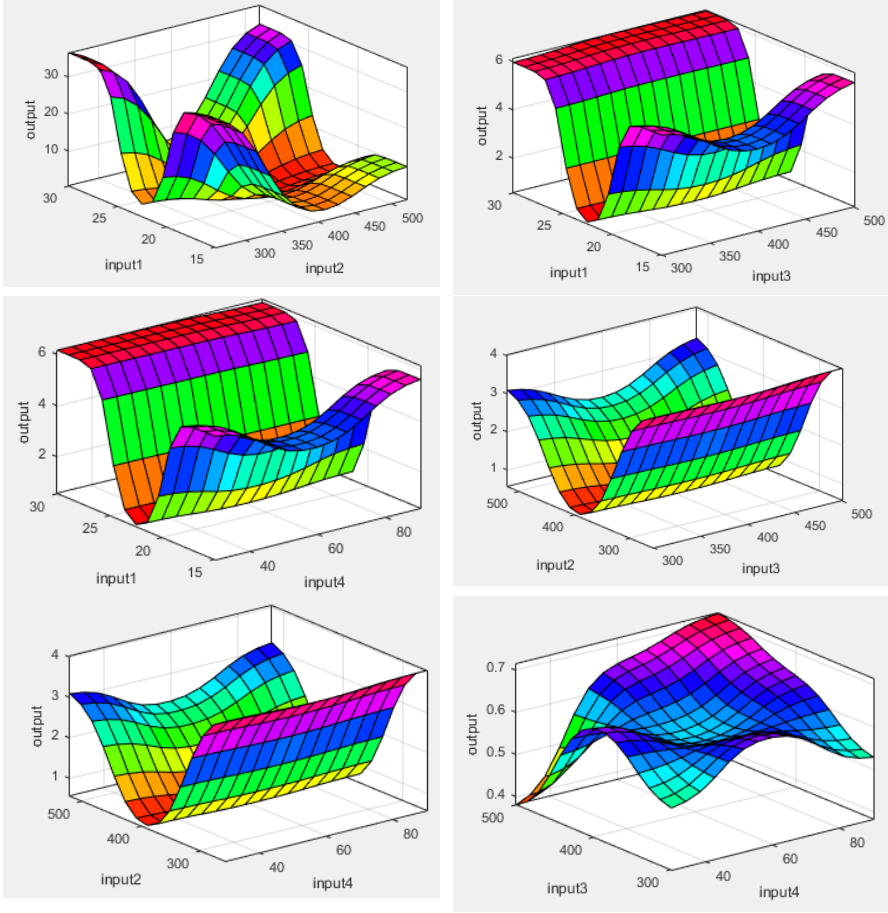
**Şekil 2.** Porozite içeriğinin karşılaştırılması ve uyumu

Tablo 2’de sisteme ait istatistiksel ortalama hatalara ait veriler verilmiştir. Ortalama hataların beklendiği gibi düşük olduğu görülmektedir. ANFIS değişkenleri ve parametreleri kullanılarak bu hataların daha da aşağı düşürülmesi ve tahmin oranının artırılması mümkündür. Yine de üretim koşulları ve mikroyapısal değişimleri tam anlamıyla kontrol etmek mümkün olmadığı ve deneysel koşullardaki farklılıkları değerlendirdiğimizde sıfır hatayla bir sonuç elde etmek çok zordur.

**Tablo 2.** İstatistik analiz sonuçları

MSE	MAE	MAPE
27,28199123	1,546639	6,40569

Şekil 3’te ANFIS programı kullanılarak elde edilen yüzey grafikleri verilmiştir. Bu grafikler ile giriş değişkenlerinin birbiri üzerindeki etkileri ve sonuç üzerindeki etkileri değerlendirilebilir. Burada input 1 ağırlıkça %SiC oranını, input 2 kullanılan basıncı (MPa), input 3 sinterleme sıcaklığını (°C), input 4 sinterleme süresini (dk) ve output porozite (%) oranını temsil etmektedir.



**Şekil 3.** Değişkenlere ait yüzey grafiği

Örneğin, giriş 1 ve 2 incelendiğinde basınçtaki artış porozite içeriğini azaltmakta ve SiC oranındaki artış porozite içeriğini arttırmaktadır. Genelde liner bir görüntü elde edilmemekle birlikte farklı değişkenlerin birbiri üzerine etkileri farklı karakteristikler sergilemektedir. Sinterleme sıcaklığı, süresi ve basınç artışı bir dereceye kadar porozite içeriğini azalttığı sonucuna varılabileceği kanaati oluşmaktadır. ANFIS yaklaşımı ve mühendislik uygulamalarında kullanıma ilişkin ve benzer sonuçlar literatürde görülmektedir (Nwobi-Okoye, Ochieze, & Okiy, 2019; Singh et al., 2019).

#### **4.Sonuçlar**

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle üretilen ve SiC ile güçlendirilmiş alüminyum-magnezyum matrisli kompozitlerin porozite



içeriği ANFIS yöntemi kullanılarak incelenmiştir. ANFIS yaklaşımında, dört giriş parametresi, ağırlıkça %SiC oranını, kullanılan basıncı (MPa), sinterleme sıcaklığını (°C), sinterleme zamanını (dk) ve bir çıkış parametresi porozite (%) oranını kullanılmıştır. Analizlerin korelasyon katsayılarının ve istatistiksel hata oranlarının iyi olduğu görülmüştür. Her bir değişkenin birbiri üzerinde etkisinin olduğu ve bu değişkenlerin porozite içeriğini etkilediği görülmektedir.

## Referanslar

- Bilgin, M. B., Gök, K., & Gök, A. (2017). Three-dimensional finite element model of friction drilling process in hot forming processes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 231(3), 548-554.
- Jang, J.-S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Kurt, M. (2017). SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al-Mg kompozitin toz metalurjisi yöntemi ile üretiminin araştırılması. Fırat University.
- Liao, Q., & Li, J. (2019). An adaptive reduced basis ANOVA method for high-dimensional Bayesian inverse problems. *Journal of Computational Physics*, 396, 364-380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2019.06.059>
- Nwobi-Okoye, C. C., Ochieze, B. Q., & Okiy, S. (2019). Multi-objective optimization and modeling of age hardening process using ANN, ANFIS and genetic algorithm: Results from aluminum alloy A356/cow horn particulate composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 3054-3075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.031>
- Singh, N. K., Singh, Y., Kumar, S., & Sharma, A. (2019). Predictive analysis of surface roughness in EDM using semi-empirical, ANN and ANFIS techniques: A comparative study. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.234>
- Somasundaram, G., Rajendra Boopathy, S., & Palanikumar, K. (2012). Modeling and analysis of roundness error in friction drilling of aluminum silicon carbide metal matrix composite. *Journal of Composite Materials*, 46(2), 169-181.
- Terzioğlu, H. (2020). Analysis of effect factors on thermoelectric generator using Taguchi method. *Measurement*, 149, 106992. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106992>

- Torralba, J., Da Costa, C., & Velasco, F. (2003). P/M aluminum matrix composites: an overview. *Journal of Materials Processing Technology*, 133(1), 203-206.
- Yilmaz, N. F., Kurt, H. I., Oduncuoglu, M., & Ergul, E. (2018). Experimental and theoretical analysis of the welding process parameters for UTS with different methods. *Materials Research Express*, 6(1), 016524.

# ANN YÖNTEMİ İLE RELATİF YOĞUNLUK DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI

**<sup>1</sup>Engin ERGÜL & Halil İbrahim KURT<sup>2</sup> & Necip Fazıl YILMAZ<sup>3</sup>  
Murat ODUNCUOĞLU<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*İzmir Meslek Yüksekokulu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 35380, Türkiye.  
engin.ergul@deu.edu.tr*

<sup>2</sup>*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep  
Üniversitesi, 27310, Gaziantep, Türkiye. hiakurt@gmail.com*

<sup>3</sup>*Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi,  
27310, Gaziantep, Türkiye. nfyilmaz@gantep.edu.tr*

<sup>4</sup>*Fizik Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 34220, İstanbul, Türkiye.  
murato@yildiz.edu.tr*

**Özet:** Mühendislik çalışmalarında en önemli araştırmalardan biri, yeni üretilen ve teknolojik öneme sahip mühendislik malzemelerinin düşük yoğunluk ile birlikte yüksek mekanik özellik sergilemeleri üzerinedir. Deneysel parametreleri mikroyapıyı ve dolayısıyla yoğunluk değişimini etkilemektedir. Bu çalışmada, alüminyum matrisli kompozitlerin relatif yoğunluk değerleri yapay sinir ağları tekniği ile (ANN) araştırılmıştır. 4 farklı giriş parametresi alümina içeriği, basınç, sıcaklık ve zaman iken sonuç relatif yoğunluk değeridir. Eğitim ve test verileri olarak iki bölüme ayrılır değişkenler kullanılarak sistem eğitilmiş ve analiz edilmiştir. Testlere ait hatalar farklı istatistik formüller ile yorumlanmıştır. Eğitim ve test sonuçlarının korelasyon değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al, Kompozit, ANN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## 1.Giriş

Toz metalurjisi metodu üretim amaçlı kullanımı mühendislik malzemelerinin tasarımında geniş özellikleri nedeniyle artmaktadır. Toz teknolojisinde yaşanan ileri gelişmeler, preslenme ve karmaşık şekilli malzeme parçalarının yüksek üretim hızında ve kalitede, düşük boyutsal toleransta, ekonomik olarak üretime olanak sağlamaktadır. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların performansın gelişmesi nedeniyle, alüminyum matris içerisine alaşım elementi veya çeşitli seramik partiküller eklenerek, istenen özelliklere sahip yeni teknolojik malzemeler elde edilebilmektedir. Böylece farklı mühendislik tasarım alanlarına ve

uygulamalarına hitap eden yeni mühendislik malzemelerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir (ÇOLAK & TURHAN, 2016; YILMAZ & GÖKÇE, 2006).

Alüminyum Metal Matris Kompozitleri (AMMC), üretim teknolojisinde önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak, üstün mekanik mukavemet, aşınmaya dayanıklı ve aşınma özelliklerini elde etmek amacıyla AMMC'leri imal etmek için alüminyum alaşımlar ile birlikte seramik parçacıklar kullanılır. Bu sayede kendine özgü mekanik ve fiziksel özelliklerine sahip büyük bir kullanım ve önem imkanına ulaşılır. AMMC'ler, otomobil, denizcilik ve havacılık endüstrilerindeki geleneksel demir malzemenin, aşınma direnci ve dayanıklılık ağırlık oranının yüksek olmasından dolayı büyük ölçüde kullanım alanı sağlamaktadır. Genel olarak, her malzeme, ürün haline gelmek için belli başlı işlemlerden geçmelidir (Chattopadhyay, 2011; Sahoo & Pradhan, 2013). Bu işlemler ve değişkenlerin referans aralığı istenen veya beklenen özellikler üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu çalışmanın amacı yapay sinir ağları yaklaşımı kullanılarak alüminyum matrisli kompozitlerin relatif yoğunluklarının araştırılması ve sistem değişkenlerinin relatif yoğunluk değerlerine etkilerinin belirlenmesidir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada alümina ile güçlendirilen ve toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alüminyum magnezyum kompozitlerin relatif yoğunluk değerleri yapay sinir ağları yöntemiyle analiz edilmiştir. Kompozitlerin ölçülen yoğunlukları Arşimet prensibine göre teorik yoğunlukları karışım kanununa göre hesaplanmıştır. Ölçülen yoğunluklar ve hesaplanan yoğunluklar kullanılarak relatif yoğunluk değerleri hesaplanmıştır (Kurt, 2017). Kullanılan giriş ve çıkış parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

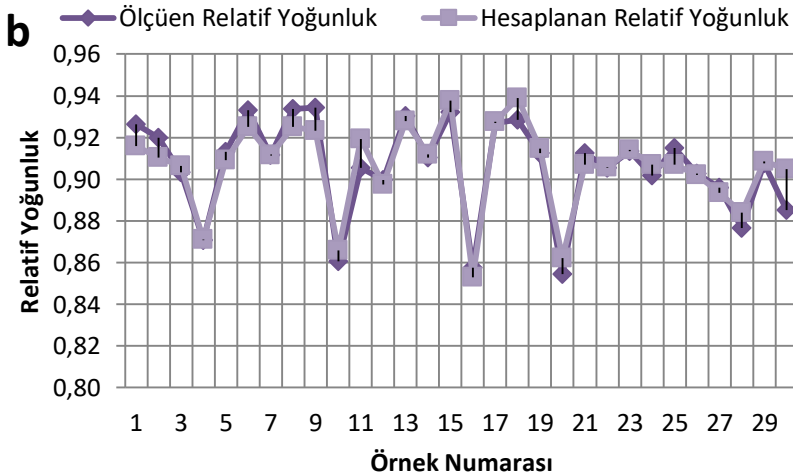
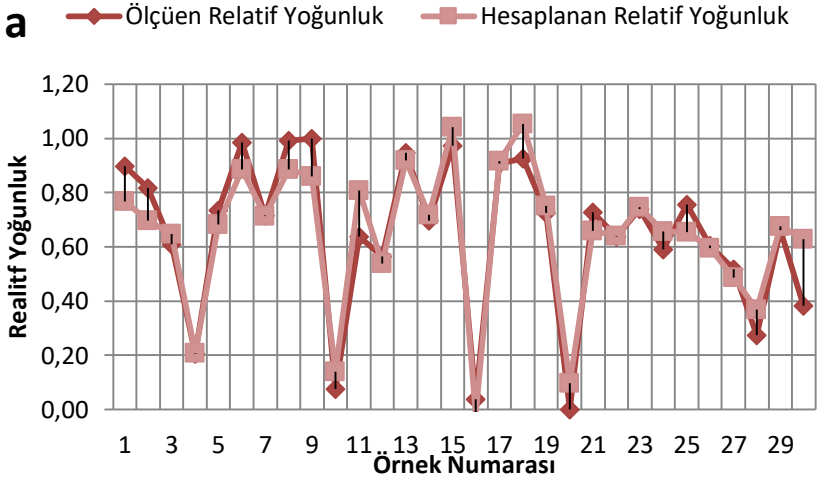
**Tablo 1.** Sistemde kullanılan parametrelerin oranları

	Alümina	Basınç (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Sıcaklığı (dk)	Relatif Yoğunluk
<b>Min</b>	15	260	300	30	0,854465266
<b>Mak</b>	30	520	500	90	0,934478634

Bu değerler 0-1 aralığında  $=(\text{mak-min})/\text{fark}$  ile normalize edilmiştir. Yapay sinir ağları yaklaşımında verilerin %80 eğitim geri kalanı test verisi olarak ayarlanmıştır. Yapay sinir ağlarında 4 giriş ve 1 sonuç verileri, 1 gizli tabaka içinde 10 nöron yapısı ile Sigmoid LM aktivasyon fonksiyonu ileri beslemeli geri yayılım kullanılmıştır.

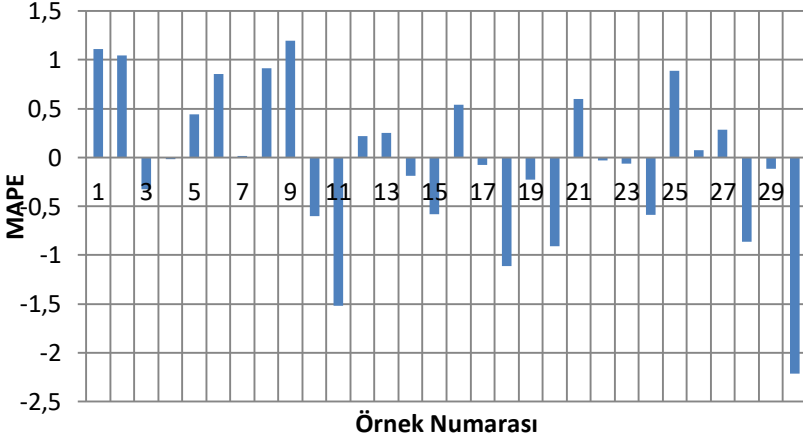
### 3.Bulgular ve Tartışma

Yapay sinir ağları yaklaşımında eğitim setine ait ölçülen ve hesaplanan yoğunluk değerlerinin uyumu Şekil 1’de gösterilmiştir. Normalize edilmiş sonuçların uyumu ile normalize edilmemiş örneğe ait uyumun her ikisinin de yüksek olduğu saptanmıştır. Her iki sonucun korelasyon değerlerinin  $R= 0,949864637$  olması bu varsayımı doğrulamaktadır.



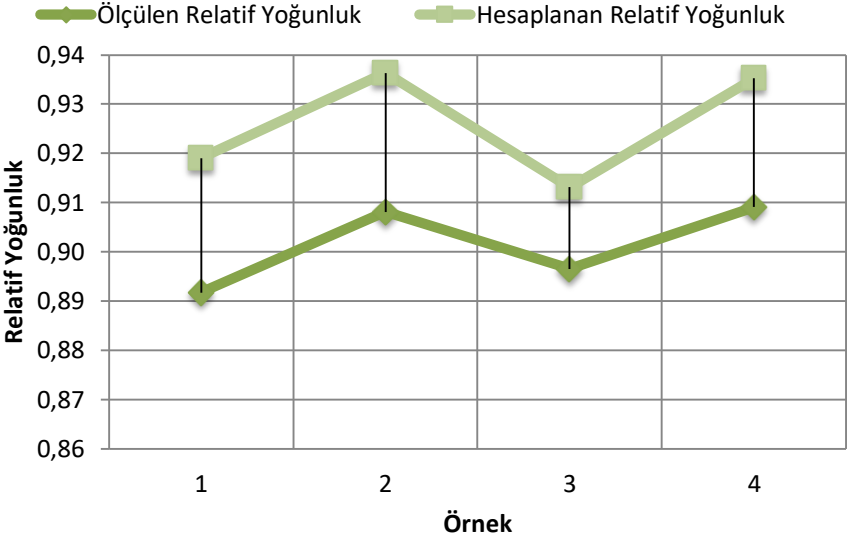
**Şekil 1.** Eğitim setine ait uyum a) Normalize edilmiş b) Normalize edilmemiş

Yapay sinir ağları yaklaşımında sistemin analizi ortalama karasel hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Eğitim testine ait normalize edilmemiş sonuçların ortalama karasel hata (MSE) 0,00005026, ortalama mutlak hata (MAE) 0,00539396 ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ise -0,03250523 olarak tespit edilmiştir. Şekil 2’de yüzde hata değişimi verilmiştir. Maksimum yüzde hata %2,5’yi geçmemiştir. Buda analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir.



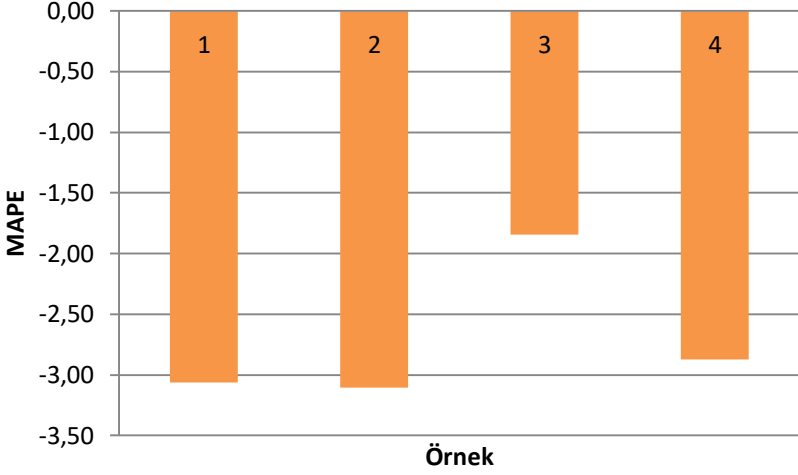
**Şekil 2.** Eğitim setine ait yüzde hata değişimi

Normalize edilmemiş test setine ait ölçülen ve hesaplanan yoğunluk değerlerinin uyumu Şekil 3’de gösterilmiştir. Test setine ait korelasyon değerinin  $R= 0,899828834$  olması sisteme ait uyumun yüksek olduğunu göstermektedir.



**Şekil 3.** Normalize edilmemiş test setine ait uyum

Test testine ait normalize edilmemiş sonuçların ortalama karasel hata (MSE) 0,000623718 ortalama mutlak hata (MAE) 0,024531288 ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ise -2,72027029 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4’de yüzde hata değişimi verilmiştir. Maksimum yüzde hata %3,5 yi geçmemiştir. Buda analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir. Literatürde yapılan yapay sinir ağları yaklaşımı ile elde edilen tutarlılık gösterdiği söylenebilir (Cevik & Guzelbey, 2008; Cevik, Kutuk, Erklig, & Guzelbey, 2008; Singh, Singh, Kumar, & Sharma, 2019).



**Şekil 4.** Test setine ait yüzde hata değişimi

Bütün yapılan sonuçlar değerlendirildiğinde yapay sinir ağları yaklaşımının verilen parametreler ışığında tahmin oranının ( $R^2$ ) yaklaşık %81 ve yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

#### **4.Sonuçlar**

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-Mg-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin relatif yoğunluk değerleri yapay sinir ağları yöntemiyle incelenmiştir. Ölçülen yoğunluklar ve teorik yoğunluklar kullanılarak relatif yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Eğitim ve test setlerine ait istatistiksel hata oranlarının çok düşük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte setlere ait korelasyon değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Maksimum hata test setinde görülmüş olup bu değer %3,5'i aşmamıştır. Sistemin tahmin oranının %81 olduğu ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunduğu görülmektedir.



## Referanslar

- Cevik, A., & Guzelbey, I. H. (2008). Neural network modeling of strength enhancement for CFRP confined concrete cylinders. *Building and Environment*, 43(5), 751-763.
- Cevik, A., Kutuk, M. A., Erklig, A., & Guzelbey, I. H. (2008). Neural network modeling of arc spot welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 202(1-3), 137-144. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.09.025>
- Chattopadhyay, A. (2011). *MACHINING AND MACHINE TOOLS (With CD)*: John Wiley & Sons.
- ÇOLAK, N. Y., & TURHAN, H. (2016). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B4C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 259-266.
- Kurt, M. (2017). SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al-Mg kompozitin toz metalurjisi yöntemi ile üretiminin araştırılması. *Fırat University*.
- Sahoo, A. K., & Pradhan, S. (2013). Modeling and optimization of Al/SiCp MMC machining using Taguchi approach. *Measurement*, 46(9), 3064-3072. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.06.001>
- Singh, N. K., Singh, Y., Kumar, S., & Sharma, A. (2019). Predictive analysis of surface roughness in EDM using semi-empirical, ANN and ANFIS techniques: A comparative study. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.234>
- YILMAZ, R., & GÖKÇE, A. (2006). Toz Metalurjisi Ile Üretilen Düşük Alaşimli Çeliklerde Ferro-Titanyum İlavesinin Darbe Ve Kirilma Tokluğuna Etkisi.

# ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE AŞINMA AĞIRLIK KAYBININ ARAŞTIRILMASI

**Engin ERGÜL<sup>1</sup> & Halil İbrahim KURT<sup>2</sup> & Murat ODUNCUOĞLU<sup>3</sup>  
Can ÇİVİ, Gökhan EYİCİ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Teknik Programlar Bölümü, İzmir Meslek Yüksekokulu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye. engin.ergul@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye. hiakurt@gmail.com

<sup>3</sup> Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye. murato@yildiz.edu.tr

<sup>4</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye can.civi@cbu.edu.tr

**Özet:** Birçok endüstriyel uygulamada özellikle birbiri ile temas eden malzemelerde sertlik ve aşınma ön plana çıkmaktadır. Birbiri ile temas eden malzemelerde aşınma kaybını tamamen önlemek neredeyse imkânsızdır. Ancak çeşitli yöntemlerle bu oranı en aza indirmek veya daha düşük ekonomik değere sahip malzemenin aşınmasını sağlamak tercih edilebilir. Mühendislik uygulamalarında en önemli mekanizmalardan biri olan aşınma kaybını minimum seviyeye indirmek için yeni ve güncel malzemelere ihtiyaç vardır. Özellikle sürtünmenin olduğu yerlerde sürtünme dayanımı yüksek mühendislik malzemelerinin kullanılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada Al2024 matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Güçlendirici olarak ortalama çapı < 40 nm olan ağırlıkça %50 Magenzyum oksit (MgO) ve 1,5 µm uzunluğunda ve 9,5 nm çapında %50 çoğul duvarlı karbon nano tüp (MWCNT) karışımı kullanılmıştır. Kompozit karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri, sertlik analizleri ve abrasif aşınma davranışı 2N ve 5N yük altında farklı kayma mesafelerinde (250m-500m-1000m) incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Kompozit, CNT, MgO

## 1.Giriş

Teknolojik gelişmelerin sonucu olarak kompozit malzeme sistemi, mekanik ve tribolojik davranışlardaki üstün performansı nedeniyle geliştirilmesi gereken önemli özelliklerden biridir. Özellikle partikül takviyeli kompozit malzemeler yüksek aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilmekte ve geliştirilmeye çalışılmaktadır (Lutsey, 2010). Malzemelerin aşınma özellikleri birçok araştırmacı tarafından çalışılan önemli konularından biridir (Clyne & Withers, 1995). Kompozit malzeme üzerinde yapılan önceki çalışmalar, matris ve takviye malzemesi

faktörlerinin yanı sıra hız, yük, sıcaklık, kuvvet, sertlik ve kompozitin termal özellikleri gibi dış faktörlerin de aşınma davranışını etkilediğini göstermektedir (Riahi & Alpas, 2001; Zhang, Zhang, & Mai, 1995). Aşınma, farklı yük ve hızlarda aşınma oranını temsil etmenin bir yolu olup aşınma oranı veya aşınma mekanizması, çeşitli seviyelerde aşınmaya karşı duyarlılığın ve ilgili aşınma mekanizmasının açık bir şekilde anlaşılmasını sağlar. İncelenen alüminyum alaşımlarına, kompozitlere ve çeşitli kaplamalara karşılık gelen çalışmalar, aşınma oranlarındaki hız ve yük değişimlerinde benzer eğilimleri göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada farklı aşınma işlem parametrelerinin etkisinin üretilen kompozitlerin aşınma ağırlık kaybı üzerinde etkisi araştırılmıştır.

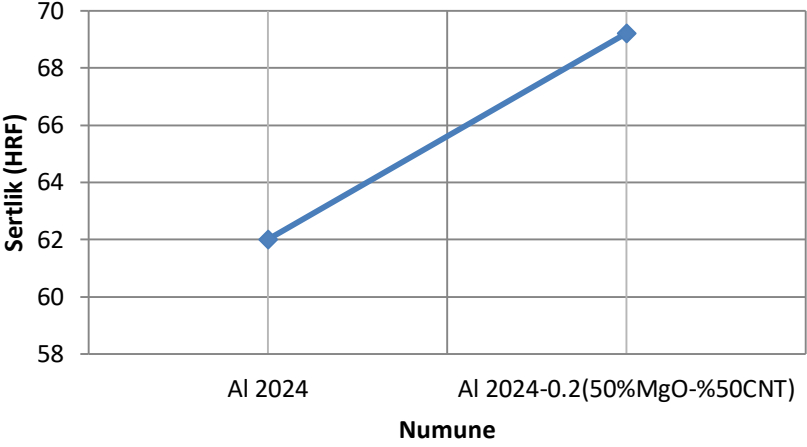
## **2.Malzeme ve Yöntem**

Bu çalışmada, alüminyum-bakır-magnezyum (Al 2024) alaşımı matris malzemesi olarak kullanılmış olup, ağırlıkça %50 magnezyum oksit (MgO) ve %50 çoğul duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) karışımı ağırlıkça %0,2 oranında matris malzemesine ilave edilmiş ve alüminyum matrisli hibrid kompozit karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Güçlendirici MgO <40 nm boyutunda ve MWCNT ise 1,5 µm uzunluğunda ve 9,5 nm çapındadır.

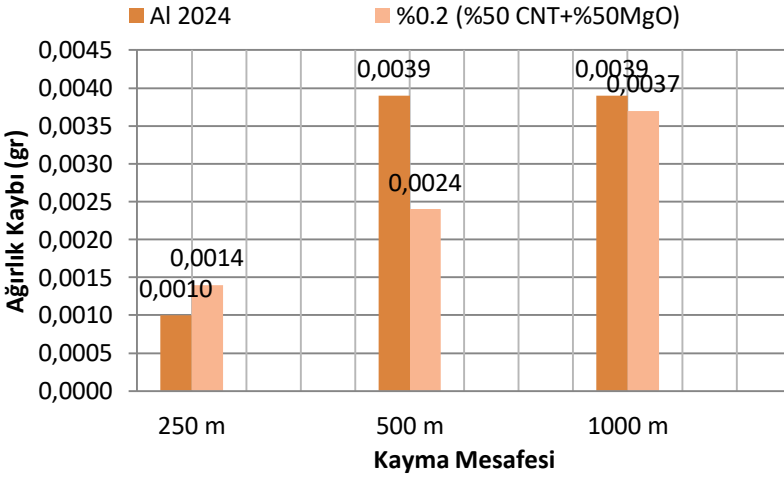
Sertlik testi HRF olarak ve aşınma testleri oda sıcaklığında bir yağlayıcı olmadan, CSM Instruments marka cihazda ball-on-disk makinesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyinde 2 ve 5 N yük, 0,1 m/s kayma hızı ve 250-500-1000 metre kayma mesafesi kullanılmıştır. Aşınma testlerinde üretilen malzemelerin ağırlık kaybı değerlendirilmiştir.

## **3.Bulgular ve Tartışma**

Şekil 1’de yapılan sertlik testine ait sonuçlar gösterilmiştir. Al 2024 matrisin sertlik değeri 62 HRF olarak ölçülmüş ve Al 2024 0.2 (%50 MgO+%50 CNT) kompozitin sertlik değeri 69 olarak tespit edilmiştir. Kompozit malzemenin sertliği artmış olup bu artış yaklaşık olarak %11.3’dür. Güçlendirici ilavesiyle kompozitin sertliği artmış ve literatürde benzer artışlar rapor edilmiştir (Abdizadeh, Vajargah, & Baghchesara, 2015; Batista, Felisberto, Silva, da Cunha, & Mazzer, 2019; Pul, Çalin, & Gül, 2014).



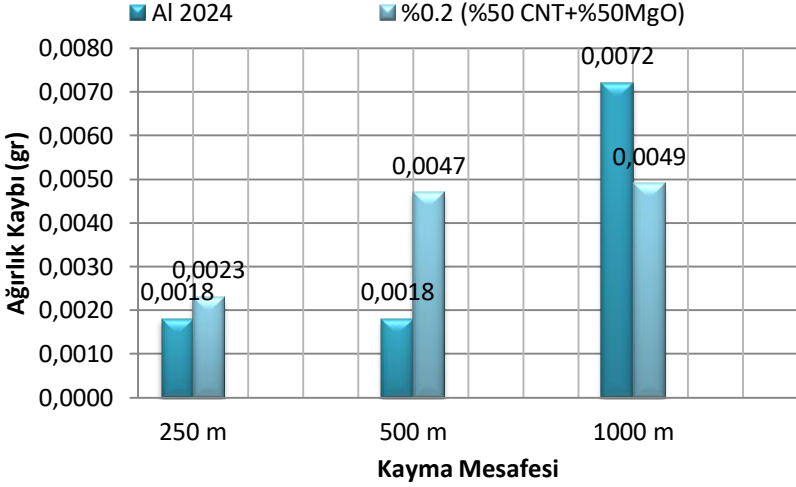
**Şekil. 1** Matris ve kompozitin HRF sertlik değeri



**Şekil. 2** 2N yük altında kayma mesafesinin ağırlık kaybına etkisi

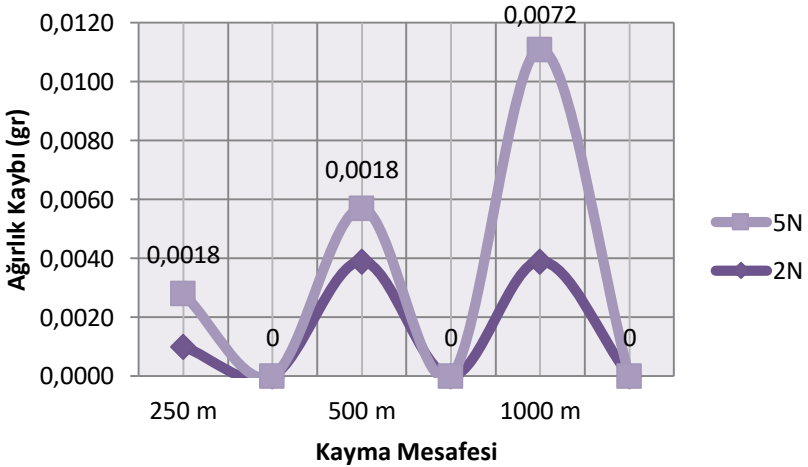
Şekil 2 ve 3'te farklı yükler altında gerçekleştirilen aşınma deneylerine ait ağırlık kaybı değerleri verilmiştir. 2N yük altında yapılan aşınma testinde hem matris malzemesinin hem de kompozitin kayma mesafesinde artış ile aşınma ağırlık kaybı artmıştır. Bununla birlikte kompozitin ağırlık kaybı matris malzemesine göre daha az oranda olduğu görülmüştür. 5N yük altında gerçekleştirilen aşınma testlerinde 2N yük altında gerçekleştirilen deneylere benzer sonuçlar elde edilmiştir. İlave edilen güçlendiriciler

malzemelerde aşınma ağırlık kaybını azaltmıştır (Kumar, Sharma, Arora, & Pandey, 2019; Pul et al., 2014). Uygulanan yükün etkisi ise Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



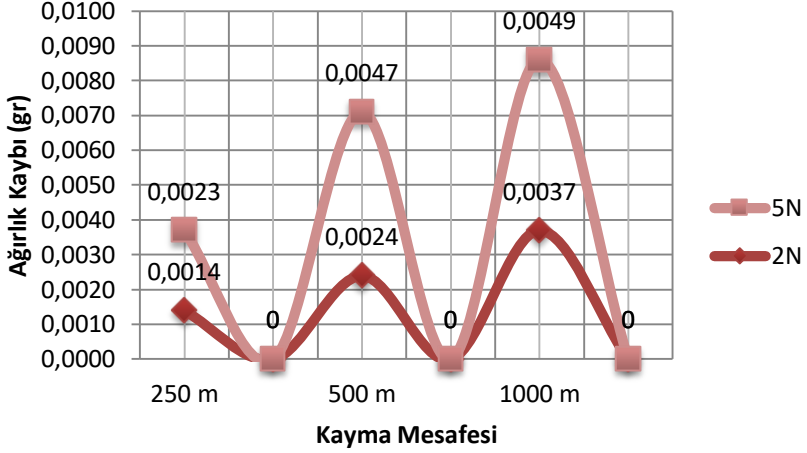
Şekil. 3 5N yük altında kayma mesafesinin ağırlık kaybına etkisi

Uygulanan yükte artış matris malzemesinde daha fazla aşınma ağırlık kaybına neden olmuştur. Bu artış maksimum olarak 1000 metre kayba mesafesinde meydana gelmiştir.



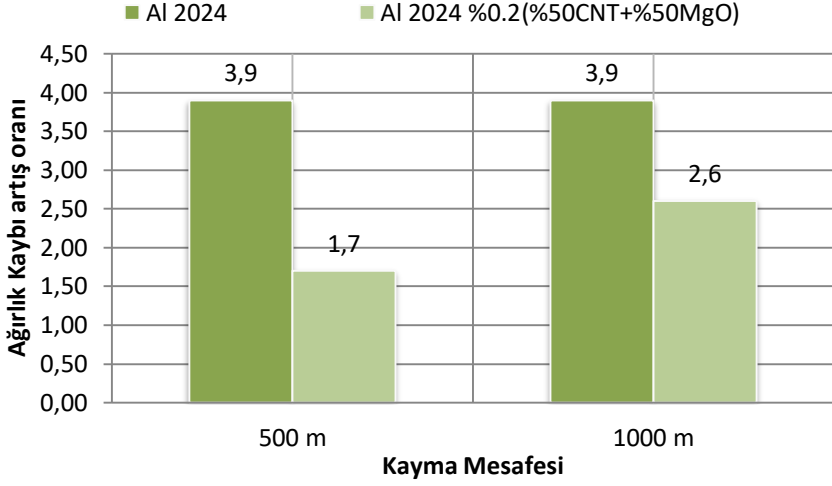
Şekil. 4 Al2024 alaşımını ağırlık kaybına yükün etkisi

Benzer sonuçlar alüminyum matrisli hibrid kompozitlerde de görülmektedir. Maksimum aşınma ağırlık kaybı 5N yük altında ve 1000 metre kayma mesafesinde gözlenmiştir.

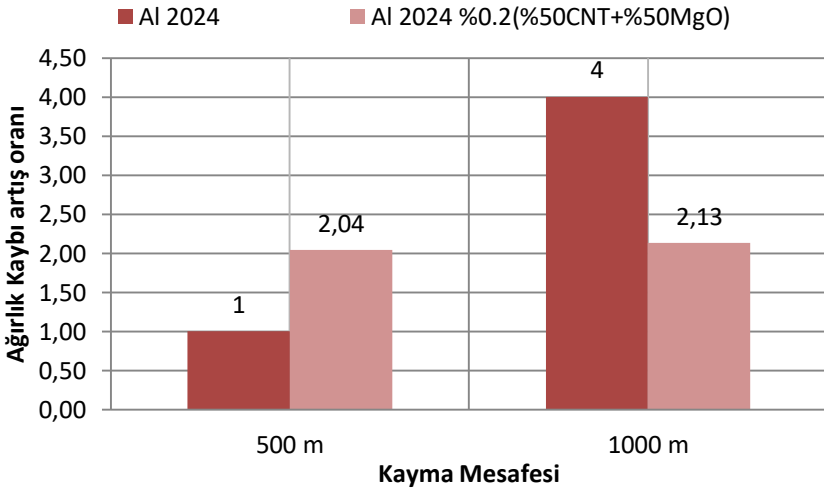


**Şekil. 5** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.2 (%50CNT+%50MgO) kompozitin ağırlık kaybına yükün etkisi

2 N yük altında 250 m ‘den 500 m ve 1000 m doğru malzemelerde meydana gelen ağırlık kaybının değişimi Şekil 6’da gösterilmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matriste 250 metreden 500 metreye kayma mesafesinde ağırlık kaybı 3,9 kat artmıştır ve 1000metre kayma mesafesinde ağırlık kaybı değişmemiştir. Aynı doğrultuda kompozitte ağırlık kaybının değişimi 1,7 kat ve 2,6 kat olarak meydana gelmiştir. Bu açıdan kompozit malzeme meydana gelen ağırlık kaybındaki artış matris malzemesinde meydana gelen artıştan daha azdır. 5 N yük altındaki kayma mesafelerindeki değişimini Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil. 6 2N yük altında kayma mesafesinin ağırlık kaybını değişimi



Şekil. 7 5N yük altında kayma mesafesinin ağırlık kaybını değişimi

250 metreden 500 metre kayma mesafesine gelindiğinde Al 2024 matrisin ağırlık kaybı artışı değişmezken 1000 metre kayma mesafesine ulaşıldığında ağırlık kaybı artışı 4 kat olarak gerçekleşmiştir. Kompozit malzeme ise bu durum 2,04 kat ve 2,13 kat olarak gerçekleşmiştir. Kompozit malzeme meydana gelen ağırlık kaybındaki artış matris malzemesinde meydana gelen artıştan daha az olduğu görülmüştür. Artan

yük ile ve artan kayma mesafesi ile meydana gelen aşınma ağırlık kaybı doğru orantılı olduğu görülmektedir (Chang, Binner, & Higginson, 2010; Sozhamannan et al., 2018).

#### 4.Sonuçlar

Bu çalışmada, karıştırma döküm yöntemiyle üretilen ve magnezyum oksit ile çoğul duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen alüminyum matrisli hibrid kompozitlerin sertlik ve aşınma ağırlık kaybına uygulanan yükün ve kayma mesafesinin etkisi araştırılmış ve sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Malzemelerin sertliği güçlendirici karışımı ilavesi ile artmıştır.
- Artan yük ile ve kayma mesafesi ile malzemelerde meydana gelen aşınma ağırlık kaybı doğru orantılı olarak artmaktadır.
- İlave edilen güçlendirici karışımı malzemenin aşınma ağırlık kaybına önemli ölçüde azaltmıştır.
- Elde edilen bulguların literatürde uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

#### Referanslar

- Abdizadeh, H., Vajargah, P., & Baghchesara, M. (2015). Fabrication of MgO nanoparticulates reinforced aluminum matrix composites using stir-casting method. *KOVOVE MATERIALY-METALLIC MATERIALS*, 53(5), 319-326.
- Batista, L. A., Felisberto, M. D. V., Silva, L. S., da Cunha, T. H. R., & Mazzer, E. M. (2019). Influence of multi-walled carbon nanotubes reinforcements on hardness and abrasion behaviour of porous Al-matrix composite processed by cold pressing and sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 791, 96-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.265>
- Chang, H., Binner, J., & Higginson, R. (2010). Dry sliding wear behaviour of Al(Mg)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> interpenetrating composites produced by a pressureless infiltration technique. *Wear*, 268(1), 166-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.07.014>
- Clyne, T., & Withers, P. (1995). *An introduction to metal matrix composites*: Cambridge university press.
- Kumar, S., Sharma, A., Arora, R., & Pandey, O. P. (2019). The microstructure and wear behaviour of garnet particle reinforced Al



- matrix composites. *Journal of Materials Research and Technology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.012>
- Lutsey, N. P. (2010). Review of technical literature and trends related to automobile mass-reduction technology.
- Pul, M., Çalin, R., & Gül, F. (2014). Investigation of abrasion in Al–MgO metal matrix composites. *Materials Research Bulletin*, 60, 634-639. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.09.040>
- Riahi, A., & Alpas, A. (2001). The role of tribo-layers on the sliding wear behavior of graphitic aluminum matrix composites. *Wear*, 251(1-12), 1396-1407.
- Sozhamannan, G. G., Mohamed Yusuf, M., Aravind, G., Kumaresan, G., Velmurugan, K., & Venkatachalapathy, V. S. K. (2018). Effect Of Applied Load On The Wear Performance Of 6061 Al/ Nano Ticp/ Gr Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(2, Part 1), 6489-6496. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.262>
- Zhang, Z., Zhang, L., & Mai, Y.-W. (1995). Particle effects on friction and wear of aluminium matrix composites. *Journal of Materials Science*, 30(23), 5999-6004.

# YÜKSEK YOĞUNLUKLU YER KAROSU OPAK SIRLARINA FOSFOJİPS ETKİSİ

**Lina İSRAEL İSRAİL\* & Kemal KÖSEOĞLU\***

*Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, linairail@gmail.com  
Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, kemal.koseoglu@ege.edu.tr*

**Özet:** Atık malzemelerin yeniden kullanılması ya da geri dönüştürülmeleri ucuz hammadde arayışı açısından önemlidir. Bu çalışmada endüstriyel atık olan fosfojips (FJ) in yüksek yoğunluklu yer karosu opak sır (YKOS) bünyesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. FJ in sır reçetesine ağırlıkça % 1-15 arasında katıldığı denemelerde yoğunluk, viskozite ve tiksotropi testleri YKOS çamuruna uygulanırken; çarpmaya, ısı şokuna ve kimyasallara dayanıklılık ile renk testleri pişirilmiş FJ katkılı YKOS karolarına uygulanmıştır. Daldırma tekniği ile sırlanan karolar 1000°, 1100°, 1200°C de pişirilmiştir. Sır çamuru içinde % 1 FJ miktarı ile standart yoğunluğun azaldığı, akıcılığın arttığı viskozite ve tiksotropi denemeleri ile anlaşılmıştır. 1200°C de pişirilen aynı içerikli karoların tüm mekanik testleri olumlu sonuçlanmıştır. Atık FJ in sır bünyesine katılarak değerlendirilebileceği ve seramik sanayinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fosfojips, yer karosu opak sır, mekanik testler

**Abstract:** It is important to reuse or to recycle of waste materials for supplying low-cost raw materials. The usage of phosphogypsum (PG), an industrial waste material, is investigated in high-density floor tile opaque glaze (FTOG) body. PG is added to in different proportions (1-15 %) in the experiments. Density, viscosity and thixotropy tests are applied to FTOG slurry while impact resistance, thermal shock resistance and resistance to chemicals are applied on PG added FTOG bodies. The tiles are sintered at 1000°, 1100° and 1200°C after glazing by dipping method. The density of the standard glaze decreased and the fluidity of the glaze increased with 1 % addition of PG according to viscosity and thixotropy tests. The mechanical tests of the tiles with this content were all positive. It is thought that waste PG by introducing in the glaze recipe can be evaluated and can be used in the ceramic industry.

**Keywords:** Phosphogypsum, floor tile opaque glaze.

## **Giriş**

Atık malzemelerin yeniden kullanılması veya geri dönüştürülmeleri üretim maliyetlerini azaltır, enerji tasarrufu sağlar ve en önemlisi insan sağlığını iyileştirir. Doğal hammaddelerin korunması ve endüstriyel üretim miktarlarının azalması açısından da oldukça önemlidir (Menezes, Sanatana, Neves ve Ferreira, 2012).

FJ içeriğinde %92-95 arası  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  içeren fosforik asit üretiminin yan ürünüdür. Doğal jipsin (anhidrit FJ) tüm özelliklerini taşır. Üretilen FJ in %15 nin kullanılması, kalan %85 nin geniş tasfiye alanlarında tutulması (Jonker & Potgieter, 2005) ve fosforik asit gübre fabrikalarında baraj sularıyla birlikte denizlere taşınması çevre açısından önemli bir tehlike yaratmaktadır (Demirel & Çağlar, 2015).

FJ in en önemli kullanım alanları tarım, çimento üretimi, inşaat ve yapı endüstrisidir. Seramik endüstrisinde kullanım çalışmaları yeni yeni başlamıştır. Conteras, Teixeira, Santos, Gazques, Romera ve Bolivar, 2018 de yaptıkları bir çalışmada kil ve FJ i belli oranlarda karıştırıp presleyerek duvar karoları üretmişlerdir. Mikroyapı tayinleri ve teknolojik testler doğrultusunda FJ in uygun bir katkı malzemesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Sır seramik bünyeyi ince bir tabaka ya da örtücü olarak kaplayan ve bünye üzerinde eriyen camların özel grubudur. Sırlı yapı gözenekliliğin azalması ile mukavemet kazanır, kimyasallara karşı dirençli olur. Sırlama ve ardından sinterleme FJ in zararlı etkilerini sınırlandıracaktır.

Bu çalışmada endüstriyel atık FJ in alternatif katkı maddesi olarak YKOS içinde değerlendirme imkânı mekanik testler ile araştırılmıştır.

## **Malzeme ve Yöntem**

### **Hammaddeler**

YKOS (Ege Seramik A.Ş., Polat Holding, İzmir) ve FJ in (Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul) X-ışınları Floresans (XRF) analizleri Tablo 1 de verilmiştir. Analizler ilgili kurumlarda yaptırılmıştır.

**Tablo 1.** Hammaddelerin XRF analizleri

Bileşim (%)	YKOS	FJ (Eritme)	FJ (katı pres)
SiO <sub>2</sub>	63,50	1,54	1,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,97	1,23	0,43
CaO	1,83	44,13	34,25
MgO	0,98	-	-
Na <sub>2</sub> O	3,80	-	-
K <sub>2</sub> O	2,18	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,22	0,04	0,02
SO <sub>3</sub>	-	31,95	63,08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	1,1	1
Kızdırma Kaybı	-	19,98	-

Piştirilmiş sır özelliklerinin daha kolay anlaşılmasını sağlayan YKOS ın Seger formülü Tablo 1 de verilen rasyonel analiz kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 2 de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** YKOS Seger formülü

0,43 Na <sub>2</sub> O		
0,16 K <sub>2</sub> O	1,45 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
0,23 CaO	0,1 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,45 SiO <sub>2</sub>
0,18 MgO		

## Yöntem

5 cm x 5 cm x 0,5 cm ebatlarında kesilen bisküvi karolar 105°C etüvde (Heraus) 2 saat bekletilir. FJ standart YKOS çamuruna değişik yüzdesel bileşimlerde katılmıştır (1, 2,5, 5, 10, 15). Homojenizasyon için süspansiyonlar 1 saat manyetik karıştırıcıda (Chiltern) karıştırılır. Karışımlar bu aşamada uluslararası standartlara uygun olarak yoğunluk (TS EN ISO 10545-3), kinematik viskozite (ISO 2431, URL 1) ve tiksotropi testlerine tabi tutulur. Bisküvi karoları daldırma yöntemiyle sırlanır. 24 saat kurumaya bırakılan sırlı karolar 1000, 1100 ve 1200°C de 2 saat fırında (Protherm, PAF 120) 25°C/dk ısıtma hızı ile piştirilir. Piştirilen karolar uygun standartlar gereği çarpmaya (TSE EN ISO 10545-5) ve ısı şokuna (TS EN ISO 10545-9) direnç, kimyasallara dayanım (TS

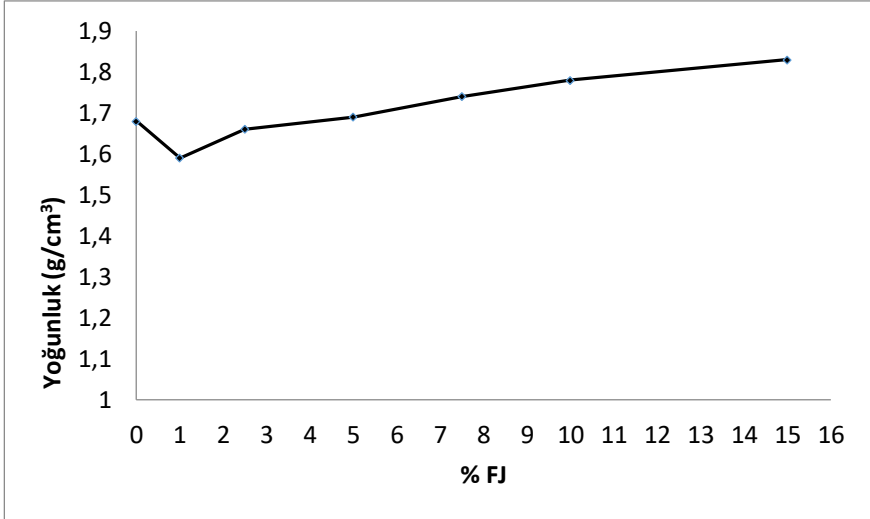
EN ISO 10545-13) ve renk testi (TS EN ISO 10545-16) gibi kalite kontrol deneylerine tabi tutulur.

FJ katkılı karolarını daha kolay ifade edebilmek için standart YKOS yanına katkı miktarları sayısal olarak yazılacaktır (YKOS 1, YKOS 2,5, YKOS 5, YKOS 10, YKOS 15).

## Bulgular

### Yoğunluk Tayini

Yoğunluk seramikler için önemli bir test yöntemidir. Uygulanacak sıran kalınlığı hakkında bilgi verir. Yoğunluğun az olması durumunda sıran dinlendirilir ve fazla su uzaklaştırılmalıdır. Aksi halde sıran çok kalın olacağından bisküvi üzerine yayılırken sorun olacaktır (URL 2). Yoğunluğu etkileyen pek çok etmen vardır. Bisküvinin pişirilmiş veya pişirilmemiş olması, kimyasal bileşimi, nem miktarı en önemlileridir. Bu sebeplerden dolayı yoğunluk değerleri belli aralıklar arasında verilir. Daldırma tekniğinin kullanıldığı opak sıralarda yoğunluk  $1,6-1,7 \text{ g/cm}^3$  arasındadır (URL 3). Şekil 1 FJ miktarının standart YKOS ın yoğunluğu üzerine etkisini göstermektedir. YKOS standart yoğunluğu  $1,68 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. YKOS 1 ve YKOS 2,5 örnekleri için yoğunluk değerleri sırasıyla  $1,59 \text{ g/cm}^3$  ve  $1,66 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. FJ katkı miktarı % 7,5 ve üstünde  $1,7 \text{ g/cm}^3$  değerini aşmıştır.

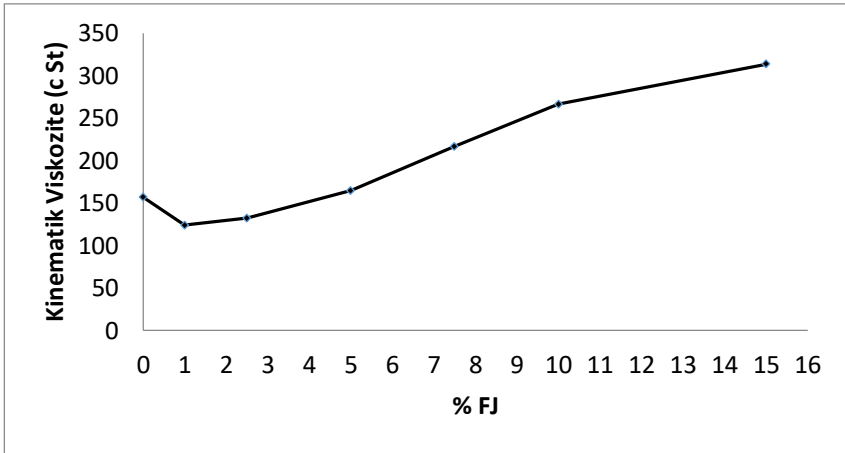


Şekil 1. FJ katkısının YKOS yoğunluğu üzerine etkisi

## Viskozite ve Tiksotropi Tayinleri

Seramik sırları akışkanlık gösteren süspansiyonlardır. Sırlarda viskozite bünynenin sır ile kalın ya da ince kaplanması ile ilgilidir. Sır tabakasının kalın olması, kaplayan malzemenin çok kullanıldığını, viskozluğu, ince olması akışkanlığa işaret eder (Gebhart, 2012). Viskozite üzerine etki eden en önemli unsurlardan biri kullanılan katkı malzemesinin türüdür. Deflokülant ilavesi su katmaya gerek kalmadan akıcılığı sağlarken, flokülantlar viskoziteyi artırır.

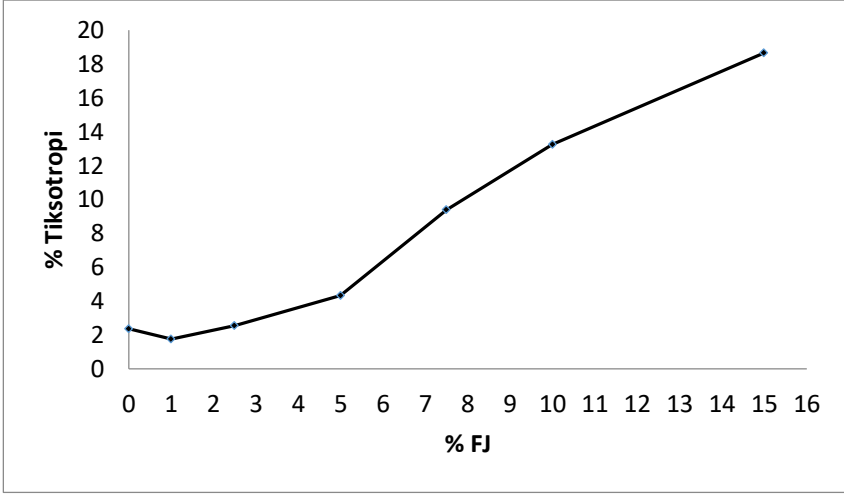
Şekil 2 FJ ilavesinin standart YKOS akışkanlığına etkisini göstermektedir. Akış süreleri dönüşüm tabloları (URL 4) kullanılarak kinematik viskoziteye çevrilmiştir. Standart akışı 18 s dir. YKOS 1 ve YKOS 2,5 örnekleri sırasıyla 15,2 s ve 16s de akmıştır. Akışkanlık artmıştır.



Şekil 2. FJ katkısının YKOS viskozitesi üzerine etkisi

Ancak FJ in ağırlıkça %5 ve daha fazla olduğu süspansiyonlarda yer yer floklaşma yaşanmıştır. Akış zorlaşmıştır.

Zamana bağlı olarak akışkanlık değişimi olarak tanımlanan tiksotropi denemelerinde benzer durum yaşanmıştır. 10 dakika bekleme süresinin ardından akıcılık %1 ve %2,5 FJ li süspansiyonlarda azalırken % 5 FJ katkısı sonrası akışkanlık yine zorlaşmıştır (Şekil 3).



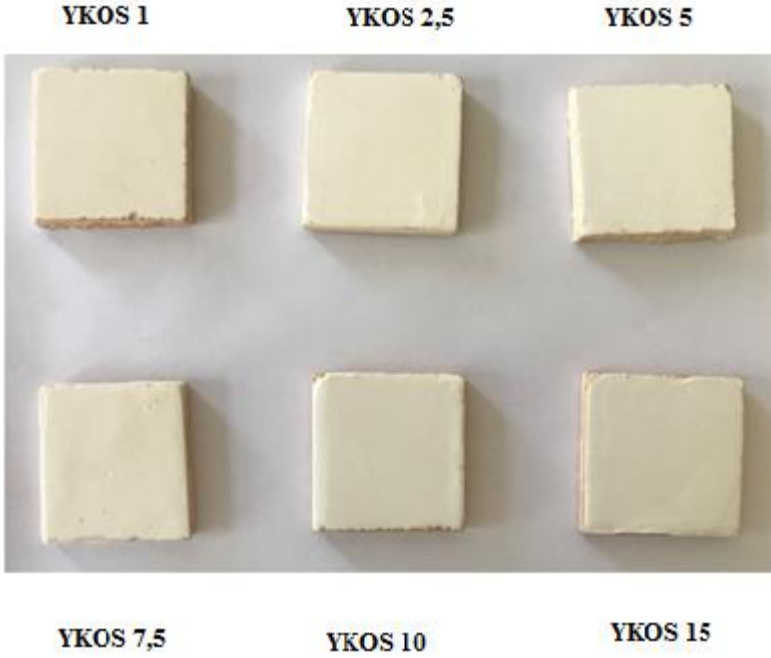
**Şekil 3.** FJ katkısının YKOS tiksotropisi üzerine etkisi

### **Mekanik testler**

1000 ve 1100°C de sinterlemenin yeterli olmadığı görülmüştür. Aşağıda verilen tüm test sonuçları 1200°C de pişirim sonucu elde edilmiştir.

### **Çarpmaya Dayanım Testi**

Seramiklerin kırılma enerjileri düşüktür ve oluşabilecek bir çatlamanın büyüme hızı yüksektir (Jin & Bao, 1996; Bao, Shengbiao, Yang ve Fan, 2002). Bünyenin mukavemet kontrolü mutlaka yapılmalıdır. Çarpmaya dayanım ve ısı şokuna dayanım bu amaçla yapılacak en önemli test yöntemleridir. Şekil 4 1200°C de pişirilen FJ katkılı yer karolarının çarpmaya dayanım testi sonrası çekilen fotoğrafını göstermektedir. Hiçbir karoda çatlama olmamıştır.



1100 °C nin üzerinde iyi bir ergitici olan CaO, sırn daha akıcı olmasını sağlar ve düşük genleşme katsayısına sahiptir. Ürüne dayanıklılık kazandırır (Taylor & Bull; 1986; Çetin 2005; Yeşilay, Çakı, Arianpour, 2018) . FJ miktarı %1-%7,5 arasındaki örneklerin yüzeylerinde küçük iğne delikleri oluşmuştur. Bu durum erime esnasında gaz çıkışının tamamlanmadığına işaret eder. Sır yüzeyinde açık gözenekler yer almaktadır. Miktarı %10 ve %15 olan örneklerde iğne delikleri görülmemiştir. Açık gözenekler kapanmıştır.

#### **Isı Şokuna Dayanım Testi (Harkot Testi)**

Sır ve bisküvi hamurunun genleşme katsayıları uygun olursa sırlama başarılı olur. Genleşme katsayılarının uygun olması, kimyasal bileşime, ayrı ayrı sır ve bünyenin iç gerilimlerine ve soğuma hızına bağlıdır (URL 5). Uyumsuz sır ve bisküvinin pişirilmesi ile bünye üzerinde çatlak oluşumu kaçınılmazdır. Tablo 3 farklı sıcaklıklarda bekletilen karoların Harkot testi gereği ani ısı şokuna tutulması sonucu karo üzerinde çatlak oluşumunu göstermektedir. Çatlamanın olması (+) işareti ile olmaması (-) işareti ile gösterilmiştir.



**Tablo 3.** Harkot test sonuçları

Sıcaklık (°C)	100°	125°	150°	175°
Bileşim (%)				
<b>YKOS</b>	-	-	-	-
<b>YKOS 1</b>	-	-	+	-
<b>YKOS 2,5</b>	-	-	+	+
<b>YKOS 5</b>	-	-	-	+
<b>YKOS 7.5</b>	-	-	-	+
<b>YKOS 10</b>	-	-	-	-
<b>YKOS 15</b>	-	-	-	-

Tabloya göre hiçbir karo 100° ve 125° C de çatlamazken, FJ yüzdesi 5, 7, 10 olan karolar 175°C de 1 ve 2,5 olanlar 150°C de çatlamıştır. YKOS 15 üzerinde standart gibi hiç çatlama olmamıştır. Sır ve bisküvinin uyumludur.

### **Kimyasallara Dayanım Testi**

Özellikle korozif sıvı ortamlara karşı seramik sırlarının dirençli olması beklenir. Kimyasal kararlılık sırnı camsı fazı ile ilgilidir. Camlar asidik ortamda iyon değişimi reaksiyonlarına girer ve cam içinde hidrojen iyonları derişimi artar, bazik ortamlarda ise camsı faz hidroksil iyonları tarafından zarar görür (Hupa, Bergaman, Fröberg, Tempest, Hupa, Kronber, Pesonen-Leinonen ve Sjöberg, 2005). Asitli ve alkali ortamlarda ayrı ayrı bekletilen FJ içerikli karolar hiçbir şekilde zarar görmemiştir ancak sır içinde FJ ten kaynaklanan aşırı CaO matlaşmaya ve hafif sararmaya sebebiyet vermiştir. Bu durum renk testi sonuçlarından da görülmektedir.

### **Renk Testi**

Standart ve örneklerin renk bakımından uyumlu olup olmadığının anlaşıldığı bu test yönteminde opaklık derecesi L değeriyle (0-100), yeşil (-) ve kırmızı (+) renk aralığı a değeriyle, mavi (-) ve sarı (+) renk aralığı b değeriyle verilmektedir. Tablo 4 tüm pişmiş karoların renk değerlerini göstermektedir.

Tablo 4. Pişmiş karoların renk değerleri

FJ (%)	0	1	2,5	5	7,5	10	15
L	95,15	92,73	93,21	92,81	92,47	92,78	92,11
a	-0,06	-0,11	-0,12	-0,16	-0,34	-0,12	-0,30
b	3,87	4,28	4,63	4,59	4,75	4,09	4,07

Tüm örnekler standart ile uyumludur, opaklık dereceleri yüksektir. Standarta göre az yeşilleşme (- a değerleri) ve sarılaşma (+ b değerleri) görülmektedir.

### Sonuçlar ve Öneriler

- YKOS na FJ in ağırlıkça %1 ve 2,5 katılması standart yoğunluğu  $1,68 \text{ g/cm}^3$  değerinden sırasıyla  $1,59 \text{ g/cm}^3$  ve  $1,66 \text{ g/cm}^3$  değerlerine düşürmüştür. Benzer durum akış sürelerinin (viskozitenin) 18 s den 15,2 s ve 16 s ye ve tiksotropi yüzdelerinin azalması ile de görülmüştür.
- $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $1100^\circ\text{C}$  pişirme sıcaklıkları sinterleme için yeterli olmadığından mekanik testler  $1200^\circ\text{C}$  de yapılabilmektedir.
- Çarpmaya dayanım testi sonrası karolarda kırılma veya çatlama olmamıştır. Isı şokuna dayanım testinde ağırlıkça % 1 ve 2,5 FJ içerikli karolar  $150^\circ\text{C}$  de % 5, 7,5 ve 10 içerikli karolar  $175^\circ\text{C}$  de çatlamıştır. % 15 FJ li karolar hiç çatlamamıştır. Karolar asit ve baz çözeltilerinden etkilenmemiştir ancak sır içinde CaO matlaşmaya sebebiyet vermiştir. Renk testi standart ve FJ li karoların uyumlu olduğunu göstermektedir. Standarta göre çok az yeşilleşme ve sararma vardır.
- FJ in sır içine katılabilecek uygun bir atık olduğu düşünülmektedir.

## Kaynaklar

Menezes, R.R., Santana, L.N.L., Neves, G.A. & Ferreira, H.C. (2012). Environmental Contamination, Chapter (11) Recycling of Mine Wastes as Ceramic Raw Materials: An Alternative to Avoid Environmental Contamination. 1st edition, InTech, ISBN: 978-953- 51- 0120-8, DOI: 10.5772/31913.

Jonker A. & Potgieter J.H. (2005). An Evaluation of Selected Waste Resources for Utilization in Ceramic Materials Applications. Journal of European Ceramic Society. 25, 3145-3149.

Demirel Y. & Çağlar Y. (2015). Atık Fosfojipslerin Yapı Malzemesi Olarak Ekonomiye Geri Kazandırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 30 (4), 743-750.

Contreras M., Teixeira S.R., Santos G.T.A., Gazques M.J., Romero M. & Bolivar J.P. (2018). Influence of the Addition of Phosphogypsum on Some properties of Ceramic Tiles. Construction and Building Materials, 175, 588-600.

TS EN ISO 10545-3 (2018). Ceramic Tiles-Part 3: Determination of Water Absorption, Apparent Relative Density and Bulk Density, 1-8.

URL 1 <https://www.sis.se/api/document/preview> (2011). Paints and Vernishes- Dtermination of Flow Time by Use of Flow Cups. 1-8.

TS EN ISO 10545-5 (2000). Ceramic Tiles-Part 5: Determination of Impact Resistance by Measuring the Coefficient of Restitution. 1-11.

TS EN ISO 10545-9 (2000). Ceramic Tiles-Part 11: Determination of Resistance to Thermal Shock.1-7.

TS EN ISO 10545-13 (2017). Ceramic Tiles-Part 13: Determination of Chemical Resistance. 1-20.

TS EN ISO 10545-16 (2000). Ceramic Tiles-Part 16: Determination of Small Colour Differences. 1-13.

URL 2 <https://www.amaco.com>

URL 3 <https://www.spectrumglazes.com>

Gebhart M. T. (2012). Technofile: Viscosity, *Ceramics Monthly*, 60, 14-18.

URL 4 [https://www.gardco.com/pages/viscosity/vi/din\\_cups.cm](https://www.gardco.com/pages/viscosity/vi/din_cups.cm)

Jin Z. & Bao Y. (2006). *Characterization of Mechanical Properties for the Brittle Materials*, Chinese railway Press, Beijing.

Bao Y., Shengbiao S., Yang J. & Fan Q. (2002). Prestressed Ceramics and Improvement of Impact resistance, *Materials Letters*, 57, 518-524.

Taylor J.R. & Bull A.C., (1986). *Ceramic Glaze Technology*. The Institute of Ceramics, Pergamon Press.

Çetin S, (2005). Bazalt Tüfü Kullanılarak Yapılan Fritlerin Endüstriyel ve Sanatsal Sırlarda Kullanımı, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. YL Tezi, Çukurova Ün. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.

Yeşilay S., Çakı M. & Arianpour A.Ç. (2018). Kalsiyum Oksidin Çatlaklı Sır Bileşimindeki Etkilerinin Araştırılması, *Gazi Ün. Müh. Bilimleri Dergisi*, 4(1), 25-38.

URL 5 [https://www.tuliyta.com/pdf/seramik\\_sirlari.pdf](https://www.tuliyta.com/pdf/seramik_sirlari.pdf).

Hupa L., Bergman R., Fröberg L., Tempest S.V., Hupa M., Kronber T., Pesonen-Leionen E. & Sjöberg A.M., (2005). Chemical Resistance and Clearability of Glazed Surfaces., *Surface Science*, 584, 113-118.

# THE EFFECT OF SILICIUM CARBIDE (SiC) REINFORCEMENT ELEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF IRON BASED POWDER METAL COMPOSITES

Demir Esaslı Toz Metal Kompozitlerde Silisyum Karbür (SiC) Takviye Elemanını Mekanik Özelliklere Etkisi

Mehmet YILDIRIM \*\* & Ahu ÇELEBİ \*

\*\* Manisa Celal Bayar University Faculty of Engineering,  
mehmet.yildirim@cbu.edu.tr

\* Manisa Celal Bayar University Faculty of Engineering, ahu.celebi@cbu.edu.tr

**Abstract:** In this study, it is aimed to produce iron based SiC (Silicon carbide) reinforced powder metal composite materials by Powder Metallurgy (P/M) method. Silicon carbide is added to Högonas pure iron powder in different grain sizes and different proportions and composites are produced by mechanical alloying method. These composites were compressed at room temperature under a pressure of 600 MPa. The composites were sintered for 45 minutes at 1120 ° C. Three-point bending and abrasion tests were applied to the composite materials. As a result of this study, the effect of strengthening materials (XRD, SEM, Microstructure) added to matrix in different grain size and different ratios on three point bending strength, abrasion resistance, hardness and density were investigated.

**Keywords:** Composite material, Powder metallurgy, Grain size and ratio, Mechanical alloying

**Özet:** Bu çalışmada demir esaslı SiC (Silisyum karbür) takviyeli toz metal kompozit malzemelerin Toz Metalurjisi (T/M) yöntemi ile üretilmesi amaçlanmıştır. Högonas saf demir tozunun içerisine farklı tane boyutlarında ve farklı oranlarda silisyum karbür ilave edilip mekanik alaşımlandırma yöntemi ile kompozitler üretilmiştir. Bu kompozitler oda sıcaklığında 600 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Elde edilen kompozitler, 1120 °C'de 45 dakika bekletilerek sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere, üç noktadan eğme ve aşınma testleri uygulanmış sertlik ve yoğunluk incelemeleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, farklı tane boyutu ve farklı oranlarda matrise ilave edilen takviye malzemelerinin, karakterizasyon testleri (XRD, SEM, Mikroyapı), üç noktadan eğme dayanımına, aşınma direncine, sertliğe ve yoğunluğa etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzeme, Toz metalurjisi, Tane boyutu ve oranı, Mekanik alaşımlama

## **Introduction**

In recent years, rapid developments in material technology, engineering applications, materials with different properties began to be used extensively (Schaefer, 1996). Today, in manufacturing processes, economics is an important factor as well as manufacturing technology and engineering. Therefore, the raw material to be used should be considered to be economical. In this case, composite materials appear (Lubin, G, 1995). Materials used in engineering are generally metals, ceramics and organics. These three groups have their strengths and weaknesses. Metals are metals in which all properties are above a certain level and the risk of making a mistake in the selection process is minimal. Plastic and ceramic materials also have an increasing use in the engineering field due to some very attractive properties. In addition to these three groups, there are also so-called composite materials, which are obtained by combining the appropriate properties of two or more materials from the same or different groups in a single material or combining them at a macro level to produce a new feature (Aran, A, 1997).

Composite materials; high mechanical strength, toughness, thermal conductivity, abrasion resistant, fracture strength and dimensional properties such as protection of various engineering properties are better than other materials (Lubin, G, 1995; Demirkesen, E, 1991). The development of metal matrix composite (MMC) materials is one of the greatest inventions in the field of materials science in recent years. MMC materials have higher strength and stiffness than plastic matrix materials, they have less directional dependence and higher temperature resistance. MMC materials, ductility and toughness and properties such as high strength and elastic modulus of ceramics combine (Aran, A, 1997). One of the production methods of metal matrix composite (MMC) materials is powder metallurgy. Powder Metallurgy deals with the processing of metal powders into useful engineering parts. The main steps of powder metallurgy are powder technology, powder processing and determination of the properties of the materials produced (German, R.M, 2007). Powder metallurgy is a technology that has been used in ancient times. In 3000 BC, iron powders and sponge iron were used by the Egyptians for shaping. Later, powder metallurgy techniques, which did not find much use, were re-used from the 1700s onwards (Davis J. R., 1998). Modern powder metallurgy

(P/M) technology began in the 1920s with the production of tungsten carbides and porous bronze deposits. During the Second World War, there was a great deal of development in terms of production techniques and product diversity, and the production of iron and non-iron based composites became widespread until the 1960s. Since then, powder metallurgy techniques have become increasingly used due to their economical production and unique characteristics (Upadhyaya, G.S, 1997; Yıldırım, M, 2010). Iron powder is the most widely used powder industry in powder metallurgy. It is used to produce high purity fine iron powders, sintered parts, soft magnetic components, soldering, iron reinforcement, friction products, printing, surface coating, welding, chemical and polymer filters (Rye, U., 2009). Silicon carbide is one of the most widely used reinforcing materials in powder metallurgy industry. SiC (silicon carbide) has a structure similar to diamond. Low density, high stiffness and strength, as well as thermal stability is very good. It is readily available in large amounts and inexpensively as particles (Aran, A, 1997; Chawla, K. K. 2003).

Powder metallurgy (P/M) allows the production of high-strength parts by mechanical alloying from insoluble elements in the liquid phase, as well as magnets, filters, inserts, contactors, self-lubricating bearings and so on. It is the most suitable production method for many special tissue and structure parts. Powder metal is used in the construction of high cutting speed hard metal bits, milling cutters, rock drilling and oil well drilling drills. Iron-based powders are also sintered with new sintering methods such as powder injection molding (Baydur, G, 1984; Ersumer, A, 1970; Silva, A, 2008).

Iron-based powder materials represent the largest group of materials produced by powder metallurgy. Thus, the developments in powder metallurgy are directly related to the developments in iron-based powder metal materials. Iron-based powdered metal materials are widely used in the automotive industry and in other industries and have unique physical and chemical advantages such as iron-based materials produced by other production methods. Oxidation from oxide is the oldest method of producing iron powder (Thummler, F.I, 1993).

Sintering is a thermal process in which the particles are converted to a predominantly solid structure by making chemical bonds under

the influence of heat by means of mass transport phenomena occurring on an atomic scale, which are compressed under pressure or simply shaped. This bond increases the strength and reduces the system energy (Uthayakumar, M, 2013; Zor, M, 2018). Sintering generally aims to produce repeatable parts. In addition, it is aimed to obtain the desired microstructure properties by controlling the sintering parameters. Microstructure control refers to the control of grain size, distribution, sintered density and phases. In many cases, the aim is to obtain the highest possible density values. Generally, sintering is divided into two main groups: solid state and liquid state. Solid state sintering refers to the condensation of powder particles in a solid state, while in liquid phase sintering, any of the phases is in the liquid state during sintering (Zor, M, 2018, Göktaş, A, 1995).

## **Materials and methods**

### **Materials**

In this study, following the production flow chart given in Figure 3.1, the process steps of powder mixing, weighing, pressing, sintering and sintering materials are generally included. Iron powders Anowalgeme ASC 100-29 is a högenas iron powder. Of the SiC powders, dusts between 53µm and 75 µm are given SiC\_122 code for the powders between 122 µm and 150 µm.

### **Methods**

SiC\_53 and SiC\_122 powders were added by mass (0, 5, 10, 15, 20%) to iron powder and the mixture was formed by using 0.8 kenolube as lubricant and subjected to mechanical alloying. 9 different recipes formed in iron and silicon carbide powders, mechanical alloying was performed in Resch Pm 100 brand device. WC balls were mechanically alloyed with 1:10 and 270 rpm for 30 minutes. At the end of the mechanical alloying, the mixture was filled into pellet and rods. The mixture will be prepared in the proportions determined for production and the prepared mixture is shaped in the mold under 600N/mm<sup>2</sup> pressure, pre-sintering at 600 °C for 90 minutes at 4 °C/min and composite materials are produced by conventional sintering for 45 minutes at 1120 °C. For the metallographic examination of the samples, the samples were sanded in the polishing machine with various grids and polished with 3 and 1 micron diamond solution. After polishing, the samples were etched in 3% Nital (3% Nitric Acid-97% Ethanol) solution.

Densities of the samples were measured by weighing, which performs density measurement in accordance with ASTM B962-08 standard which



works on Archimedes principle. Abrasion tests were performed in dry conditions at room temperature using CSM ball-on disc type tribometer in CSM Tribometer Pin on disc wear device. The abrasion test using the abrasion device was carried out using the pin on disk method and the alumina ball as the counter element. In the abrasion test, 10 N load was applied and 6 mm diameter alumina balls were used. A total of 1000 m road erosion process was carried out, and after the 1000m erosion road was covered, the surface roughness values (Ra) were obtained with 2 dimensional profilometer device. Rockwell-B hardness measurements of samples were performed with BMS 200 RB device with 100 kg (981 Newton) force in accordance with ASTM E18-12 standard. Vickers hardness measurements of the samples were performed in Future-Tech FM-700 micro hardness tester with 50 g load applied for 10 seconds in accordance with ASTM: E384-11e1 standard. The three-point bending test of the samples was carried out on a SHIMADZU-AG device with a capacity of 100 kN at a speed of 1 mm/min. For microstructure analysis of the samples, the samples were sanded in various grids with Struers Labopol 5 polishing device and polished with 3 and 1 micron diamond solution. After polishing process, samples were etched in 3% Nital (3% Nitric Acid-97% Ethanol) solution and after abrasion test, microstructure images were taken on Nikon Eclipse LV150 optical microscope. Elemental analysis was performed on a Carl Zeiss 300VP SEM Instrument under Scanning Electron Microscope. X-ray diffraction analysis (XRD) examinations of samples were carried out in accordance with ASTM D3906-03 standard on Panalytical Empyrean brand XRD. Compounds and phases formed after sintering in iron based samples and their relationship with sintering parameters were investigated by XRD analysis.

## Results

The density of the samples before and after the sintering process is measured by Archimedes principle and the results are given in Table 1.

Table 1. Archimedes balance density results

Sample number	Density values (g/cm <sup>3</sup> )	Sample number	Density values (g/cm <sup>3</sup> )
1	7,0253	6	6,7312
2	6,8121	7	6,4185
3	6,5341	8	6,0127

4	6,1042	9	5,5012
5	5,7118		

The results of the wear test are given in figure 1 and figure 2. Change of friction coefficient is observed at the end of wear tests.

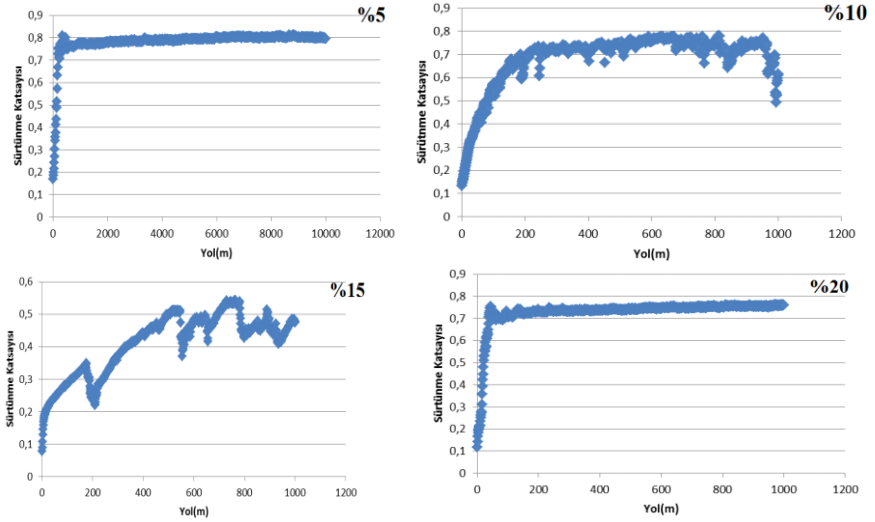
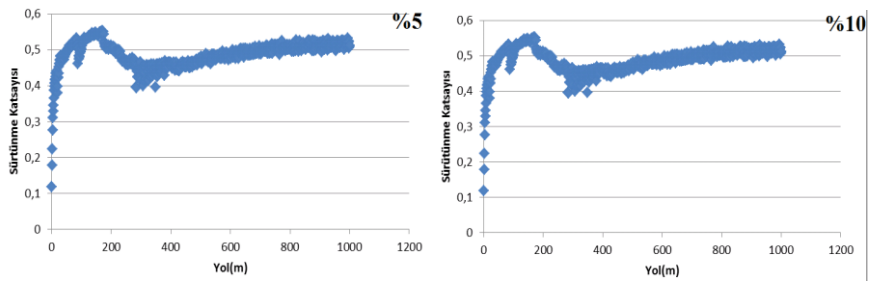


Figure 1. Variation of friction coefficient at the end of wear tests of sintered SiC<sub>53</sub> composite materials containing 5% -10% -15% -20% iron metal



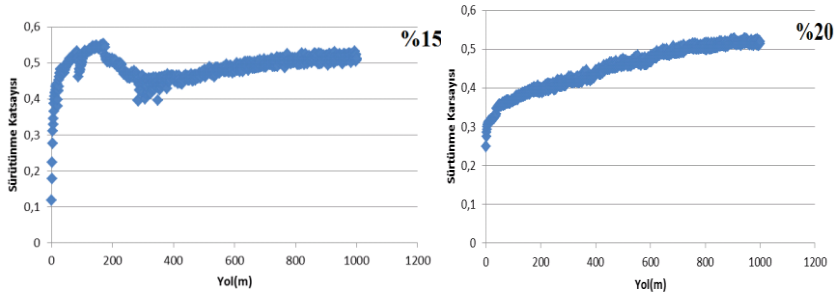


Figure 2. Change of friction coefficient at the end of wear tests of sintered SiC-53 composite materials containing 5% -10% -15% -20% iron metal

Weight losses and surface roughness values at the end of wear are shown in tables 2 and 3.

Table 2. Weight loss of materials at the end of wear test

Sample number	Weight losses (gr)	Sample number	Weight losses (gr)
1	0,033	6	0,017
2	0,002	7	0,064
3	0,04	8	0,082
4	0,055	9	0,0101
5	0,064		

Table 3. Surface roughness values of materials at the end of wear test (Ra)

Sample number	Surface roughness values (Ra) ( $\mu\text{m}$ )	Sample number	Surface roughness values (Ra) ( $\mu\text{m}$ )
1	0,84	6	0,96
2	0,74	7	0,102
3	0,96	8	0,98
4	0,101	9	0,109
5	0,98		

The results of the Rockwell-B hardness measurement applied to the sintered samples on the BMS 200 RB brand Rockwell-B hardness tester are given in Table 4. Hardness measurement was applied to at least 3 samples for each parameter and averaged by measuring at least 4 points on each sample.

Table 4. Rockwell-B hardness tester BMS 200 RB brand Rockwell-B hardness measurement results applied

Sample number	Average Rockwell-B hardness measurement value (HRB)	Sample number	Average Rockwell-B hardness measurement value (HRB)
1	91,15	6	90,375
2	90,8	7	90,25
3	90,2	8	90,2
4	89,8	9	89,2
5	89,325		

The results of micro hardness measurement applied to sintered samples on Future-Tech FM-700 micro hardness tester are given in Table 5. Hardness measurement was applied to at least 3 samples for each parameter and averaged by measuring at least 4 points on each sample.

Table 5. The results of micro hardness measurement applied on the Future-Tech FM-700 micro hardness tester

Sample number	Average microhardness values (HV)	Sample number	Average microhardness values (HV)
1	325,425	6	319,125
2	317,9	7	307,675
3	312,75	8	301,15
4	307,75	9	291,45
5	296,05		

The results of the three-point bending test on the SHIMADZU-AG brand bending device are shown in Figure 6.

Table 6. Three point bending test results

Sample number	Bending test results (N/mm <sup>2</sup> )	Sample number	Bending test results (N/mm <sup>2</sup> )
1	300,28	6	303,16
2	298,12	7	278,94
3	280,11	8	254,17
4	250,22	9	201,20
5	210,84		

The microscope images of the wear marks are shown in figure 3 and figure 4.

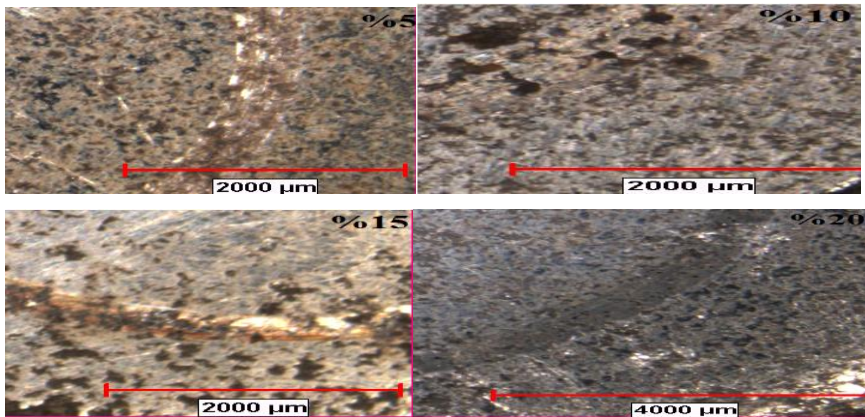


Figure 3. Optical microscope view of the wear trace of sintered SiC-53 composite materials containing 5%, 10%, 15%, 20% iron metal

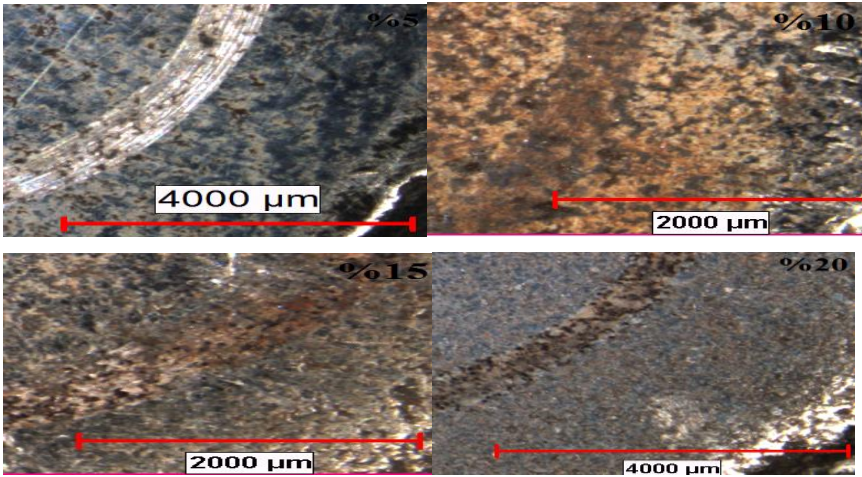


Figure 4. Optical microscope images of sintered SiC-122 composite materials containing 5%, 10%, 15%, 20% iron metal

SEM images of the materials are shown in figure 5 and figure 6.

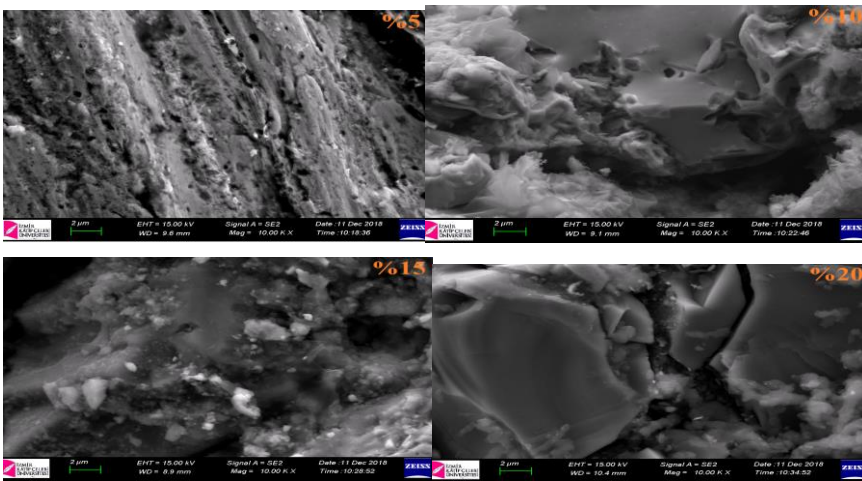
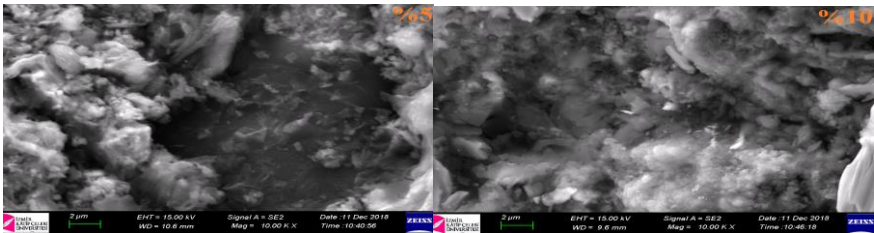


Figure 5. SEM images of sintered SiC-53 composite material containing 5% -10% -15% -20% iron metal (X10000)



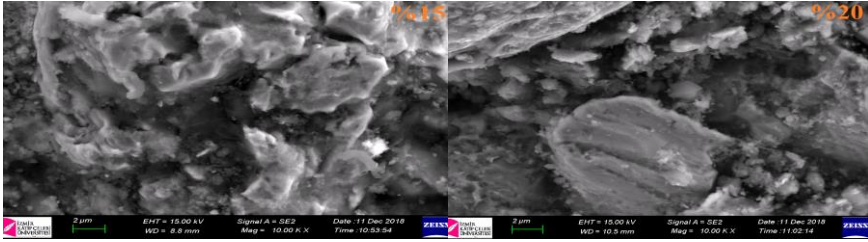


Figure 6. SEM images of sintered SiC-122 composite material containing 5% -10% -15% -20% iron metal (X10000)

The comparison of the XRD results of the produced materials is shown in Figure 7.

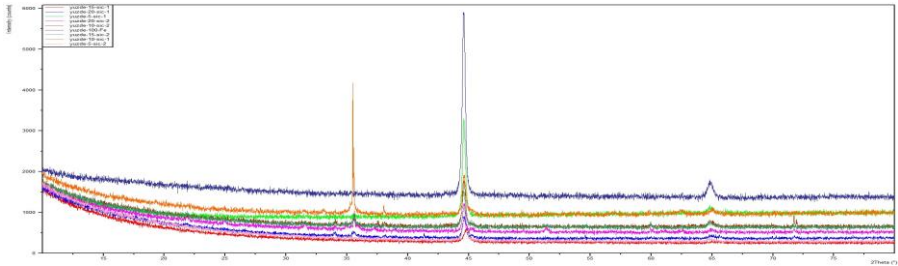


Figure 7. Comparison of XRD analysis results of composite materials produced

## Conclusion and Suggestions

### Conclusion

In the study titled “Production and Characterization of Al-SiC Composites by Mechanical Grinding and Unpressurized Sintering” (Özyürek, D, 2019) by Özyürek et al., Different amounts of SiC were added to the aluminum metal and the same mechanical alloying process was applied and sintered in hardness and density was examined. In our study, all hardness values were higher.

In the study titled yap Investigation of Al-SiC Composites Produced by Mechanical Alloying / Grinding Method”(Şimşek, İ, 2018) by Şimşek et al., Different amounts of SiC were added to aluminum metal by applying the same mechanical alloying process at different times and its hardness and density were investigated. Since mechanical alloying time is longer, all hardness values are higher than our study.

Şenel et al. “SiC reinforced aluminum-based composites to investigate the mechanical properties and microstructure” (Şenel, MC, 2018) in the study of powder metallurgy with the method of aluminum matrix in the ratio of 0-30% by weight SiC contribution was made to the strength of Vickers hardness ratio compressive strength and its effect on microstructure were investigated. Sintering was performed in vacuum furnace. Vickers hardness was found to be 79 HV with 30% by weight SiC. In our study, the lowest Vickers hardness value was found to be 291.45 in the sintered SiC\_122 coded sample containing 20% iron metal.

In the study titled Trib Tribological Properties of Abrasives (Alumina, Silica, Zircon) in Brake Friction Materials Su (Sugözü, B, 2018) by Sugözü et al. Six brake pads samples were produced by adding the composition into the friction properties were investigated. Hardness and density are directly proportional to the results. In our study, hardness decreases as density decreases.

Overall results;

1. Density values of composites decreased with increasing reinforcement ratio (0%, 5%, 10%, 15%, 20%).
2. When the XRD results of the composite materials produced were examined, no new phase formation was observed.
3. When the results of SEM analysis of composite materials are examined, it is seen that silicon carbide is well dispersed in the main structure. It is seen that mechanical alloying is suitable for this study.
4. In the wear tests, the least abraded sample was found to be composite material number 2 (sintered SiC-53 composite material containing 5% iron metal) and composite material number 8, which was hardly corroded (sintered SiC\_122 composite material containing 15% iron metal). The minimum coefficient of friction was found in composite material No. 4 (sintered SiC\_53 composite material containing 15% iron metal), and the maximum coefficient of friction was composite material No. 2 (sintered SiC\_53 composite material containing 5% iron metal).
5. Since the particle size distributions of the reinforcing amounts forming composite materials are close to each other, they have caused changes in mechanical and abrasion properties.
6. As sintering is carried out in the air environment, mechanical properties of silicon carbide have decreased.
7. When the microstructures of the composite materials produced are examined, it is seen that there are micro-cracks due to scratches, micro cavities and thermo-mechanical stresses caused by abrasion on the friction surfaces.



Suggestions; The sintering medium can be changed, for example argon, nitrogen sintering in environments such as the results can be compared.

### **Acknowledgments**

This study was supported by Manisa Celal Bayar University Scientific Research Projects Coordination Unit with the project number 2016-139. We would like to thank Manisa Celal Bayar University Scientific Research Projects Coordination Unit for its contributions

### **Kaynaklar**

Schaefer, W. H., Christion, J. L., (1969), Evaluation of the Structural Behavior of Filament Reinforced Metal Matrix Composites, Technical Report, 3, Air Force Materials Laboratory.

Lubin, G., (1995), Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Com., New York, USA.

Aran, A., (1997), New Developments in the field of Metal Matrix Composite Materials, Istanbul Technical University. 1. Faculty of Mechanical Engineering Congress, Istanbul.

Demirkesen E., (1991), Composite Materials, ITU Faculty of Chemistry and Metallurgy, 3, Istanbul.

German, R. M., (2007), Powder and Particle Material Processing, Editors; Suleyman Saritas, Mehmet Turker, Nuri Durlu, TMMD, Ankara.

Davis J.R. (1998), Metals handbook ASM, International, Materials Park.

Upadhyaya G. S., (1997), Powder metallurgy technology. Cambridge International Science Publishing, Cambridge.

Lightning, M., (2010), Zirconia / Mullite Ceramic Matrix Composites Production and Characterization, Master Thesis, Dumlupinar

University Institute of Science and Technology, Kutahya.

Cavdar, U., (2009), Determination of Parameters in Induction Sintering of Iron Based Powder Metal Parts, Celal Bayar University, Institute of Science and Technology, Ph.D. Thesis, Manisa.

Chawla, K. K., (2003), Ceramic Matrix Composites, Kluwer Academic Publishers, USA.

Baydur, G., (1984), Materials, State Books, 278-282, National Education Printing House, Istanbul.

Ersumer, A., (1970), Powder Metallurgy, ITU Library Printing House, Gumussuyu Istanbul.

Silva, A., Lozano, JA, Machado, R., J.Escobar, JA, Wendhausen, PAP, (2008), Study of soft magnetic iron cobalt based alloys processed by Powder injection molding, Journal of magnetic materials, 320, 392 -396.

Thummler, F.I., Oberacker, R., (1993), An introduction to powder metallurgy Institute of Materials, London.

Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajkumar, K., (2013), Wear performance of Al-SiC-B<sub>4</sub>C hybrid composites under dry sliding conditions, Materials and Design, 47, 456-464.

Zor, M., (2018), General Information about Composite Materials, Mechanics of Composite Materials Lecture Notes, DEU Mechanical Eng., Izmir.

Göktan, A., South, A., Erek, M. (1995) Vehicle brakes, AlliedSignal Automotive, Turkey, Panel Press, ISBN 975-95017, 0-8.

Özyürek, D., Şimşek, İ., Şimşek, D., (2019), Production and

Characterization of Al-SiC Composites by Mechanical Grinding and Pressureless Sintering, BEÜ Journal of Science, 8 (1), 227-233.

Simsek, I., Yildirim, M., Tuncay, T., Ozyurek, D., Simsek, D., (2018), Investigation of Al-SiC composites produced by mechanical alloying / grinding method, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 13 (2), 165-171.

Senel, M.C., Gurbuz, M. and Koc, E., (2018), Investigation of mechanical properties and microstructure of SiC reinforced aluminum-based composites, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 2A0142, 13 (2), 122-133.

Sugözü, B., Dağhan, B., (2018), Tribological Properties of Abrasives (Alumina, Silica, Zircon) in Brake Friction Materials, Nevşehir Journal of Science and Technology, 7 (1), 14-23.

Çavdar, U., Ünlü, B.S., Pinar, A.M., ATIK, E., (2015), Mechanical properties of heat treated iron-based compacts "Materials and Design, 65, 312–317.

De Oliveira, LJ de., Paranhos, RP da R., Guimaraes, R. da S., Bobrovnitchii GS, Filgueira, M., (2007), Use of PM Fe–Cu–SiC composites as bonding matrix for diamond tools, Powder Metallurgy, 50 (2), 148-152.

# OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN DEPOSITION OF STAINLESS STEEL ON LOW CARBON STEEL BY FRICTION SURFACED DEPOSIT

**Nilay KÜÇÜKDOĞAN\* & Savaş ÖZTÜRK\*\* & Ozan AYAKDAŞ\*\*\* Melih SAVRAN\* & Levent AYDIN\*\*\*\***

*\*Izmir Katip Çelebi University, Department of Graduate School of Natural and Applied Sciences, kucukdogan.nilay@gmail.com*

*\*\*Manisa Celal Bayar University, Department of Metallurgical and Material Science Engineering, savas.ozturk@cbu.edu.tr*

*\*\*\*İzmir Institute of Technology, Department of Graduate School of Natural and Applied Sciences, ozanayaksas@gmail.com*

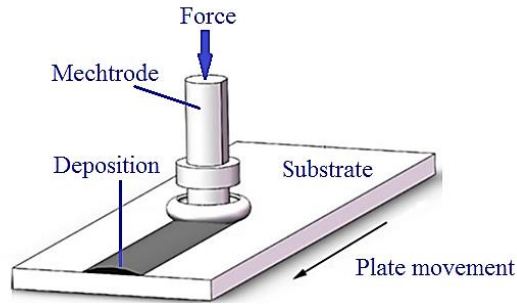
*\*\*\*\*Izmir Katip Çelebi University, Department of Mechanical Engineering, levent.aydin@ikc.edu.tr*

**Abstract :** Friction deposition is a vital manufacturing technique used in surface coating, jointing, and additive manufacturing applications. As with coating technologies, materials with superior properties can be deposited onto the surfaces of ones with poor physical or chemical properties. In this technique, process parameters such as friction pressure, mechtrode rotational speed, and transverse speed have a significant effect on the characteristics of this deposition. In this study, the effects of process parameters on the storage amount in the stainless steel deposition process by friction deposition method on low carbon steel are mathematically modeled by nonlinear regression analysis. Then, the optimum process parameters for each output were determined using stochastic optimization algorithms.

**Keywords:** stochastic optimization, friction deposition, stainless steel

## Introduction

Friction surfacing is one of the advanced manufacturing techniques, and the pieces are exposed to a relative motion under tension in this phase so that the frictional energy produced at the interface between faying surfaces is used to connect different and dissimilar materials. A schematic representation of this process is shown in Figure 1 (Govardhan, Kumar, Murti, & Reddy, 2012; Vitanov & Voutchkov, 2005).



**Figure 1.** A schematic representation of friction surfacing

Friction surfacing is a technique of solid-phase bonding that promotes metallurgical bond forming. This technique is applied in many different areas, such as providing wear resistance, corrosion protection, homogeneous repairs of valuable components, and obtaining the desired thermal/electrical properties. Furthermore, it does not include the commonly found drawbacks of conventional welding methods such as porosity, cracks, or slag dilution. The surfacing of friction includes complicated thermo-mechanical processes, and this phenomenon is very important to ensure the bonding between the materials (Govardhan et al., 2012; Vitanov, Javaid, & Stephenson, 2010).

Therefore the choice of system parameters relies on the following factors for any combination of a product; i. Forging strength of the consumable rod and the substrate, ii. Coefficient of friction between consumable rod and substrate, iii. Physical properties of consumable rod and substrate, iv. The diameter of the mechtrode (Govardhan et al., 2012). In this method, an interesting coating (or bonding) technique, the process parameters affect the various physical and chemical properties of the product. In such engineering applications, regression analysis is an important tool for mathematically demonstrating the effects of production process parameters on the physical and mechanical properties of the product. The results obtained by running the model obtained with RA with experimental parameters are compared statistically with the experimental results, and the correlation coefficient ( $R^2$ ) is calculated. Models with a high  $R^2$  value are also used as objective functions to run various optimization algorithms.

In this study, the data of the deposition of stainless steel by friction welding on a low carbon steel surface was obtained from Govardhan (Govardhan et al., 2012). In a systematic optimization study, the effects of friction pressure, the rotation speed of mechtrode, and transverse speed of substrate production parameters on surface roughness and tensile strength were

mathematically determined by regression analysis. The prepared regression models were used for stochastic optimization algorithms DE, RM, NM, and SA.

## Material and Methods

### Regression Analysis

Regression analysis is a convenient statistical tool to estimate the relationships among the parameters which affect the engineering process. There are many types of regression models in the literature, such as Linear, Logistic, Nonlinear, Rational, and Stepwise, to define physical processes. Many engineering processes can be described well by using linear regression models. However, due to the nature of the phenomena to describe the problem, many other nonlinear processes are needed nonlinear regression models, including the more general class of functions, such as logarithmic, trigonometric, power, and rational forms (Ozturk, Aydin, Kucukdogan, & Celik, 2018). As a consequence, they can be used to describe some experimental process effects in cases where the response can be limited in a finite amount.

Here are some definitions before creating the nonlinear regression model:

SSE or error sum of squares, which are the sum of the squared differences between each observation and its group's mean. It can be used as a measure of variation within a cluster. If all cases within a cluster are identical, the SSE would then be equal to 0. The formula for SSE is:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{fit})^2$$

Where n is the number of rows

SST or the total sum of squares is a quantity that appears as part of a standard way of presenting results of such analyses. It is defined as being the sum, over all observations, of the squared differences of each observation from the overall mean. The formula for SST is:

$$SST = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2$$

$R^2$  (Determination coefficient) we use this concept to denote the association between two quantitative variables. In regression, this technique involves estimating the best functional form to summarize the

association. The value of  $R^2$  can range between 0 and 1, and the higher its value, the more accurate the regression model is. It is often referred to as a percentage. The formula for  $R^2$  is:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SSE}{SST} \right)$$

### **Optimization Algorithms**

Optimization is a mathematical process used to form the best design or favorable designs by minimizing or maximizing defined single or multi objectives that fulfill all the constraints. There are many optimization algorithms to find the maximum and/or minimum values of the design problems. These optimization algorithms can be classified as traditional and non-traditional methods. Between them, traditional methods such as Constrained Variation and Lagrange multipliers are analytical and can be find the available optimum solution by continuous and differentiable functions only (Rao, 2019). Due to including highly nonlinear terms, optimization problems for experimental data modeling of complex engineering processes can be estimated with the rare error by using non-traditional methods than traditional methods. For these cases, stochastic optimization methods from non-traditional methods such as Genetic Algorithms (GA), Differential Evolution (DE), Nelder-Mead (NM), and Simulated Annealing (SA) methods become more popular and appropriate among other algorithms. A detailed review study of various optimization methods and algorithms can be found in the study by (Rao, 2019). In this paper, Differential Evolution, Nelder-Mead, Simulated Annealing, and Random Search algorithm have been used to solve minimum surface roughness and maximum tensile strength of the deposition of stainless steel. The algorithm details, including flowcharts of the methods, have been given in the following subsections. Optimization parameters of DE, NM, RS, and SA also shown in Table 1.

**Table 1.** Corresponding options for the optimization algorithms DE, NM, RS, and SA.

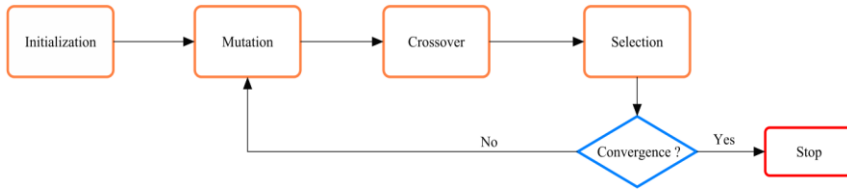
<b>Options</b>	<b>DE</b>	<b>NM</b>	<b>RS</b>	<b>SA</b>
Cross Over fractions	0.5	-	-	-
Random Seed	1	5	-	2
Scaling Factor	0.6	-	-	-
Tolerance	0.001	0.001	-	0.001
Contract Ratio	-	0.5	-	-
Expand Ratio	-	2.0	-	-
Reflect Ratio	-	1.0	-	-
Shrink Ratio	-	0.5	-	-
Level Iterations	-	-	-	50
Perturbation Scale	-	-	-	1.0

The constrained optimization problem for this study has been solved with Wolfram Mathematica Software. Wolfram Language functions for constrained optimization include Minimize, Maximize, NMinimize, and NMaximize for global constrained optimization.

### **Differential Evolution Algorithm**

Differential evolution (DE) is a stochastic optimization method which allows alternative and more convergent global optimum solutions for some of the tool wear and metal removal rate by (Yang & Natarajan, 2010). However, it is not guaranteed to find the global optima. Differential Evolution algorithm includes the following main stages: initialization, mutation, crossover, and selection, as shown in Figure 2. The optimum results of the algorithm change with the parameters: scaling factor, crossover, and population size. DE algorithm is computationally expensive since it considers a population of solutions instead of a single solution at each iteration. Detail description of the DE can be found in (Storn & Price, 1997).

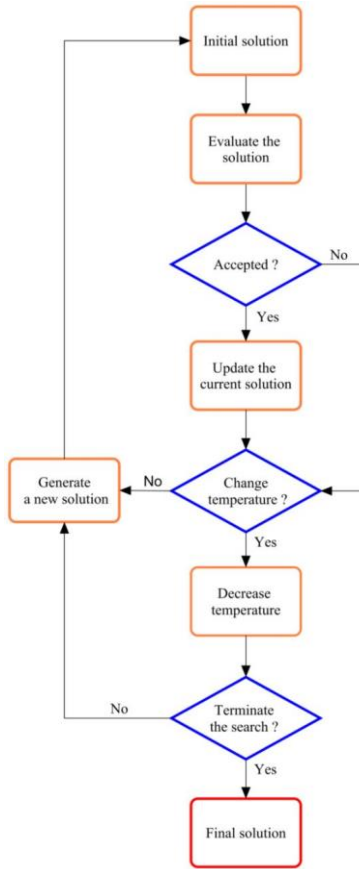




**Figure 2.** Flowchart of the DE algorithm. (Ozturk et al., 2018)

### **Simulated Annealing Algorithm**

Simulated Annealing is one of the most popular search methods based on the physical process of Annealing. Annealing is the thermal process of the metal object by described that warming up high temperatures and permits to cool slowly. The melting process allows the atomic structure of the material to settle to a lower energy state; hence, it is reached to tougher material. At this point, in SA algorithm, annealing process lets the structure to get rid of a local minimum, and to close and settle on a better global optimum point. SA is an algorithm that is having more advantageous concerning enables to solve various optimization problems such as continuous, discrete, or mixed-integer. In order to follow the procedure of the algorithm easily, the flowchart of a SA algorithm is presented in Figure 3.

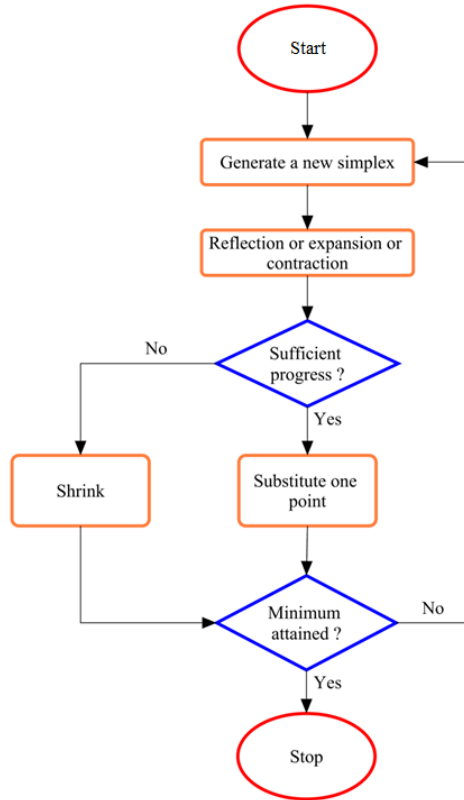


**Figure 3.** Flowchart of the SA algorithm (Ozturk et al., 2018)

### **Nelder Mead Algorithm**

The Nelder Mead is an optimization algorithm to achieve minimum or maximum response of objective function for the unconstrained optimization problem designed by (Nelder & Mead, 1965). Although Nelder–Mead is not a global optimization algorithm, it is inclined to work fairly well for problems that do not have many local minima in practical usage. The adjustment of the algorithm options is controlled by four basic procedures: reflection, expansion, contraction, and shrinkage. One of the characteristic properties of the algorithm is that NM often gives considerable improvements in the first few iterations and rapidly generates quite adequate results. NM has high flexibility in discovering difficult domains due to having properties such that the simplex can vary its orientation, size, and shape to adapt itself to the local contour of the

objective function (Fan, Liang, & Zahara, 2006). The main steps of the algorithm can be seen in Fig. 4.

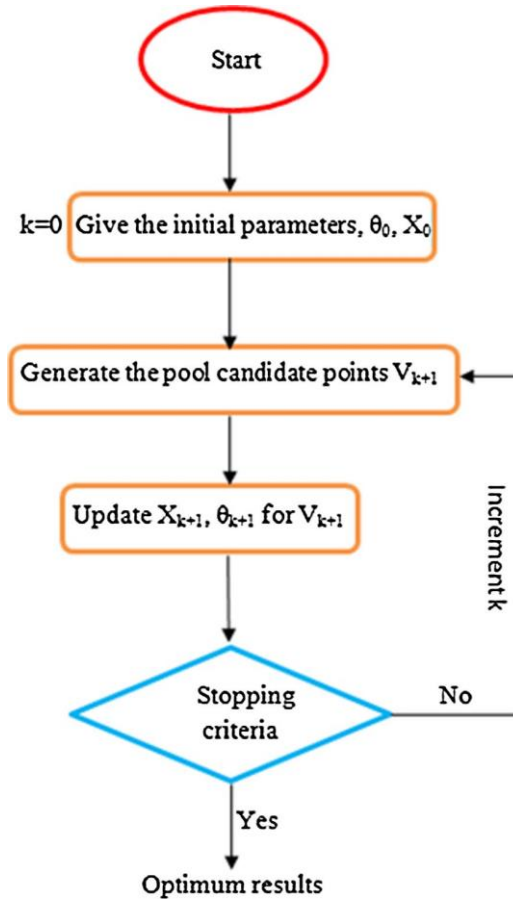


**Figure 4.** Flowchart of the NM algorithm (Ozturk et al., 2018)

### Random Search Algorithm

RS method which is also known as a Monte-Carlo method is a stochastic algorithm provides some advantages; for example: since small step methods can arrive only the top of a local peak, it should be combined with some sort of true search procedure when a search for the absolute maximum of a multimodal function is necessary. There are many programs and standard techniques based on a pseudo-random number generator. To produce an approximation to any desired distribution, resulting in values has to be transformed and scaled. The main advantage usage of RS is that it is possible to achieve the global optimum for non-convex, nondifferentiable objective functions containing continuous, discrete domains, or a mix of them for large-scale problems. Another advantage is

relatively easy to implement on complex problems. As a result of all the advantages, it is provided for appropriate usage. Additionally, since RS algorithms can give useful information quickly for ill-structured global optimization problems, It is well known as a “robust” algorithm. Detail discussion of the random search method is given in the study by (Karnopp, 1963), (Zabinsky, 2009). For this study, the RS algorithm follows the procedure given in Fig. 5.



**Figure 5.** Flowchart of the RS algorithm (Adapted from (Zabinsky, 2009))

## Results and Discussion

In this section, tensile strength and surface roughness regression models with high  $R^2$  values have been finalized and optimum values have been obtained depending on optimization algorithms (see Tables 2 and 3).

### Tensile strength

$$TS = -577.227 + 11.005 f + 0.738 f^2 + 0.345r - 0.036 fr + 0.000391 r^2 + 21.952 t - 0.412 ft - 0.012 rt + 0.000226 frt$$

In the expression of the TS function,  $f$ ,  $r$ , and  $t$  describe the parameters of friction pressure, rotational speed, and transverse speed of substrate, respectively. When Table 2 is examined, it is seen that the most suitable parameters to reach the maximum tensile strength were obtained as friction pressure = 29 MPa, rotational speed of mechtrode = 2500 rpm and transverse speed of 78 mm / min. These results were obtained by both DE and RS methods.

**Table 2.** Optimization results for maximum tensile strength

	<b>Tensile Strength (MPa)</b>	<b>Friction pressure (MPa)</b>	<b>Rotational speed of mechtrode (rpm)</b>	<b>Transverse speed of substrate (mm/min)</b>
DE	728.319	29	2500	78
N	520.429	47	1500	290
M	471.597	33	2500	132
SA	728.319	29	2500	78

### Surface roughness

$$SR = 8.987 - 0.05 f - 0.006f^2 + 0.0006 r + 0.00003fr - 0.0000012r^2 - 0.025 t + 0.0032 ft + 0.00002 rt - 0.0004t^2$$

Similarly, when Table 3 is examined, it can be observed that the most suitable parameters to reach the minimum surface roughness values were obtained as friction pressure = 34 MPa, rotational speed of mechtrode= 1920 rpm and transverse speed of 289 mm/min. These results were obtained only by RS methods.

**Table 3.** Optimization results for minimum surface roughness

	<b>Surface roughness</b> s ( $\mu\text{m}$ )	<b>Friction pressure</b> (MPa)	<b>Rotational speed of mechtrode</b> (rpm)	<b>Transverse speed of substrate</b> (mm/min)
DE	1.0002	34	1612	274
N	1.2550	32	2497	288
M				
SA	3.3354	36	1858	268
RS	0.5118	34	1920	289

### Conclusion

In this study, the effect of process parameters on storage amount in stainless steel deposition process by friction deposition method on low carbon steel is modeled mathematically by nonlinear regression analysis. Then, the optimum process parameters for each output were determined using stochastic optimization algorithms. Optimum results have been obtained by RS best for maximum tensile strength and minimum surface roughness problems.

### References

- Fan, S.-K. S., Liang, Y.-C., & Zahara, E. (2006). A genetic algorithm and a particle swarm optimizer hybridized with Nelder–Mead simplex search. *Computers & industrial engineering*, 50(4), 401-425.
- Govardhan, D., Kumar, A., Murti, K., & Reddy, G. M. (2012). Characterization of austenitic stainless steel friction surfaced deposit over low carbon steel. *Materials & Design (1980-2015)*, 36, 206-214.
- Karnopp, D. C. (1963). Random search techniques for optimization problems. *Automatica*, 1(2-3), 111-121.
- Nelder, J. A., & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *The computer journal*, 7(4), 308-313.
- Ozturk, S., Aydin, L., Kucukdogan, N., & Celik, E. (2018). Optimization of lapping processes of silicon wafer for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 164, 1-11.
- Rao, S. S. (2019). *Engineering optimization: theory and practice*: John Wiley & Sons.

- Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.
- Vitanov, V., Javaid, N., & Stephenson, D. J. (2010). Application of response surface methodology for the optimisation of micro friction surfacing process. *Surface and Coatings Technology*, 204(21-22), 3501-3508.
- Vitanov, V., & Voutchkov, I. (2005). Process parameters selection for friction surfacing applications using intelligent decision support. *Journal of materials processing technology*, 159(1), 27-32.
- Yang, S., & Natarajan, U. (2010). Multi-objective optimization of cutting parameters in turning process using differential evolution and non-dominated sorting genetic algorithm-II approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(5-8), 773-784.
- Zabinsky, Z. (2009). Wiley encyclopedia of operations research and management science. In *Random Search Algorithms*: Wiley.

# SODYUM KATYONU İLE DOYURULMUŞ KAOLİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

**Kemal KÖSEOĞLU\* &Ender SÖNMEZ**

*Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, kemal.koseoglu@ege.edu.tr*

*Osmangazi Üniversitesi Maden Müh. ABD, esonmez@ogu.edu.tr*

**Özet:** Seramik sektöründe kullanılan kaolinitler saf değildir. Kaolinit içerisinde çeşitli iyonların bulunması seramik için kullanılan kaolinitin birçok özelliğine etki eder.

Bu çalışmada  $Na^+$ , katyonlarının döküm çamurunun reolojik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

Kaolinit süspansiyonunun akışkanlık ve pıhtılaşma özelliklerini kontrol edebilmek için karışımdaki kaolinit ve kil gibi bileşenlerin reolojik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Döküm çamuruna üretilecek malzemenin türüne bağlı olarak belirli oranda kaolinit katılır. Bu amaçla bu çalışmada döküm çamuruna %20 civarında katılan kaolinitin reolojik özelliklerine bazı iyonların etkileri araştırılmıştır.

Döküm çamurunda kullanılacak kaolinitin viskozitesine  $Na^+$ , iyonlarının etkileri saptanmıştır. Bu nedenle döküm çamuru hazırlanmadan önce kullanılacak kaolinitin ve suyun içerdiği katyonların miktar ve türlerinin belirlenmesi hazırlanacak çamura kullanılabilirliği açısından önem kazanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaolin, viskozite, FTIR.

**Abstract:** The kaolinites used in the ceramic industries are not pure. The various cations occurring in kaolinit influence many properties of kaolinit which is used in the production of ceramics.

In this study, the effects of the  $Na^+$ , cations on the rheological properties of slip casting are investigated.

The rheological properties of kaolinit and clay should be known, to control flow and coagulation properties of kaolinit suspensions. A certain amount of kaolinit is added into slip casting based on the specification of the ceramic material. This study aims to determine the effect of sodium ions on the rheological properties of slip casting having 20 % kaolinit.

It has been found out that the effect of the  $Na^+$  cations especially on the viscosity of slip casting is of prime importance. Therefore, it is essential to know the amount and the type of the cations occurring in kaolinit and water for the usability of the slip casting.

**Keywords:** Kaolin, viscosity, FTIR.



## Giriş

Kil mineralleri, kaolen, ve killer plastik şekillenme özelliklerinden dolayı klasik seramiklerin temelini oluşturur. Bir kil ne kadar az su ile şekillendirilir ve su katkı miktarı ile akışma özelliği çabuk değişmez ise, o kil o derece iyi plastik özelliğe sahip kil olarak adlandırılır. Kil mineralleri tabaka yapılı su içerikli alümina silikatlarıdır. Plastik özellikleri tabakalarının plaka şeklinde olması ve bu plâkalarının birbiri boyunca su sayesinde kayma özelliğine dayandırılır.

En basit kil minerali olan kaolinit 2 tabakadan oluşmaktadır.

- Tetraeder tabakası oksijen ile yukarı doğru
- Oktaeder tabakası OH-Grubu ile aşağı doğru

Sınırlıdır.

$Al^{3+}$  ve  $OH^-$  grubundan oluşan Oktaeder,  $SiO_4^-$  Grubundan oluşan Tetraeder ile birbirine bağlanarak tabakalı yapı oluşturmaktadır. Al-iyonları köprü kurucu Oksijenin serbest valanslarına bağlanarak aynı şekilde altı köşeli 3+ yüzey oluşturur. Al ün diğer iki valanslanmn herbiri OH- grupları taşımaktadır.

Tetraeder genel formülü =  $Si_2O_5$

Oktaeder genel formülü =  $Al_2(OH)_4$

Kil taneciklerinin yüzeylerindeki negatif yüklerinin dengelenmesi absorblama ve değişme özelliğine sahip  $Na^+$  gibi katyonlar ile gerçekleşir. Kil-su suspensiyonunda ( - ) yüklü, kil tanelerinin yüzeyinde ( + ) yüklü iyonlar bir tabaka bulunur ve çift tabaka olarak adlandırılır. Kil tane yüzeyindeki zeta potansiyel kil tanelerinin birbirini itme gücünün göstergesidir. Zeta potansiyel ölçümleri ince taneli sistemlerde birçok özelliklerin açıklanması için kullanılmaktadır, tane boyutunu, tane şekline ve bu tanelerin dağıtıldığı ortama bağlıdır.

Montmorillonit mineralinde Ca ve Mg-iyonları aynı şekilde silika tabakalarını su tabakası üzerinden tutarlar. Na-iyonları ise Silika tabakalarını birbirinden uzaklaştırırlar. Örneğin Na-iyonlu 2 gr Montmorillonit suda çökme esnasında 820 ml su alabilir. Bu durum bentonitin şişme özelliği olarak tanımlanır.

Bu çalışmanın amacı döküm çamurunun reolojik özelliklerinin +1 yüklü sodyum iyonları kullanarak incelemektir.

## Malzeme ve Yöntem

### Malzemeler

Deneylerde Fluka marka Kaolinite Purum Naturel 03584 kodlu saf kaolinit kullanılmıştır. Kullanılan saf kaolinitin yapı formülü  $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  şeklindedir. Örneğin kimyasal bileşimi ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### Kimyasal bileşim:

#### Özellikler:

$\text{SiO}_2$	: % 46.6	Yoğunluk	: 2.95 g/cm <sup>3</sup>
$\text{Al}_2\text{O}_3$	: % 39.5	Özgül yüzey	: 3872 cm <sup>2</sup> /g
$\text{H}_2\text{O}$	: % 13.9	Doygunluk	: % 0.18
		Konsantrasyon	: % 0.013
		pH	: 3.9
		Kızdırma kaybı	: % 13.4
		Kuruma küçülmesi	: % 5.7
		Pişme küçülmesi	: % 5.6
		Pişme rengi	: Beyaz

### Karboksimetil Selüloz (CMC)

Sodyum karboksimetil selülozun kimyasal formülü  $[\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4\text{-OCH}_3]^- \text{Na}^+$  şeklindedir. Karboksimetil selülozun yer değiştirme (substitusyon) dereceleri düşük olanlar alkalilerde, orta olanlar suda çözünürler. Eğer substituent daha büyük olacak olursa, suda çözünmesi için alkilde hidrofil grubun bulunması gerekir.

Selülozu çözen çözücüler, selüloz molekülleri arasındaki hidrojen köprü bağlarını açıp kendileri araya girmektedir. Selülozu çözen çözücülerden bazıları, bazı tuzların derişik çözeltileridir ( $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  gibi). Selüloz böyle bir çözücü ile temas ettiği zaman önce selülozda bir şişme görülür sonra kısmen çözeltiye geçer. Selüloz molekülleri, kolloid tanecikleri büyüklüğünde olduklarından daima kolloidal çözelti meydana gelir (Sarkar & Greminger, 1983).

### Yöntem

Endüstride kullanılan kaolinitler saf değildirler ve  $\text{Na}^+$  iyonları bünyelerinde bulundurlar. Bu iyonlar döküm esnasında çeşitli

olumsuzluklar meydana getirirler. Hangi iyonların hangi olumsuzluklara neden olduğu tam olarak saptanamadığı için, bu iyonların döküm çamurunun reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu nedenle saf kaolinit seçimli olarak  $\text{Na}^+$  iyonları ile doyurularak viskozitesi, IR spektroskopisi incelenmiş ve bu iyonların döküme olan etkileri belirlenmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla aynı deneyler saf kaolinit ile de yapılmıştır.

Saf kaoliniti sodyum iyonu ile doyunlaştırmak için şu yol izlenmiştir; Kaolinit 1 Molar  $\text{NaCl}$  çözeltisi ile doyurularak 120 saat bekletilmiş ve  $\text{Na}^+$  iyonları ile doyurulmuştur. Daha sonra çözelti süzölmüş ve klorür iyonları içermeyinceye kadar deiyonize su ile yıkanmıştır.

$\text{Na}^+$ , doyurulmuş kaolinitin değişik konsantrasyonlardaki süspansiyonları hazırlanarak viskozite tayinleri yapılmıştır. Viskozitelerin tayininde reoviskozimetre cihazı kullanılmıştır

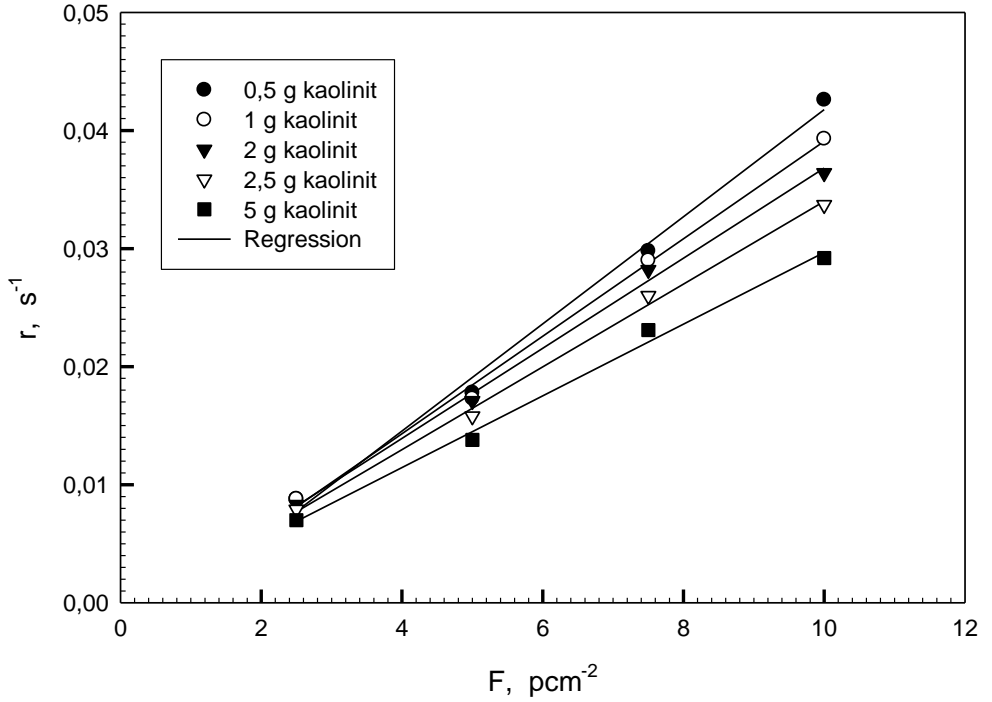
## Bulgular

### Kayma Hızı Tayini

Deneyel çalışmaların ağırlık noktası saf kaolinitin  $\text{Na}^+$  iyonları ile doyurularak kayma hızının, kayma gerilmesinin ve viskozitelerinin hesaplanmasıdır. Ayrıca bu örneklere CMC ilave ederek deneyler yapılmış, hesaplanan değerlerde fark olup olmadığı araştırılmıştır.

### Çizelge 1. Saf kaolinitin kayma hızına bağlı kayma gerilmesi

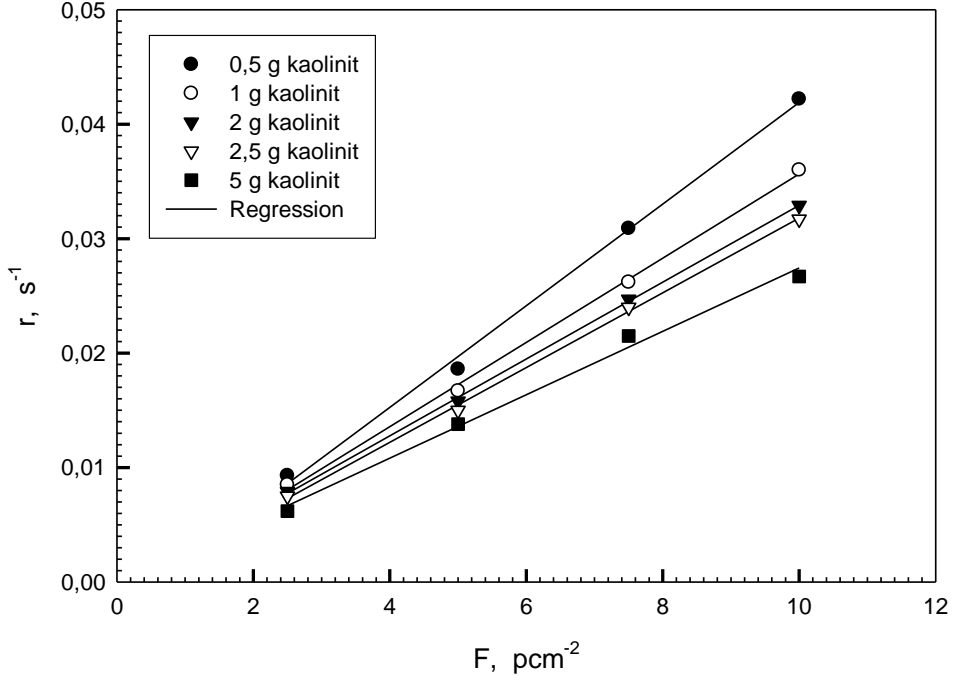
F, ( $\text{pcm}^{-2}$ )	r, ( $\text{s}^{-1}$ )				
	0,5 g	1 g	2 g	2,5 g	5 g
2,5000	0,0088	0,0088	0,0083	0,0079	0,0070
5,0000	0,0178	0,0173	0,0171	0,0158	0,0138
7,5000	0,0298	0,0290	0,0282	0,0260	0,0231
10,0000	0,0426	0,0393	0,0364	0,0337	0,0292
Eğim	0,004536	0,004128	0,003816	0,003504	0,003036
$r^2$ :	0,9940	0,9965	0,9968	0,9970	0,9940



Şekil 1. Saf kaolinitin kayma hızının kayma gerilmesi ile değişimi

Çizelge 1. Na<sup>+1</sup> ile doyurulmuş kaolinitin kayma hızına bağlı kayma gerilmesi

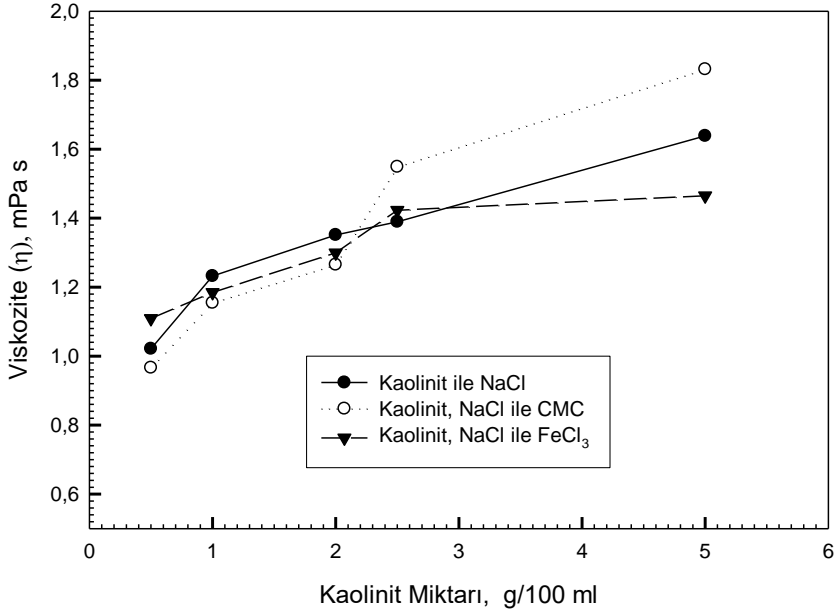
F, (pcm <sup>-2</sup> )	r, (s <sup>-1</sup> )				
	0,5 g	1 g	2 g	2,5 g	5 g
2,50	0,0093	0,0085	0,0079	0,0075	0,0062
5,00	0,0186	0,0167	0,0158	0,0150	0,0138
7,50	0,0309	0,0262	0,0247	0,0240	0,0215
10,00	0,0422	0,0360	0,0329	0,0317	0,0267
<b>Eğim</b>	0,004440	0,003680	0,003356	0,003264	0,002768
<b>r<sup>2</sup></b>	0,9971	0,9984	0,9995	0,9988	0,9926



Şekil 2.  $Na^{+1}$  iyonu ile doyurulmuş kaolinitin kayma hızının kayma gerilmesi ile değişimi

Çizelge 3.  $Na^{+1}$  iyonu ile doyurulmuş saf kaolinitin, CMC ve  $FeCl_3$  ilavesiyle viskozitesinin katı miktarı ile değişimi

Kaolinit Miktarı (g/100 ml)	Viskozite ( $\eta$ ), mPa s		
	$Na^{+1}$ ile doyurulmuş Kaolinit	$Na^{+1}$ ile Doyurulmuş Kaolinite CMC İlavesi	$Na^{+}$ ile Doyurulmuş Kaolinite $FeCl_3$ İlavesi
0,5	1,0214	0,9665	1,1093
1	1,2323	1,1545	1,1847
2	1,3513	1,2653	1,3997
2,5	1,3894	1,5488	1,4230
5	1,6384	1,8316	1,4648



**Şekil 3. Na<sup>+</sup> iyonu ile doyurulmuş saf kaolinitin, CMC ve FeCl<sub>3</sub> ilavesiyle viskozitesinin katı miktarı ile değişimi**

Metil selüloz ve onun türevleri ince döküm topaklanma enjeksiyon kalıp döküm gibi seramik süreçlerinde son derece yararlı sulu bağlayıcılardır. Kilden farklı olarak seramik malzemeler su ile karıştırıldıkları zaman esnekliklerini kaybederler ve herhangi bir bağlayıcı olmaksızın şekillendirmeleri imkânsızdır (Sarkar, 1969).

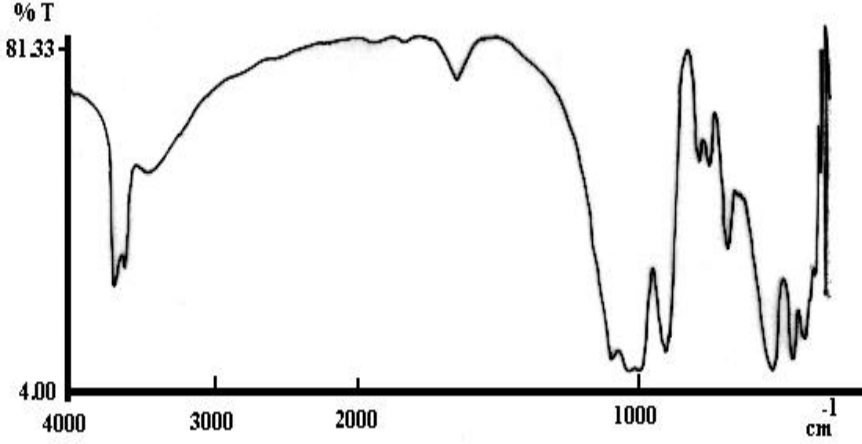
Seramik yapının akışkanlık kontrolü metil selüloz ürünlerin moleküler ağırlık ve moleküler ağırlık dağılımının bilinçli seçimi ile başarılabilir. Bu polimerlerin ısı jelleşmesi seramikçilere yüksek nem direnci ve düşük bağlayıcı kaçıışı imkânları sayesinde karmaşık şekiller üretme imkânı sağlar. Bu polimerler seramik süreçlerde ihtiyaç duyulan kayganlık ve yüzey kayganlığı imkânları da sağlarlar. Oksijenli bir atmosferde bu polimerlerin tamamı etkisiz bir ortamda ise %90' yonar.

### IR Spektroskopi

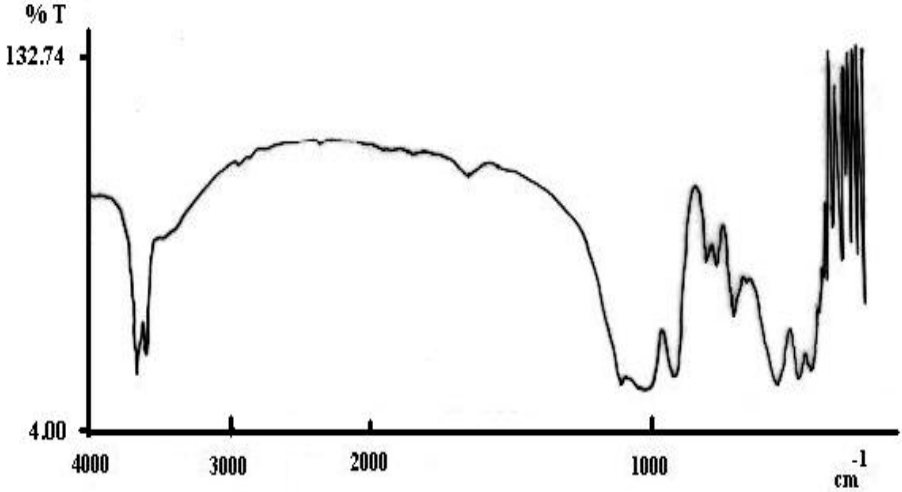
IR Spektroskopi cihaz ile saf kaolinit ve bu saf kaolinit Na<sup>+</sup> iyonları ile doyurulan bu karışımların IR Spektrumları alınmıştır. Alınan örnekler ışınları geçirebilecek saydamlığa getirilmelidir. Bu nedenle amaca yönelik olarak 1/100 oranında örnek KBr karışımı toz edilerek karıştırılır. Vakumda preslenerek saydam bir palet haline getirilir. Bu pelet pencereler yardımıyla ışınların yoluna yerleştirilir ve IR spektrumu alınır. Bu

çalışmada Perkin Elmer 1600 series FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Bu piklerle ilişkin değerlendirmeler yapılmış olup, IR spektroskopi pikleri

Dış ve iç hidroksil gruplarında iyonların kayda değer bir bağlanması görülmemiştir. Yüksek frekanslarda kaolinitin infrared bandlarında bir değişiklik olmaması bu iyonların kaolinite OH<sup>-</sup> grupları üzerinden adsorbe olmadığı şeklinde açıklanabilir. Ancak kenar yüklerine bağlanmış olabileceği 500 cm<sup>-1</sup> deki infrared bandlarının incelenmesiyle anlaşılmıştır.



Şekil. Saf kaolinitin FTIR spektrumu



Şekil Na<sup>+</sup> ile doyurulmuş kaolinitin FTIR spektrumu

## Sonuç ve Öneriler

- $\text{Na}^+$  iyonları ile doyurulmuş kaolinite CMC ilavesi ile düşük kaolinit miktarlarında viskozite çok fazla değişmezken kaolinit miktarı artınca viskozite artmıştır.
- Döküm çamurlarında  $\text{Na}^+$  iyonu katkısıyla kil tanecikleri arasında itici kuvvetler artarak deflokülasyon ve akışkanlık sağlanır.
- Tek değerlikli örneğin  $\text{Na}^+$  iyonlu killerde ise her bir negatif yüzey yüküne karşı bir pozitif  $\text{Na}^+$  iyonu bulunur. Bundan ötürü yüzey iyi perdelenerek tane-tane etkileşim azalır.  $\text{Na}^+$  iyonları toprak alkali iyonlarına karşı su içinde daha çok çözünür. Kil taneciklerinin etrafında difüz bir katyon tabakası oluşturur. Bu yüzden çökmeye karşı kararlı bir yapı yaratır (Deflokülasyon).
- Genelde kaolinit iki tip hidroksil grubu içerir; birincisi dış hidroksil grubu, ikincisi iç hidroksil grubudur. Dış hidroksil grubu oktahedral katmanın eşleşmemiş üst düzleminin dış kısmında bulunurken, iç hidroksil grubu oktahedral katmanın eşleşmiş düzleminin altında yer alır. Kaolinite ait 4 belirgin band vardır. 3696, 3365 ve 3652  $\text{cm}^{-1}$  olan 3 yüksek frekans dış hidroksil grubuna ve yaklaşık 3620  $\text{cm}^{-1}$  civarında olan diğer band ise iç hidroksil grubuna aittir. 1642  $\text{cm}^{-1}$  de, H-O-H bandı kaolinit için karakteristiktir. Bu band iç hidroksil grubundan kaynaklanmaktadır (Francis, 1973). 1111 ve 1006  $\text{cm}^{-1}$  de Si-O frekansları eşit şiddet değerlerdir. 913  $\text{cm}^{-1}$  deki Al-OH deformasyon bandı kaolinit için karakteristiktir ve bu band iç hidroksil grubundan kaynaklanır. 791 ve 756  $\text{cm}^{-1}$  deki frekans O-H titreşim bandları iki zayıf ve yaklaşık eşit şiddetli bandlardır. Elde edilen bu infrared spektrokopisine ait değerler Miyahar vd., (1998) nın bulduğu değerler ile uyum içindedir.  $\text{OH}^-$  gruplarına iyonların bağlanmadığı ancak kenar yüklerine bağlanmış olabileceği ve 500  $\text{cm}^{-1}$  altındaki infrared bandlarının incelenmesi ile anlaşılmaktadır.
- Ayrıca, döküm çamurlarında, 1 değerlikli iyonların 2 ve daha yüksek değerlikli iyonlara göre tercih edilmesi ve kullanma suyunda  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarının bulunmamasına dikkat edilmesi ve viskozite ayarlayıcı olarak suda kolay çözünen Na-CMC türü maddeler kullanılması önerilebilir.



## Kaynaklar

- Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi Z., Can, M.& Orhan, E.C., 2000, Temel Seramik Hammaddelerinin Zenginleştirilmesi Kalemadan, s.8-12. Haziran-Temmuz.
- Bougher, A.K., 1993, Redeveloping a Sanitary Ware Formula for Optimum Performance, Ceram. Eng. Sci. Proc. 15(1) p.69-68.
- Chi, Ma. & Richard, A. E., 1983, Cation Exchange Capacity of Kaolinite. Australian National University, Canberra ACT 0200, Austria.
- Ekmekçi Z., Girgin İ, & Erkal F., 1993, Sırdırgı Alunitli Kaolini Zenginleştirme Çalışmaları, Türkiye XIII Madencilik Kongresi, 549-560.
- Ma, C. & Eggleton, R.A., 1999, "Cation Exchange Capacity of Kaolinite", Clay and Clay Minerals, vol.47, no.2, s.174-180
- Ma, K. & Piere, A.C., 1992, "Effect of Interaction Between Clay Particles and Fe<sup>3+</sup> Ions on Colloidal Properties of Kaolinite Suspensions". Clay and Clay Minerals. Vol.45, No: 5, p.733-744.
- Miyaharo, K., Adachi, Y. & Nakaishi, K., 1998, "The Viscosity of a Dilute Suspension of Sodium Montmorillonite in an Alkaline State", Physico Chemical and Engineering Aspects 131, 69-75.
- Moore, F., 1965, Rheology of Ceramic Systems Sci. 7-21.
- Murray, H.H., 1980, Major Kaolin Processing Developments, Int. J. Mineral, Processing, 7.263.274.
- Polat, M. & Polat, H., 2000, "Su İçinde Dağılmış Taneler Arası Etkileşimlerin Teorisinin İrdelenmesi; Elektrostatik ve Yapısal Etkileşimler ve DLVO Teorisi", Cevher Hazırlama, ISSN:1302.6798, s.21-46.
- Salmang, H. & Scholze, H., 1983, Springer Verlag Keramik Teil 2 Keramische Werkstoff, p.113.
- Sarkar, N. & Greminger, G.K., 1983, "Methylcellulose Polymers as Multifunctional Processing Aids in Ceramics", American Ceramic Society Bulletin. Vol No:128 p.1282-1288.
- Sazcı, H, 2001, Seramikte Kullanılan Killerin Tanımı, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 1, İzmir, Türkiye

# THE SYNTHESIZE OF NEW Mg And Ag DOPED ZnO NANOPARTICLES AND THEIR EFFICIENCY IN THE PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION OF METYLENE BLUE

Mohammad SUTAİF\* & Bircan DİNDAR\*\*

\* Ege University, Solar Energy Institute, 35100, İzmir, TURKEY,  
mmsutaif@yahoo.com

\*\* Ege University, Solar Energy Institute, 35100, İzmir, TURKEY,  
bbdindar@yahoo.com

**Abstract:** Mg-ZnO, Ag-ZnO, Ag-Mg-ZnO and undoped ZnO nanoparticles were prepared by a facile, energy saving, inexpensive and novel mechanochemical method with subsequent calcination at 500°C. To determine the doping effect of different rates of these oxides were synthesized 1-5 wt% Mg-ZnO. The best catalyst was found to be 5%.

There are great similarity between the ionic radii of Mg<sup>+2</sup> and Zn<sup>+2</sup> which are 0.57 and 0.60 Å, respectively. Mg<sup>+2</sup> ion can be considered as an attractive doped element, which did not cause any phase transformation or even lattice distortion, The new 5% Mg-ZnO and 5% Mg-1% Ag-ZnO nano powders have been found to compete for optimal catalytic yields. The structural and morphological evolution of the selected porous zinc oxides were then characterized by X-ray diffractometer (XRD). Their XRD patterns were ascribed to typical wurtzite structure of ZnO. Especially, 5.0%Mg 1%Ag doped ZnO showed the best photocatalytic role. But, because of the difference of the silver and zinc atom radii, silver atoms do not sit completely in the crystal structure of zinc oxide. They are called Ag@ZnO nanocomposites. Photocatalytic activities were performed with the use of 0.1 g of nanopowder catalyst for 100 mL of aqueous dye (methylene blue) solution under simulated solar light irradiation at pH 7. Among the photocatalysts, 5.0%Mg 1.0% Ag- ZnO particles was found to be the most efficient owing to its large surface area, modified porous nanostructure and optical properties.

As a result, original catalysts obtained by using inexpensive, simple methods with optimum efficiencies and working under sunlight will contribute to science and will serve as a model for new areas of application.

**Keywords:** Mg-ZnO, Mg-Ag-ZnO, Photocatalyst, Water treatment, Mechanochemical, Photodegradation.

## Introduction

The rapidly increasing global population and the improvement of living standard continuously drive up the demand. Moreover, global climate change emphasizes the already uneven dispersion of fresh water,

destabilizing the supply. Expanding pressure on water supplies makes using unconventional water sources (e.g., rain water, contaminated fresh water, wastewater, seawater and salty water) a new pattern, especially in historically water-lack regions. Furthermore, current water treatment technologies and infrastructure are reaching their limit for providing sufficient water quality to meet human and environmental needs. Recent advances in nanotechnology offer extraordinary opportunities to develop next-generation water supply systems. Current water treatment, distribution and discharge applications, which heavily rely on transfer and centralized systems, are no longer sustainable.(Zeng *et al.*, 2016) (Qu, Alvarez and Li, 2013a)(Amornpitoksuk *et al.*, 2012)

Solar driven catalysis on semiconductors is a promising clean energy resource and has attracted great attention over the past decades. Photocatalytic detoxification allows the production of hydroxyl radicals when a wide-band gap semiconductor immersed in water under the irradiation of ultraviolet–visible (UV–vis) light from the sun. Absorption of photon of energy greater than the bandgap energy leads to the formation of an electron/hole pair. Valence band holes are powerful oxidants while the conduction bands electrons are good reductants(Khosravi-Gandomani *et al.*, 2014)

Recently, ZnO-based photocatalysts have been successfully used to convert organic pollutants in water into pollutant-free materials through UV light or simulation sunlight(Heiba, Sanad and Mohamed, 2019)

ZnO has high redox potential, large exciton binding energy (~60 meV), superior physical and chemical stability and nontoxicity for which it has a wide acceptance compared to other semiconductor photocatalysts(Yu *et al.*, 2018)

Nanocrystalline ZnO is an attractive and promising material for fundamental research and industrial application. It is a direct band gap semiconductor with a large exciton binding energy (60 meV)(Cherifi *et al.*, 2016)

Hydroxyl radicals ( $\bullet\text{OH}$ ) for the oxidation of organic compounds are primarily responsible and strong oxidant agents. Semiconductor photocatalysts commonly carry out photocatalytic oxidations.

In our work, Mg (1.0-5.0 wt%) and Ag (1.0%) doped ZnO nanoparticles were prepared by the mechanochemical process. For the photodegradation experiments of Methylene blue dye, 1.0%Ag5.0% Mg doped ZnO nanoparticles exhibited higher photocatalytic activity than those of the undoped and 1.0%Ag doped ZnO and 5.0% Mg doped ZnO samples under solar light irradiation in the laboratory. The structural and photocatalytic properties of the synthesized oxides were clarified with the help of

characterization and tests. In this study, the main objective of extending photocatalytic activity was achieved with the produced samples.

## **Experimental**

### **Materials**

MgCO<sub>3</sub>, zinc acetate dihydrate (Zn(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>) and the commercial ZnO as a reference photocatalyst were purchased from Sigma-Aldrich. Methylene blue (C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>ClN<sub>3</sub>S, 319.85 g/mol), Oxalic acid (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) and silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) were obtained from Merck. Pure water was obtained from the Millipore-Q Ultrapure water system.

### **Material Characterization**

The phase identification, the unit cell dimensions and the crystallite size of the undoped and doped ZnO samples were determined using an X-ray diffractometer (XRD, RIGAKU Ultima IV) with Cu-K<sub>α</sub> irradiation ( $\lambda = 0.15406$  nm), by execution sweeps from 20° to 80° of 2 $\theta$  angle. The diffractometer was processed at 40 kV, 100 mA and the step size used was 0.04°. UV–vis absorption spectra were achieved with Perkin Elmer Lambda 1050 spectrometer for the decomposition of methylene blue dye semiconductor photocatalysts. The calcination of catalytic powder samples was accomplished in electrical furnace.

Pyrex cylindrical photoreactor coupled with air circulator and 1000 W xenon lamp as a simulated solar light source were used for the degradation of Methylene blue dye.

### **Preparation of Photocatalysts**

#### **1.0%Ag 5.0% Mg doped ZnO nanoparticles**

The preparation of the undoped and doped ZnO photocatalysts was carried out by applying mechanochemical method, as described elsewhere (Samanta, Goswami and Mahapatra, 2018). At the first stage, 5 g of zinc acetate dehydrate and 4.2 g of oxalic acid were rigorously crushed in mortar, and reacted in solid phase. After 10 min of grinding, silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) as a source of silver, was added in the pot. In order to obtain zinc oxalate- oxalic acid precursor, grinding process was kept continuing for another 10 min. Then, the paste products were calcined at 500 °C. The optimal calcination temperature was observed to be 500 °C based on the degradation efficiency. The same procedure was repeated with MgCO<sub>3</sub>, as a source of Magnesium. To study the effect of Magnesium and silver doping, different molar ratios of doping agent proportional to ZnO at 1.0 % was put into the zinc acetate dehydrate and oxalic acid mixture. For the comparison of photocatalytic activity of the doped ZnO samples, the undoped ZnO was also fabricated by the calcination of zinc acetate dehydrate and oxalic acid mix in the same conditions.

### **1.0% Ag doped ZnO**

ZnO photocatalysts with silver content of 0.1 % was synthesized as above without the use of Magnesium carbonate salt and the most successful catalyst was 1.0% Ag- ZnO in catalytic studies.

### **5.0% Mg doped ZnO**

ZnO photocatalysts with 1.0 to 5.0% Magnesium additive ZnO as above without the use of silver nitrat salt. These catalysts were tested with photodegradation study and the most successful catalyst was found 5.0% Mg- ZnO.

### **Pure ZnO**

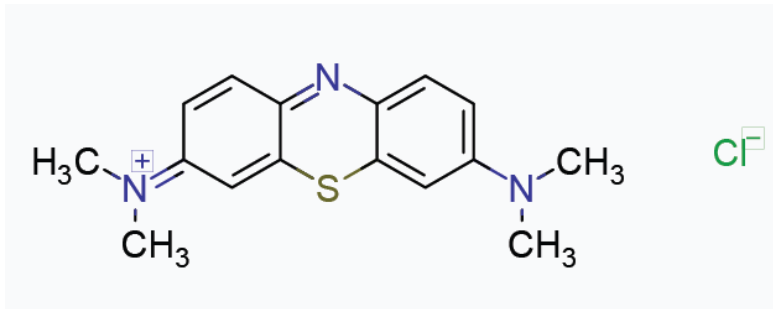
It is synthesized without doping as above in the same conditions.

### **Photocatalytic Activity Test**

The photocatalytic activities of the samples were studied by the degradation of Methylene blue (MB) as a test contaminant under irradiation. 0.1 g of photocatalyst was added into 100 mL of MB aqueous solution with initial concentration of  $10^{-5}$  M and a pH of 7. 1000 W xenon lamp was used as light source. The suspension was vertically irradiated by the lamp. The distance between the irradiation source and the solution was 10 cm at every turn. Before irradiation, the photoreactor was kept in darkness and stirred with air pump for 30 min in order to form the adsorption–desorption equilibrium of the dye on catalyst. The degradation of MB was analysed by withdrawing 5 mL of specimen at regular time intervals. The degradation efficiency of Methylene blue was confirmed in terms of the changes of UV-vis absorbance of the contaminant material. The maximum absorption wavelength of MB solution was observed at 660 nm by an UV–vis spectrophotometer. The photocatalytic efficiency,  $\eta$ , can be calculated by the subsequent correlation;

$$\text{Degradation rate } \eta(\%): \frac{C_0 - C}{C_0} \times \%100 = \frac{A_0 - A}{A_0} \times \%100 \quad (1)$$

where  $C_0$  is the initial concentration of methylene blue solution,  $C$  is the last concentration,  $A_0$  is the initial absorbance of methylene blue solution and  $A$  is the final absorbance.



**Fig. 1** Chemical formula of Methylene blue

## Results and discussions

The undoped ZnO and metal doped ZnO nanopowder samples were prepared by the mechanochemical process. Their X-ray diffraction (XRD) patterns are displayed in Fig. 2. For the comparison, the commercial ZnO was also analyzed. The peak positions of all Mg doped catalysts were matched with undoped ZnO. The XRD analysis suggests that all the samples have a single phase hexagonal wurtzite structure, corresponding to (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004) and (202) lattice planes. calcined product of Sample C. It seems that the entire peak sets match well the phase of hexagonal wurtzite ZnO (JCPDS36-1451) with nearly no magnesium compounds (MgO) detected. The sharp diffraction simply that the products are exceedingly crystalline. The absence of the Mg compounds should be mainly attribute to the fact that just a little Mg has been introduced, which would be incorporated into the crystal lattices of the ZnO matrix. (Heiba and Mohamed, 2019)

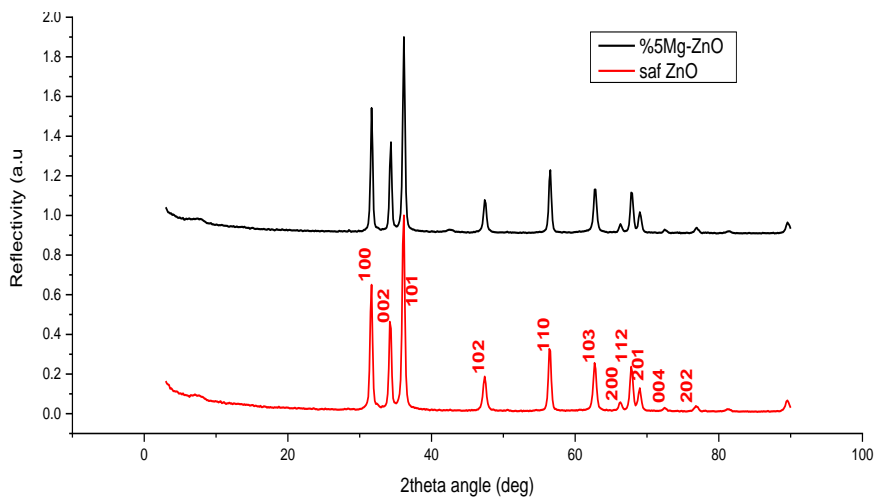


Fig. 2 XRD pattern and Comparison of calcined product of Mg-ZnO with pure zinc oxide that we synthesize in laboratory

The three possible modes of incorporation of an impurity atom into ZnO lattice include substituting with oxygen or zinc atoms (substitutional impurity) and occupation of interstitial site (interstitial impurity). (Liu *et al.*, 2015)

Due to similarity between the ionic radii of  $Mg^{+2}$  and  $Zn^{+2}$ , which are 0.57 Å and 0.60 Å, respectively.  $Mg^{+2}$  ion can be considered as an attractive doped element, which did not cause any phase transformation or even lattice distortion. (GÜLER A. C, 2017)

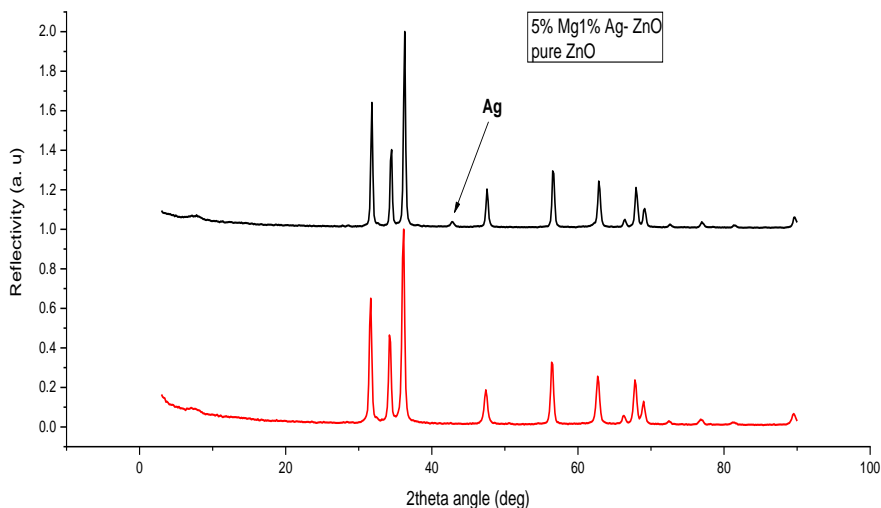
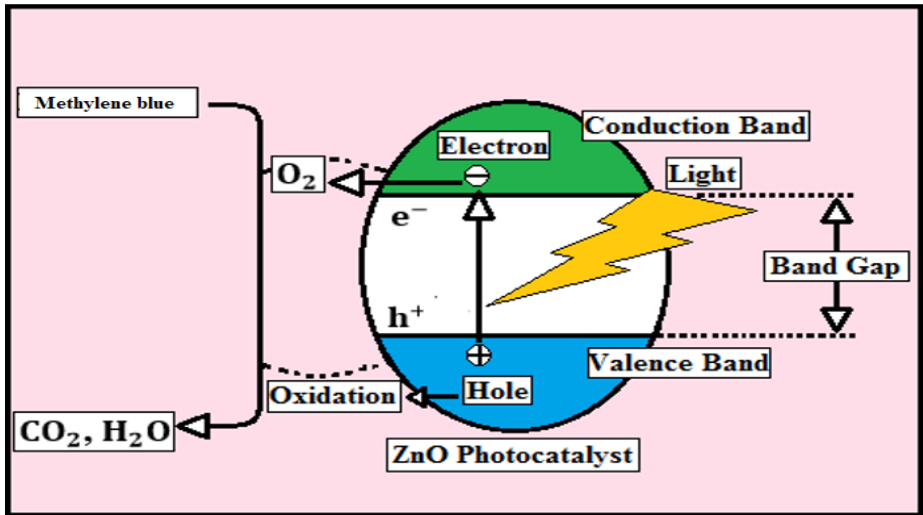


Fig. 3 XRD pattern and comparison of calcined product of 5%Mg 1%Ag-ZnO with pure zinc oxide that we synthesized in our laboratory.

Due to the large difference between the ionic radii of  $\text{Ag}^{+1}$  and  $\text{Zn}^{+2}$ , which are 1.22 Å and 0.72 Å, respectively, the Silver atoms remain outside and do not embed completely in the crystal structure of zinc oxide. They are called **Ag@ZnO** (Amornpitoksuk *et al.*, 2012)

The photocatalytic activities of the samples were evaluated through measuring the degradation of methylene blue aqueous solution under xenon lamp irradiation. The effect of the pH parameter on the photocatalytic degradation of MB was also investigated at the neutral conditions (pH values of 7). Apart from the need to eliminate harmful effects of MB to the environment, another reason that MB was picked as a test contaminant is its absorption peak in the visible region (660 nm), thus the decomposition of MB could easily be monitored by UV-vis spectrometer. The chemical structure of MB is shown in Sch. 1. As it can be seen from the molecular structure, methylene blue is a cationic dye, and tends to grab an electron from other structures. (Qu, Alvarez and Li, 2013)





**Sch. 1.** The mechanism for the degradation of methylene blue by ZnO photocatalyst.

Sch. 1 is the mechanism of photodegradation of Methylene blue by ZnO photocatalyst. Here, semiconductor ZnO absorbs photons with sufficient energy to be equal to or greater than its band gap. This excess energy amplifies the excited electron from the valence band to conduction band of ZnO, resulting in the generation of the electron-hole pairs. The next steps are the separation and migration of charge carriers to the ZnO surface. The excited electron is then affiliated with the water molecule to form hydroxyl radicals ( $\bullet\text{OH}$ ), while the electron hole at valence band reacts with oxygen molecule to form superoxide anion radicals ( $\text{O}_2\bullet^-$ ). This event continues as long as light is available over the catalyst and leads to the decomposition of methylene blue contaminant. (GÜLER A. C, 2017)

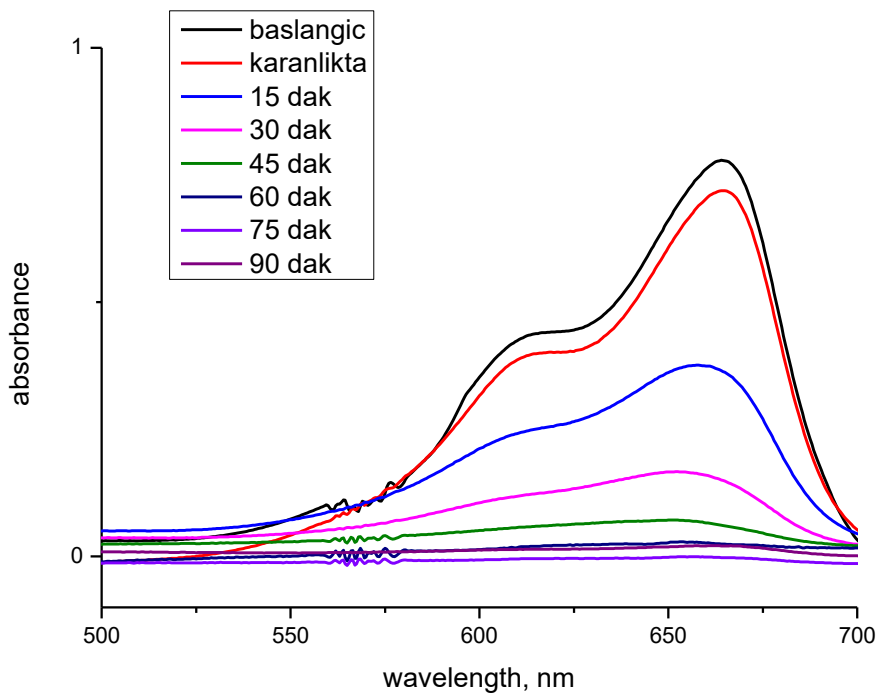
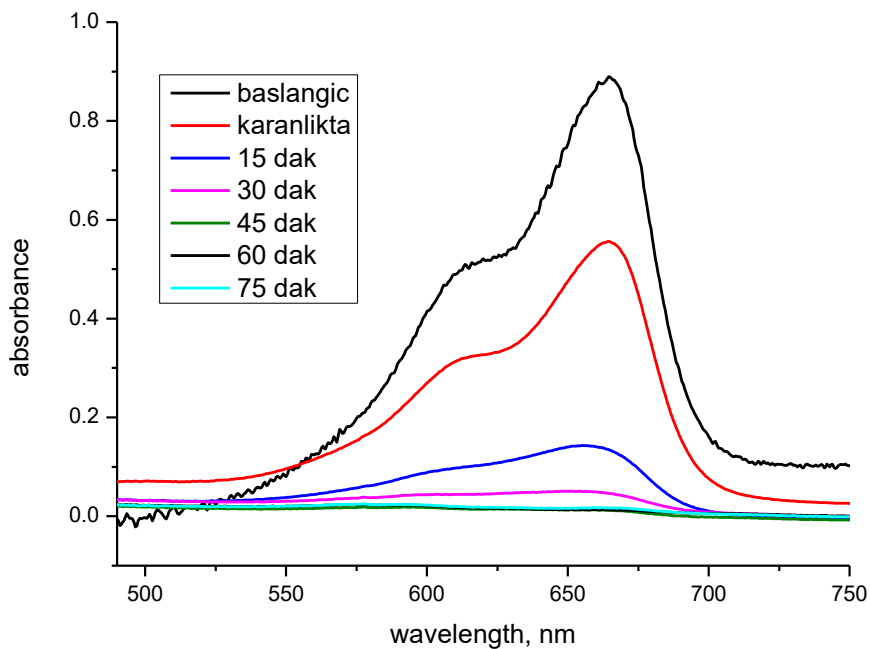
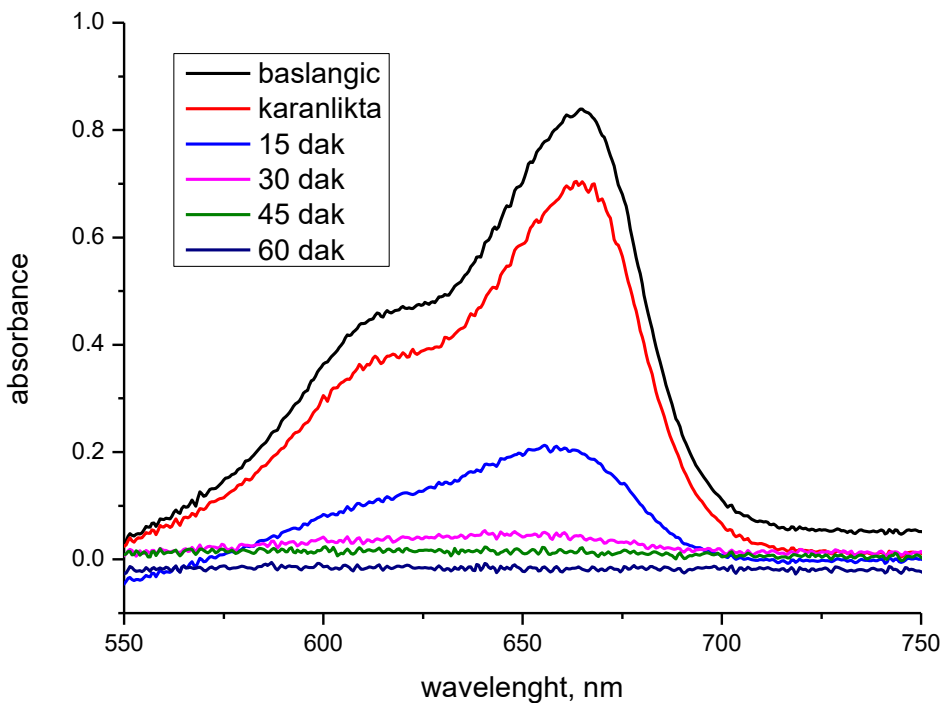


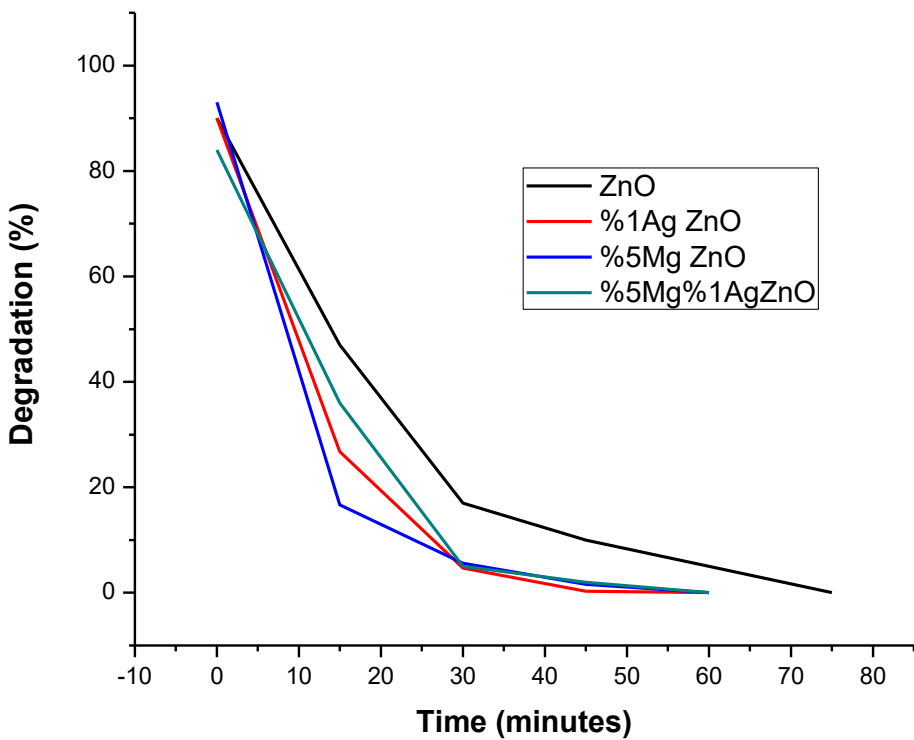
Fig. 4 Degradation of methylene blue solution (which its consantration is  $10^{-5}$  M) under uv-visible light by using 1% Ag-ZnO photocatalyst(100 % Disintegration occurred after 60 minutes



**Fig. 5** Degradation of methylene blue solution (which its concentration is  $10^{-5}$  M) under uv-visible light by using 5% Mg (  $MgCO_3$  ) -ZnO photocatalyst(100 % Disintegration occurred after 45 minutes)



**Fig. 6** Degradation of methylene blue solution (which its concentration is  $10^{-5}$  M) under uv-visible light by using 5% Mg ( $\text{MgCO}_3$ ) % 1 Ag -ZnO photocatalyst (100% Disintegration occurred after 45 minutes)



**Fig7** Percent degradation of the methylene blue aqueous solution in the presence of pure ZnO ,1% Ag-ZnO , 5% Mg-ZnO and 5% Mg 1% Ag-ZnO

For the maximum degradation efficiency of MB, the optimal Ag and Mg doping rate was determined to be 5 % wt Mg-ZnO. The time for degradation of MM with the Ag<sub>1</sub>-ZnO and Mg<sub>5</sub>-ZnO and Ag<sub>1</sub>Mg<sub>5</sub>-ZnO is 60 min , 45, and 60 , respectively. It was observed that the Mg<sub>5</sub>-ZnO decolorized MB faster than the other doped ZnO samples.

Among the all photocatalysts, Mg<sub>5</sub>-ZnO showed the most efficient photocatalytic activity on the degradation of MB, thus decomposed the entire of the MM dye after 45 min of irradiation time. This complete degradation of MB is attributed to both the lower recombination rate of electron-hole pairs and the existence of the shallow states, which are able absorb light with longer wavelengths. As a result, these observations clearly indicate that Mg<sub>5</sub> doped ZnO samples prepared by the mechanochemical method can be used as a potential photocatalyst on the decomposition of various organic contaminants containing Methylene blue.

## Conclusion

To summarize, the undoped and doped ZnO samples have been synthesized by facile and highly productive mechanochemical technique. The calcination temperature and time were optimized to be 500 °C and 3h. The produced photocatalysts were applied for the degradation of Methylene blue contaminant. The investigation of photocatalytic degradation of Methylene blue reveal that the photoreaction is influenced by a variety of operational parameters such doping concentration and the pH value of the solution. the most effective Mg doping rate were 5%. Methylene blue dye was completely degraded using Mg<sub>5</sub>-ZnO after 45 min of irradiation time. In conclusion, the Mg<sub>5</sub> doped ZnO catalysts, which were economically fabricated by this method, have a potential to be promising material for environmental protection.

## Acknowledgement

This project was supported by Ege University Research Projects Branch Directorate (Project number: 16 GEE 010).

## References

- Amornpitoksuk, P. *et al.* (2012) ‘Synthesis, characterization, photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped ZnO powders modified with a diblock copolymer’, *Powder Technology*. Elsevier B.V., 219, pp. 158–164. doi: 10.1016/j.powtec.2011.12.032.
- Cherifi, Y. *et al.* (2016) ‘Electrical, dielectric and photocatalytic properties of Fe-doped ZnO nanomaterials synthesized by sol gel method’, *Processing and Application of Ceramics*, 10(3), pp. 125–135. doi: 10.2298/PAC1603125C.
- GÜLER A. C (2017) *DOPLU ÇİNKO OKSİT NANOPARÇACIKLARIN ELEKTROKİMYASAL, OPTİK VE FOTOKATALİTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*. EGE University.
- Heiba, Z. K. and Mohamed, M. B. (2019) ‘Effect of annealed and Mg-doped nano ZnO on physical properties of PVA’, *Journal of Molecular Structure*. Elsevier B.V, 1181, pp. 507–517. doi: 10.1016/j.molstruc.2019.01.008.
- Heiba, Z. K., Sanad, M. M. S. and Mohamed, M. B. (2019) ‘Influence of Mg-deficiency on the functional properties of magnesium ferrite anode material’, *Solid State Ionics*, 341(July), p. 115042. doi: 10.1016/j.ssi.2019.115042.

- Khosravi-Gandomani, S. *et al.* (2014) 'Optical and electrical properties of p-type Ag-doped ZnO nanostructures', *Ceramics International*, 40(6), pp. 7957–7963. doi: 10.1016/j.ceramint.2013.12.145.
- Liu, X. *et al.* (2015) 'Ag-ZnO heterostructure nanoparticles with plasmon-enhanced catalytic degradation for Congo red under visible light', *RSC Advances*. Royal Society of Chemistry, 5(43), pp. 34456–34465. doi: 10.1039/c5ra03143e.
- Qu, X., Alvarez, P. J. J. and Li, Q. (2013a) 'Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment', *Water Research*. Elsevier Ltd, 47(12), pp. 3931–3946. doi: 10.1016/j.watres.2012.09.058.
- Qu, X., Alvarez, P. J. J. and Li, Q. (2013b) 'Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment', *Water Research*. Elsevier Ltd, 47(12), pp. 3931–3946. doi: 10.1016/j.watres.2012.09.058.
- Samanta, A., Goswami, M. N. and Mahapatra, P. K. (2018) 'Optical properties and enhanced photocatalytic activity of Mg-doped ZnO nanoparticles', *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*. Elsevier B.V., 104(May), pp. 254–260. doi: 10.1016/j.physe.2018.07.042.
- Yu, X. X. *et al.* (2018) 'Enhanced solar light photocatalytic properties of ZnO nanocrystals by Mg-doping via polyacrylamide polymer method', *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 356, pp. 681–688. doi: 10.1016/j.jphotochem.2016.05.006.
- Zeng, W. *et al.* (2016) 'Fabrication of Mg-doped ZnO nanofibers with high purities and tailored band gaps', *Ceramics International*. Elsevier, 42(8), pp. 10021–10029. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.03.105.

# STRUCTURAL AND ELECTROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF HAP COATINGS ELECTROPHORETICALLY DEPOSITED ON Ti6Al4V ALLOY SUBSTRATES

Utku TIRIC\* & Isil BIRLIK\*\* & Tulay KOC DELICE\*  
Funda AK AZEM\*\*

\*Dokuz Eylul University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences,  
utkutiric@gmail.com, tulaykocdelice@gmail.com

\*\*Dokuz Eylul University, Department of Metallurgical and Materials  
Engineering, isil.kayatekin@deu.edu.tr, funda.ak@deu.edu.tr

**Abstract:** Titanium and its alloys are widely utilized as biomaterials due to their outstanding mechanical properties and chemical stability in the physiological environment. However, its bonding to living tissue can cause complications. Various forms of calcium phosphates formation on titanium biomaterials has been investigated to provide an effective link between biomaterials and host bone. Hydroxyapatite (HAP) is a calcium phosphate similar to the human hard tissues in morphology and composition. In order to improve the biocompatibility of titanium biomaterials, hydroxyapatite ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) coatings were deposited on metal implants. The aim of this study is to investigate the effect of the dispersant and different deposition voltage values on the structural, morphological and corrosion properties of the produced coatings by using X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM), respectively. The corrosion behavior of produced coatings was evaluated by means of electrochemical characterization techniques.

**Keywords:** Hydroxyapatite, electrophoretic deposition, dispersant, diethanolamine, Ti6Al4V alloy

## Introduction

The biomaterial is used to change or repair the function of the tissue. The utilize of metals to fix the body has been reported for centuries (Agrawal, 1998). Generally, these biomaterials can be separated into the categories: metals, polymers, ceramics, and composites (Davis, 2003). Titanium and its alloys are broadly utilized as biomaterials because of their attractive mechanical features and chemical stability in the physiological environment (Huang et al., 2008).

The formation of calcium phosphate on titanium biomaterials has been researched for decades. Scientists have proved that thin calcium phosphate



films can efficiently create a connection between the biomaterials and host bone (Cheng et al., 2013). Titanium biomaterials are frequently deposited with hydroxyapatite ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), a bioceramic which resembles the mineral constituents of bones (Kwok, Wong, Cheng, & Man, 2009). Yet the mechanical resistance of hydroxyapatite (HAP) is too low to be chosen load-bearing applications. Accordingly, HAP coatings were deposited on metallic implants to increase the biocompatibility feature (Bir et al., 2012).

There are various methods which has been used to achieve hydroxyapatite formations on metallic biomaterials such as sol-gel processing (Azem, Eroglu, & Cakir, 2011), plasma spray (Yang & Yang, 2013), electrophoretic deposition (EPD) (Mondragon-Cortez & Vargas-Gutierrez, 2004), pulsed laser deposition (PLD) (Zeng & Lacefield, 2000), biomimetic coating (Habibovic, Barrere, Van Blitterswijk, de Groot, & Layrolle, 2002), and magnetron sputtering (Long et al., 2002). EPD method is chosen because of its simplicity and low cost. (Wei, Ruys, Milthorpe, & Sorrell, 2005). The electrophoretic deposition of the particles depends on the suspension related parameters such as types of liquid mediums (solvent), particle size, concentration and dispersant (Besra & Liu, 2007). At the same time many important process parameters also affect EPD, these are applied voltage, time, the conductivity of the substrate and deposition time (Wang, Leu, & Hon, 2004).

The fundamental purpose of this study is to research the effect of dispersant and different deposition voltage values on the structural, morphological and corrosion properties of the produced coatings.

## **Experimental**

Suspensions of the electrophoretic deposition process were prepared by adding commercial HAP powder (Sigma-Aldrich) to n-butanol (Merck) with different amounts of diethanolamine (DEA) (Sigma-Aldrich). Suspensions were dispersed for 30 min with a magnetic stirrer and 30 min with ultrasonically bath before the deposition process.

The electric conductivity and pH measurements of the suspension was determined by a Mettler Toledo S47-K Seven Multi dual meter pH/conductivity meter. Zetasizer Nano-ZS Malvern was used to measure zeta potential of prepared suspensions.

Ti6Al4V alloy with the dimensions of 100 mm x 25 mm x 1.5 mm were used as the substrate. The plates of Ti6Al4V alloy were abraded with silicon carbide paper. After abrading, substrates were etched with a solution containing 15% nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) and 5% hydrofluoric acid (HF). All substrates were washed distilled water and dried at room temperature.

The deposition of coatings on prepared substrates was performed with an electrophoretic cell using Ti6Al4V alloy plates as the cathode and 316L plate as the anode. The distance between cathode and anode was 3 cm. The deposition process was conducted at three different voltage values of 40 V, 50 V and 60 V for 45 min at room temperature. Abbreviations of the deposited coatings were shown in Table 1. After EPD process, coatings were dried at room temperature and then sintered in a furnace at 800 °C for 2 h with argon gas with a heating rate of 1 °C/min until 200 °C and 5 °C/min from 200 °C to 800 °C.

Table 1 Abbreviation of the produced coatings

Abbreviation	Substrate Properties (Ti6Al4V)	Coating Time (min)	Dispersant (g/L)	HAP (g/L)	Alcohol (ml)	Voltage (V)	Sintering (°C)
E60-D0	Etched	45	0	40	500	60	800
E60-D2	Etched	45	2	40	500	60	800
E60-D6	Etched	45	6	40	500	60	800
E60-D10	Etched	45	10	40	500	60	800
E50-D0	Etched	45	0	40	500	50	800
E50-D2	Etched	45	2	40	500	50	800
E50-D6	Etched	45	6	40	500	50	800
E50-D10	Etched	45	10	40	500	50	800
E40-D0	Etched	45	0	40	500	40	800
E40-D2	Etched	45	2	40	500	40	800
E40-D6	Etched	45	6	40	500	40	800
E40-D10	Etched	45	10	40	500	40	800

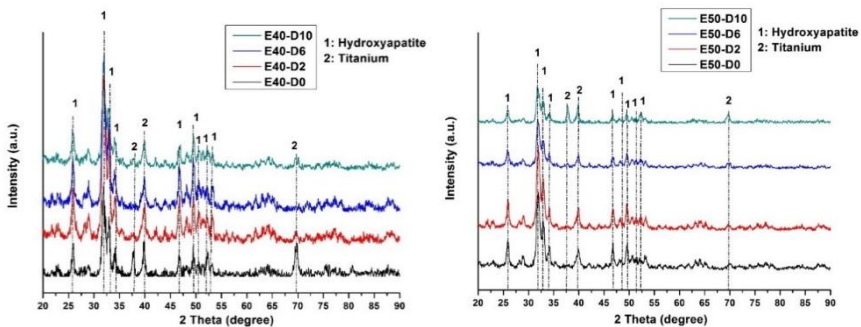
## RESULTS AND DISCUSSION

The measurement results of electrical conductivities, pH values, zeta potentials and the average size of the suspensions are listed in Table 2. Results show that the addition of dispersant results increment of zeta potential, conductivity and pH.

Table 2 pH, conductivity values, zeta potential of suspensions

Suspension		pH	Conductivity Value ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Zeta Potential (mV)
HAP (g/l)	DEA (g/l)			
40	0	6.95	0.07	4.73
40	2	9.11	0.19	5.91
40	6	10.72	0.31	6.23
40	10	10.89	0.39	6.59

DEA is generally used as the dispersant to improve the zeta potential value and colloidal steady of powders in butanol. Shahrabi et al. found similar zeta potential results in their research with isopropanol (Farrokhi-Rad & Shahrabi, 2013). The XRD patterns of deposited Ti6Al4V alloy substrates after the heat treatment process are shown in Figure 1. All coatings are composed of the HAP phase according to JCPDS 09-0432. Besides, diffraction peaks of Ti (JCPDS 044-1294) arise from the substrate. The XRD patterns of the coatings at 40 V, 50 V, and 60 V applied voltage values are shown in Figure 1(a) with the increasing amount of DEA dispersant. Results of coatings deposited without DEA are also given for comparison. It is observed that there was not any significant difference in coatings phase structure with different amounts of dispersant. The XRD patterns of the coatings at 40 V, 50 V, and 60 V applied voltages by using a suspension with 10 g/l DEA are shown in Figure 1(b) in order to investigate the effect of applied voltage for coating with the constant amount of DEA. It was observed that there was not any significant change in the coating phase structure with varying voltage with 10 g/l DEA.



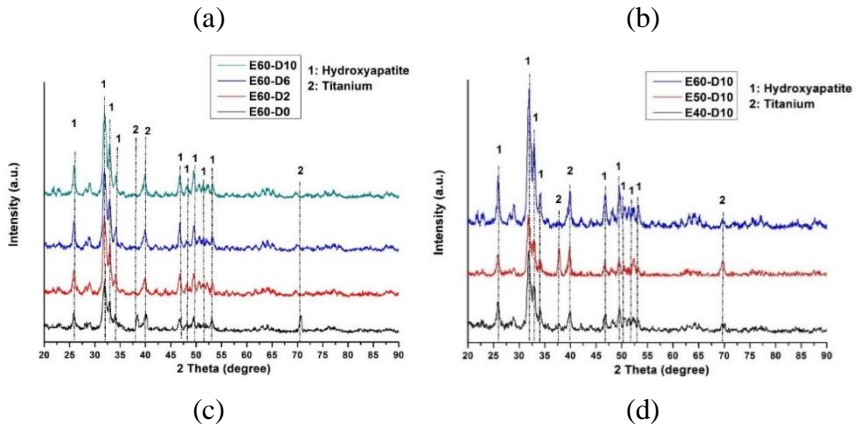


Figure 1 XRD patterns of coatings deposited at (a) 40V, (b) 50V and (c) 60 V applied voltage with varying (2, 6, 10 g/l) and (d) constant (10 g/l) DEA amount.

The FTIR spectra patterns of samples are shown in Figure 2. According to the FTIR spectra, all bands between  $960$  and  $1100\text{ cm}^{-1}$  ( $1100\text{ cm}^{-1}$ ,  $1030\text{ cm}^{-1}$ , and  $960\text{ cm}^{-1}$ ) are attributed to characteristic peaks due to the  $\text{PO}_4^{3-}$  in HAP (Park & Lakes, 2007). The band at  $3400\text{ cm}^{-1}$  is assigned to OH stretching of  $\text{H}_2\text{O}$  (Barrere, van Blitterswijk, De Groot, & Layrolle, 2002). The FTIR spectra of the coatings deposited at 40 V, 50 V, and 60 V applied voltage values are shown in Figure 2 (a), (b) and (c) with the increasing amount of DEA dispersant. Results of coatings deposited without DEA are also given for comparison. It is observed that there was not any significant difference in coating spectra structure with different amounts of dispersant. The FTIR spectra of the coatings at 40 V, 50 V, and 60 V applied voltages by using a suspension including 10g/l DEA are shown in Figure 2 (d) in order to investigate the effect of applied voltage for deposition with the constant amount of DEA. It was observed that there was not any significant change in the spectra with varying voltage with 10g/l DEA. Characteristics peaks of DEA at  $2875$  and  $2945\text{ cm}^{-1}$  (Farrokhi-Rad & Shahrabi, 2013) are not distinguishable in the FTIR spectrum because of organic compound DEA removal after heat treatment.

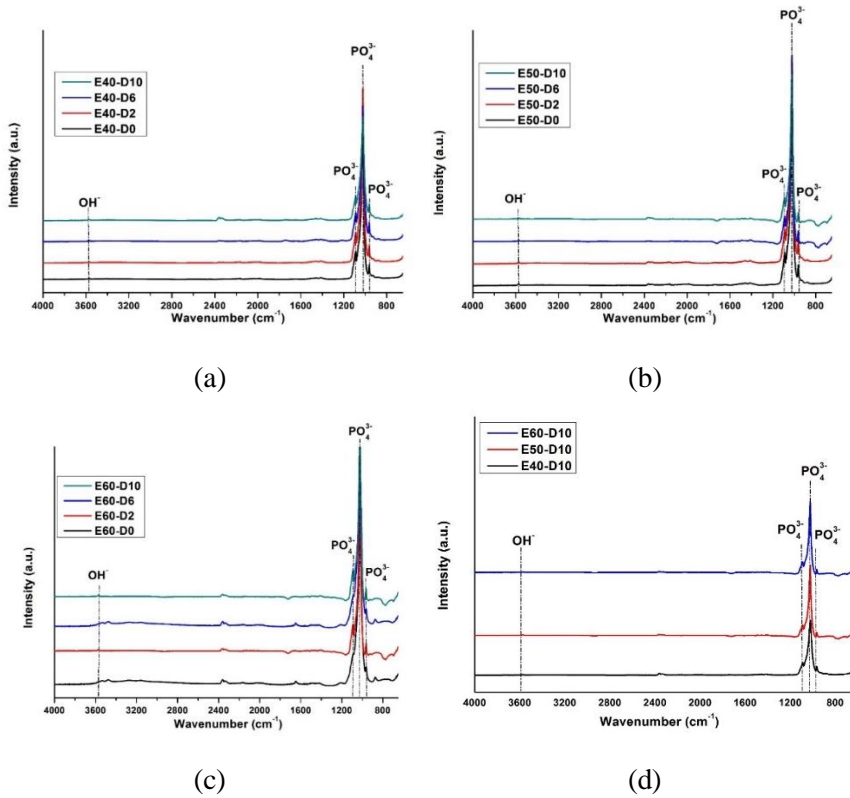


Figure 2. FTIR spectra of coatings deposited at (a) 40 V, (b) 50 V, (c) 60 V applied voltage with 2, 6 and 10 g/l and without DEA and (d) 10 g/l DEA with 40, 50 and 60 V applied voltage.

The surface morphologies of coatings on Ti6Al4V alloys substrates after the heat treatment process are shown in Figure 3. The surface morphologies of the coatings deposited at 40 V, 50 V and 60 V applied voltages with 2, 6, 10 g/l and without DEA are shown in Figure 3. It was observed that crack formation decreases with the increasing amount of the DEA. The coating deposited with suspension including 10 g/l DEA has smaller cracks. Cracks in EPD coatings form due to the stresses caused by drying shrinkages (Besra & Liu, 2007; Farrokhi-Rad & Shahrabi, 2013).

It was observed that the formation of cracks decreases as increasing the applied voltage for all coatings. It is observed in Figure 3 that coatings deposited at 60 V applied voltage with suspension including 10 g/l DEA does not have any obvious crack structure.

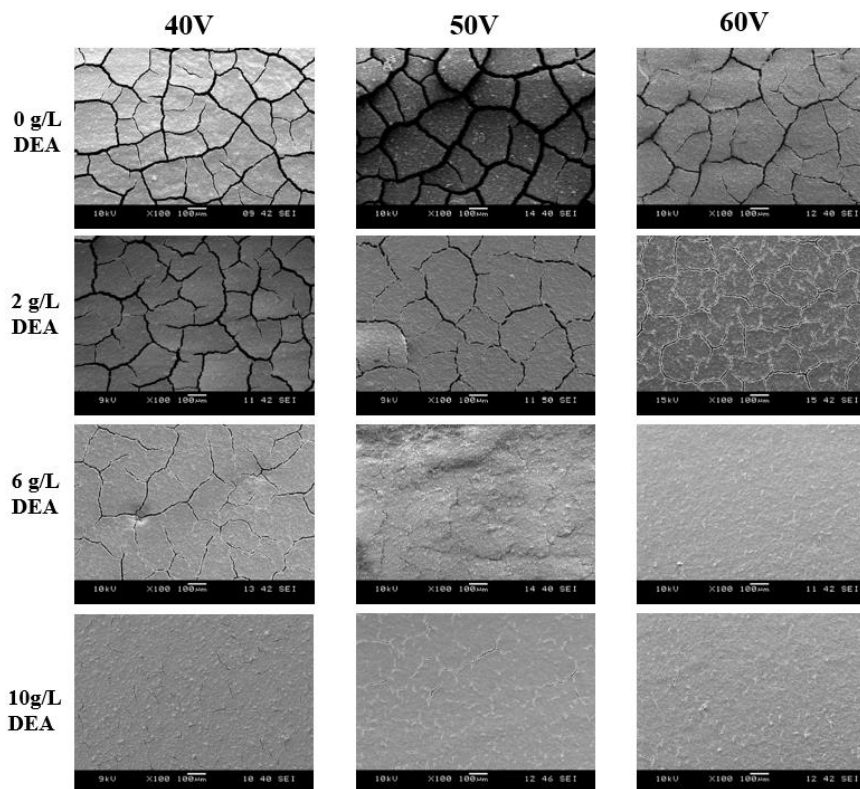


Figure 3. SEM images of the coatings deposited at 40, 50 and 60V applied voltage using electrolytes with 2, 6, 10 g/l and without DEA at 100x magnification

Figure 4 depicts the surface morphologies of coatings deposited at 60 V applied voltage by using electrolytes with (2, 6 and 10 g/l) and without DEA. Electrolytes including 2, 6 and 10 g/l DEA at higher magnification (X5000). DEA addition has a microstructure with fine particles and a small number of agglomerates. However, the coatings especially produced without the use of dispersant have rough microstructure with coarse agglomerated particles. As can be seen among the coatings, the one coated from the solution with 10 g/l DEA has the microstructure with fine particles and the small number of fine agglomerates. However other coatings, specially coated from the suspension with 2 g/l DEA and without DEA, have unstable microstructures with coarse agglomerates. The zeta potential of suspension has the maximum value at with the amount of 10g/l DEA; thus the agglomeration of the particles is small in it due to large repulsion electrostatic force between them. Observed microstructures of coatings are

similar to that reported by Shahrabi et. al. (Besra & Liu, 2007; Farrokhi-Rad & Shahrabi, 2013).

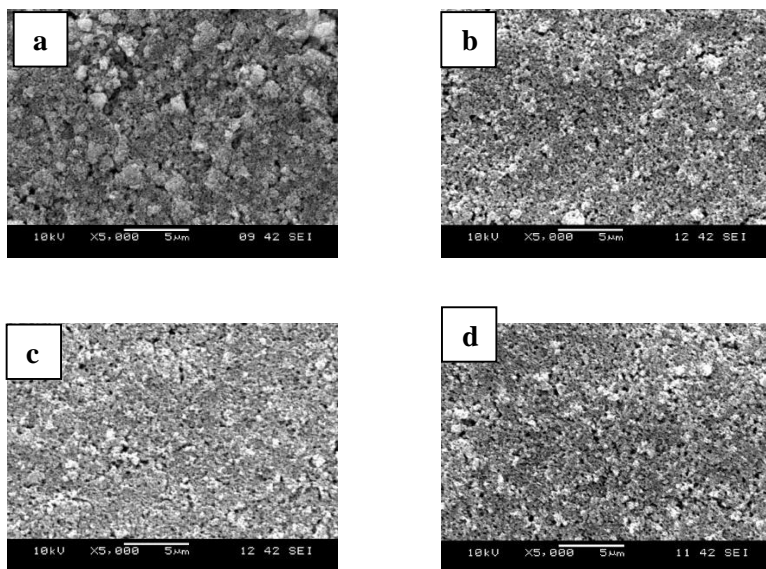
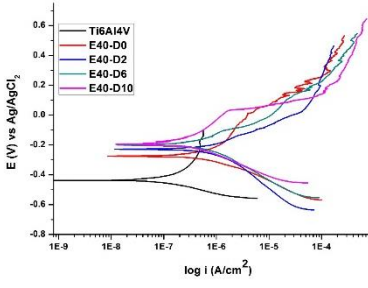


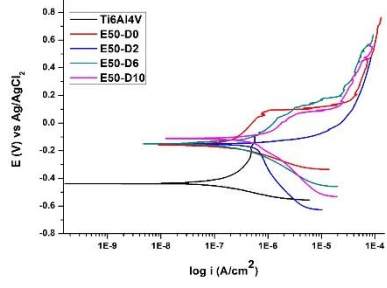
Figure 4. SEM images of the coatings deposited at 60 V applied voltage with 2, 6 and 10 g/l and without DEA (a) E60-D0, (b) E60-D2, (c) E60-D6, (d) E60-D10

Figure 5 shows potentiodynamic polarization results of coatings deposited by using electrolyte with and without DEA. Electrochemical specifications of the corrosion potential ( $E_{cor}$ ) and corrosion current density ( $I_{cor}$ ) values obtained from coatings are shown in Table 3. Results show that the corrosion resistance of coating deposited from 10g/l DEA containing suspension has significantly improved compared to a coating deposited with suspension without DEA. Increasing DEA concentration in deposition electrolyte results in a decrease at  $I_{cor}$  values.

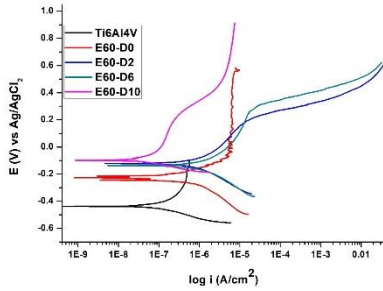
Additionally, results show that the corrosion properties of coating deposited from an electrolyte with 10 g/l DEA at 60 V applied voltage has significantly improved compared to coatings deposited at lower applied voltage values.



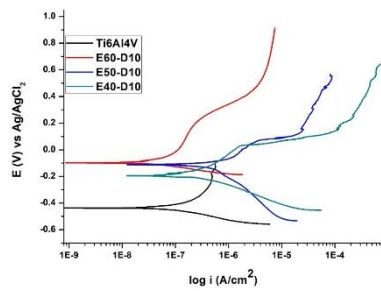
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5. Potentiodynamic polarization results of coatings deposited at (a) 40 V, (b) 50 V, (c) 60 V applied voltages by using electrolyte with (2, 6 and 10 g/l) and without DEA.



Table 3. Electrochemical results of the Ti6Al4V substrate and coatings

	<b>Corrosion potential (V)</b>	<b>Corrosion current density (nA/cm<sup>2</sup>)</b>
Ti6Al4V	-0,434	314.63
E40-D0	-0.274	201.62
E40-D2	-0.227	173.21
E40-D6	-0.200	151.13
E40-D10	-0.194	141
E50-D0	-0.159	119.91
E50-D2	-0.152	116.31
E50-D6	-0.150	111.63
E50-D10	-0.111	80.16
E60-D0	-0.248	179.51
E60-D2	-0.113	94.29
E60-D6	-0.129	113.05
E60-D10	-0.097	69.17

### **Conclusion**

CaP coatings were successfully deposited on Ti6Al4V substrates by the electrophoretic deposition technique. The effect of DEA dispersant and applied voltage during the deposition process on structural and corrosion properties of coatings were investigated. The properties of suspensions were analyzed by pH, conductivity and zeta potential measurements. Structural and morphological properties of coatings were characterized by using XRD, FTIR and SEM, respectively. The corrosion resistance of the coatings was investigated electrochemically by the potentiodynamic polarization technique.

XRD results show that all coatings are composed of HAP structure. According to SEM images, the morphology of coatings produced by using HAP suspension with DEA addition is crack-free and more homogenous in comparison to coatings produced by using HAP suspension without DEA addition. DEA dispersant has made a distinct change at the surface morphology of the coatings due to the pH, zeta potential and conductivity increment of the suspension. Also, it was found that the coating deposited

by using 10 g/lit DEA containing suspension at 60 V applied voltage has better corrosion resistance because of its fine, homogenous and crack-free surface structure.

## References

- Agrawal, C. M. (1998). Reconstructing the human body using biomaterials. *Jom*, 50(1), 31-35.
- Azem, F. A., Eroglu, E., & Cakir, A. (2011). Synthesis and structural properties of sol-gel derived Si-substituted hydroxyapatite coatings. *Journal of Biomechanics*, 44(1), 13.
- Besra, L., & Liu, M. (2007). A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). *Progress in materials science*, 52(1), 1-61.
- Bir, F., Khireddine, H., Touati, A., Sidane, D., Yala, S., & Oudadesse, H. (2012). Electrochemical depositions of fluorohydroxyapatite doped by  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$  on stainless steel substrates. *Applied Surface Science*, 258(18), 7021-7030.
- Cheng, K., Wang, T., Weng, W., Yu, M., Lin, J., Wang, H., . . . Han, G. (2013). Two step synthesis of CaP/TiO<sub>2</sub> nanorod composite coatings with improved protein adsorption. *Thin Solid Films*, 544, 206-211.
- Davis, J. (2003). Overview of biomaterials and their use in medical devices. *Handbook of materials for medical devices*, 1-11.
- Farrokhi-Rad, M., & Shahrabi, T. (2013). Effect of triethanolamine on the electrophoretic deposition of hydroxyapatite nanoparticles in isopropanol. *Ceramics International*, 39(6), 7007-7013.
- Habibovic, P., Barrere, F., Van Blitterswijk, C. A., de Groot, K., & Layrolle, P. (2002). Biomimetic hydroxyapatite coating on metal implants. *Journal of the American Ceramic Society*, 85(3), 517-522.
- Huang, S., Zhou, K., Huang, B., Li, Z., Zhu, S., & Wang, G. (2008). Preparation of an electrodeposited hydroxyapatite coating on titanium substrate suitable for in-vivo applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(1), 437-442.
- Kwok, C., Wong, P., Cheng, F., & Man, H. (2009). Characterization and corrosion behavior of hydroxyapatite coatings on Ti6Al4V fabricated by electrophoretic deposition. *Applied Surface Science*, 255(13-14), 6736-6744.

- Levitus, S., & Boyer, T. P. (1994). *World ocean atlas 1994. volume 4. temperature*. Retrieved from
- Long, J., Xu, S., Cai, J., Jiang, N., Lu, J., Ostrikov, K., & Diong, C. (2002). Structure, bonding state and in-vitro study of Ca–P–Ti film deposited on Ti6Al4V by RF magnetron sputtering. *Materials Science and Engineering: C*, 20(1-2), 175-180.
- Mondragon-Cortez, P., & Vargas-Gutierrez, G. (2004). Electrophoretic deposition of hydroxyapatite submicron particles at high voltages. *Materials Letters*, 58(7-8), 1336-1339.
- Wang, Y. C., Leu, I. C., & Hon, M. H. (2004). Kinetics of electrophoretic deposition for nanocrystalline zinc oxide coatings. *Journal of the American Ceramic Society*, 87(1), 84-88.
- Wei, M., Ruys, A., Milthorpe, B., & Sorrell, C. (2005). Precipitation of hydroxyapatite nanoparticles: effects of precipitation method on electrophoretic deposition. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(4), 319-324.
- Yang, Y.-C., & Yang, C.-Y. (2013). Mechanical and histological evaluation of a plasma sprayed hydroxyapatite coating on a titanium bond coat. *Ceramics International*, 39(6), 6509-6516.
- Zeng, H., & Lacefield, W. R. (2000). The study of surface transformation of pulsed laser deposited hydroxyapatite coatings. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 50(2), 239-247.

# SİLİKA KATKILI EPOKSİ REÇİNE KOMPOZİTTE ÇAPRAZ BAĞLANMA DÖNÜŞÜM ORANININ CAMSI GEÇİŞ SICAKLIĞINA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Zafer AZEM\* & Uğur MALAYOĞLU\*\*

\*Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, zaferazem@gmail.com

\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ugur.malayoglu@deu.edu.tr

**Özet:** Epoksi termoset kompozitler, endüstrinin pek çok alanında, yüksek gerilim izolasyon malzemesi, koruyucu kaplama, yapıştırıcı, otomotiv ve havacılık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Epoksi termoset kompozitlerin nihai mekanik özellikleri, kürlenme şartlarına ve son yapıdaki çapraz bağ yoğunluğuna kuvvetle bağlıdır. Matriks malzemesi olarak bisfenol-A epoksi reçine ve ön hızlandırılmış metil tetrahidroftalik anhidrit sertleştirici kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak, ortalama 37 µm tane boyunda ve ağırlıkça %60 oranında silika (SiO<sub>2</sub>) partikülleri seçilmiştir. Camısı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) ile çapraz bağlanma dönüşüm oranı (α) arasındaki ilişki, DiBenedetto eşitliği ile belirlenmiştir. Kısmi olarak kürlenmiş reçinedeki kalıntı entalpiyi belirlemede kullanılan izotermal ısınma eğrileri, kürlenme reaksiyonunun dönüşüm oranını hesaplamak için kullanılmıştır. Kürlenme reaksiyonları ve camısı geçiş sıcaklıklarının ölçülmesi, ara soğutucu ünitesi ile donatılmış diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Epoksi polimerler, çapraz bağ dönüşüm oranı, camısı geçiş sıcaklığı, DSC.

## Giriş

Oksijen ihtiva eden üç bileşenli halka yapılara epoksi denilmektedir. Etilen oksit, en basit epoksi yapısı olarak bilinmektedir. Bu kimyasal gruplar, halka yapısındaki gerinmiş bağ açılarından dolayı son derece reaktiftir. Bu yüzden pek çok sertleştirici grup ile kolayca reaksiyona girebilmektedir (Vidil, Tournilhac, Musso, Robisson ve Leibler, 2016). Epoksiler, mekanik, elektrik ve termal özellikleri ve kimyasal dirençleri bakımından diğer reçinelere nispeten daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Epoksilerin kullanım alanları, koruyucu kaplamalar, yapıştırıcılar, yüksek gerilim izolatör malzemeleri, otomotiv ve havacılık endüstrisinde taşıyıcı komponent olarak ve kompozit yapılarda matriks olarak özetlenebilir (Wetzel, Rosso, Hauptert ve Friedrich, 2006). Epoksinin kürlenip kovalent

bağlı rijit bir yapı oluşturabilmesi için bir sertleştiriciye ihtiyaç vardır. Gerinmiş halkadan kaynaklanan epoksi reaktivitesi, epoksinin alifatik aminler, aromatik aminler, asitler ve anhidritler gibi pek çok sertleştirici ile reaksiyona girerek kürlenmesini sağlar. Çalışmada kullanılan epoksi reçinenin anhidrit sertleştirici ile ısı etkisi altında kürlenme mekanizması, başlangıç, ilerleme ve sonlandırma fazlarını kapsayan anyonik halka açılma zincir polimerizasyonudur (Pascault ve Williams, 2010). Kürlenme sonucu yapıda oluşan çapraz bağ yoğunluğu, polimerizasyon esnasında yapıdaki monomer ve reaktantların ne kadarının reaksiyona girdiğine bağlıdır ve bu, dönüşüm oranı ( $\alpha$ ) ile temsil edilir. Kürlenmiş epoksi kompozitin, çekme mukavemeti ( $\sigma$ ), deformasyon uzaması ( $\epsilon$ ), elastisite modülü ( $E$ ), kırılma tokluğu ( $K_{1c}$ ) ve camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) gibi yapısal özellikleri ise dönüşüm oranına doğrudan bağlıdır (Rahul ve Kitey, 2016). Dönüşüm oranı, kısmi olarak kürlenmiş reçinedeki kalıntı entalpinin, reaksiyonun toplam entalpisine oranından bulunmaktadır (Teil, Page, Michaud ve Manson, 2004). Entalpi verisi, ısı akış eğrilerindeki ekzotermik pik altında kalan alanın nümerik integrasyonu ile hesaplanmaktadır (Riesen, 2006). Mevcut çalışmada, kısmi kürlenme ve  $T_g$  ölçümleri için ara soğutma ünitesi, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı kullanılmıştır. DSC cihazında, camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), sıcaklığın fonksiyonu olarak, özgül ısı kapasitesindeki ( $C_p$ ) değişimin belirlenmesi ile ölçülmektedir.

Mevcut çalışmada, epoksi reçine ve anhidrit sertleştirici ile hazırlanmış silika ( $SiO_2$ ) katkılı epoksi kompozitte çapraz bağlanma dönüşüm oranı ( $\alpha$ ) ile camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) arasındaki ifade, termoset dönüşümlerinde sıklıkla kullanılan ve güvenilir sonuç veren DiBenedetto eşitliği kullanılarak belirlenmiştir.

## **DeneySEL Çalışma**

### **Malzeme**

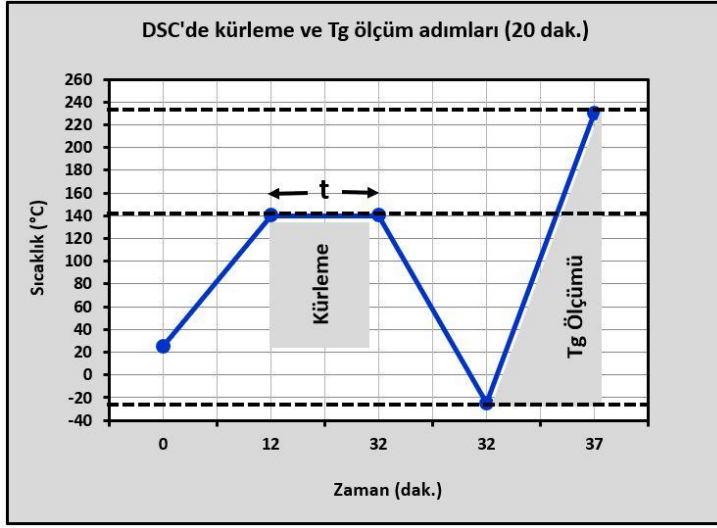
Çalışmada, Diglisidil Eter Bisfenol-A (DGEBA) bazlı epoksi reçine kullanılmıştır (Huntsman CY225). Kürlenme aracı olarak, düşük esterleşme özelliği ve yüksek reaktivitesi sebebiyle Metil Tetrahidroftalik Anhidrit (MTHPA) sertleştirici seçilmiştir (Huntsman HY925). Reçine/sertleştirici oranı, en yüksek dönüşüm oranını veren stokiometrik oran olan, ağırlıkça 100:80 olarak seçilmiştir. Epoksi/anhidrit termoset sistemin endüstriyel kullanımına izin veren ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş, partikül katkılı kompozit yapısını elde etmek için, ağırlıkça %60 oranında ve ortalama 37  $\mu m$  tane boyutunda Silika ( $SiO_2$ ) katkı kullanılmıştır (Sibelco).

## Malzeme Hazırlama

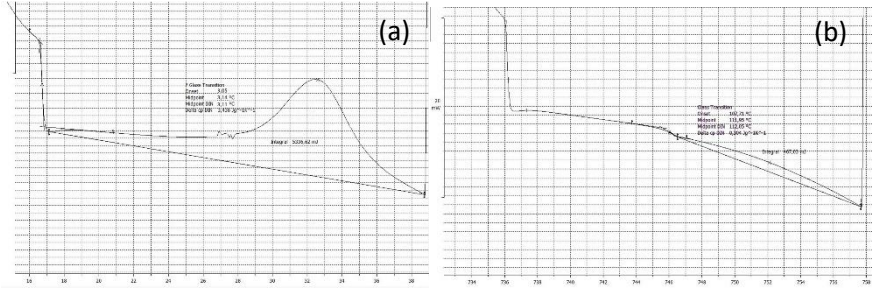
Reçine ve sertleştirici, karışım oranı ağırlıkça 100:80 olacak şekilde tartıldı. Silika kum, yapıda bulunabilecek nemin kimyasal reaksiyonların gidişini negatif etkileyeceği için, 90°C sıcaklıkta 2 saat kurutuldu. Ağırlıkça %60 oranındaki silika kumu, daha önce hazırlanıp mikserde konulmuş epoksi/anhidrit sistemine eklendi. Üç bileşen, kapalı mikserde 10 mBar vakum altında 2 saat karıştırıldı. Karışım esnasında yapıda oluşabilecek hava kabarcıklarını elimine etmek için karışım vakum altında gerçekleştirildi. Karışım sonrasında, 20 mg sıvı malzeme 40µL hacimli alüminyum krozelere konuldu. Krozeler, özel bir aparat ile sızdırmaz olarak kapatılıp, DSC cihazında ölçüme alındı.

## Yöntem

Kısmi kürlenme ve  $T_g$  ölçüm işlemleri, izotermal sıcaklıkta kürlenme işlemine imkan verecek, ara soğutma cihazı ile donatılmış diferansiyel taramalı kalorimetre ile gerçekleştirildi (Mettler Toledo DSC823). Kısmi kürlenme işlemi 140°C sabit sıcaklıkta, belirlenen sürelerde (t : 0, 1, 10, 20, 40, 90, 180, 360, 720 dak.) gerçekleştirildi. DSC cihazının fırınına yerleştirilmiş numunenin sıcaklığı 20°C'den 140°C'ye, 10°C/dak ısıtma hızıyla arttırıldı. Her numune, sabit kürlenme sıcaklığında belirlenen t süreleri kadar kısmi kürlendikten sonra -25°C sıcaklığa indirilerek tüm kimyasal hareketlilik durduruldu. DSC cihazındaki kısmi kürlenme işlemi sonrasında numune sıcaklığı, aynı ısıtma hızı ile 230°C sıcaklığa kadar arttırıldı (Şekil 1). Sıcaklığa bağlı ısı akış diyagramlarından  $T_g$  ölçümleri yapıldı ve ekzotermik pik altındaki alanlar belirlenerek, kalıntı özgül entalpiler, numune ağırlıkları da kullanılarak hesaplandı (Şekil 2). Dönüşüm oranı ( $\alpha$  [%]), ısı akışı eğrilerindeki kısmi kürlenme entalpilerinin ( $\Delta H_r$  [J/gr]), toplam entalpiye ( $\Delta H_t$  [J/gr]) oranından hesaplandı (Formül 1) (Teil).



Şekil 1. DSC cihazında kürlenme ve sıcaklık ölçüm adımları.



Şekil 2. 140°C sabit kürlenme sıcaklığında (a) 1 dakika ve (b) 720 dakika sürelerine ait ekzotermik reaksiyon pikleri ve eğri altında kalan alandan hesaplanan kalıntı entalpi değerleri.

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta H_r}{\Delta H_t} \quad (1)$$

Camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) ile dönüşüm oranı ( $\alpha$ ) arasında net bir ilişki, izotermal kürlenme sıcaklığından bağımsız olarak DiBenedetto eşitliği ile verilmektedir (Formül 2). Yüksek dönüşüm oranlarındaki kalıntı entalpi ölçümlerinin zorluğu ve  $T_g$  ölçümünün kolay ve hassas olabilmesi

sebebiyle, dönüşüm oranının  $T_g$  ile belirlenmesi büyük avantaj sağlar (Pascault, Sautereau, Verdu ve Williams, 2002).

$$T_g(\alpha) = \frac{\delta \cdot \alpha \cdot (T_{g1} - T_{g0})}{1 - (1 - \delta) \cdot \alpha} + T_{g0} \quad (2)$$

Burada,  $\alpha$  : Dönüşüm oranı (%),  $T_{g1}$  : tamamen kürlenmiş reçinenin camsı geçiş sıcaklığı ( $\alpha = 1$ ),  $T_{g0}$  : kürlenmemiş reçinenin camsı geçiş sıcaklığı ( $\alpha = 0$ ), ve  $\delta$  : yapıya bağlı korelasyon sayısıdır (0 ile 1 arası).

(2) numaralı eşitliğe uygulanan basit aritmetik işlemler ile,  $T_g$ 'ye bağlı olarak  $\alpha$ 'yı veren bağıntı Formül 3 ile kolayca hesaplanabilir (Teil). Buradaki  $\delta$  sayısı, deneysel verinin, formülden elde edilen veri ile karşılaştırılmasıyla 0,5 olarak tespit edilmiştir.

$$\alpha = \frac{1}{\left(\frac{T_{g1} - T_g}{T_g - T_{g0}}\right) \cdot \delta + 1} \quad (3)$$

## Bulgular ve Tartışma

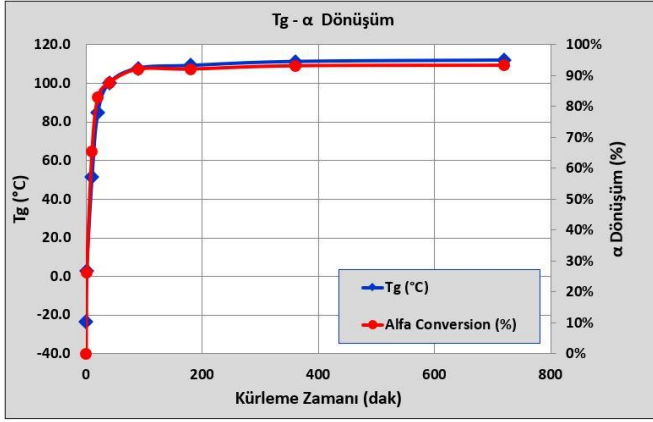
Isı akış eğrilerinden elde edilen  $T_g$ , eğri altında kalan bölgenin alanından hesaplanan kalıntı entalpi değerleri, ve bu verilerden elde edilen dönüşüm oranları, Tablo 1 ile özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Isı akış eğrisinden elde edilen  $T_g$ ,  $\Delta H$  ve  $\alpha$  değerleri.

Kürleme Sıcaklığı (°C)	Kürleme Zamanı (dak)	$T_g$ (°C)	İntegral (mJ)	m (mg)	Özgül Entalpi ( $\Delta H_r$ ) (J/g)	$\alpha$ (%)
Kürlenmemiş	0	<b>-23.4</b>	6780.69	20.7	<b>327.6</b>	<b>0.0%</b>
140	1	<b>3.1</b>	5336.62	22.1	241.5	<b>26.3%</b>
140	10	<b>51.6</b>	2059.89	18.2	113.2	<b>65.4%</b>
140	20	<b>84.8</b>	900.48	16.1	55.9	<b>82.9%</b>
140	40	<b>100.3</b>	932.59	23.2	40.2	<b>87.7%</b>
140	90	<b>107.9</b>	437.81	16.8	26.1	<b>92.0%</b>
140	180	<b>109.3</b>	634.71	24.4	26.0	<b>92.1%</b>
140	360	<b>111.3</b>	406.72	18.0	22.6	<b>93.1%</b>
140	720	<b>112.1</b>	467.03	21.2	22.0	<b>93.3%</b>



$\Delta H_t$  değeri, hiç kürlenmemiş numunenin ölçümünden elde edilen 372.6 J/gr'dır. Kullanılan epoksi/anhidrit sistemin maksimum dönüşüm oranı  $\alpha$ , %93.3 olarak tespit edilmiştir. Tam dönüşümün gerçekleşmemesinin iki ana sebebi olduğu düşünülmektedir: Birincisi, reaksiyon sonundaki yüksek çapraz bağ yoğunluğundan dolayı, yapıda bir miktar reaksiyona girmemiş epoksi ve anhidrit gruplarının birleşemeyip ayrı kalmasıdır. İkincisi, %60 oranındaki silika katkısının camı geçiş sıcaklığını bir miktar düşürdüğü düşünülmektedir (Harsch, Kocsis ve Holst, 2007).  $T_g$  ve  $\alpha$  verisi kürlenme zamanı ortak verisi ile bir grafikte çizildiğinde, camı geçiş sıcaklığı ile dönüşüm oranının tamamen örtüştüğü görülür (Şekil 3).



Şekil 3. Kürlenme zamanına bağlı olarak  $\alpha$  ve  $T_g$  değişimi.

DiBenedetto eşitliği ile elde edilen  $\alpha$  verileri entalpi ölçüm verileri ile karşılaştırmalı olarak Tablo 2 ile verilmiştir.

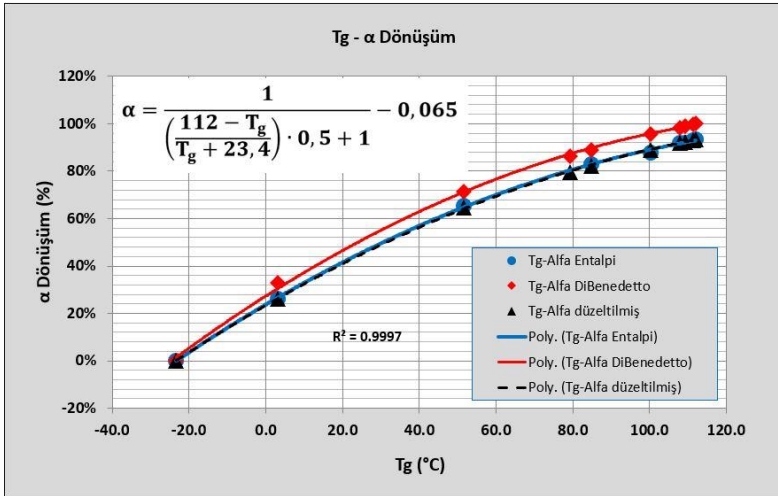
**Tablo 2.** DiBenedetto verilerinden elde edilen  $\alpha$  değerleri.

$\delta = 0.5$					
$T_g$ (°C)	$\alpha$ Entalpi	$\alpha$ DiBenedetto	Fark	$\alpha$ Düzeltilmiş (%6.5)	Hata (%)
-23.4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3.1	26.3%	32.7%	6.4%	26.2%	0.4%
51.6	65.4%	71.3%	5.9%	64.7%	1.0%
79.2	80.0%	86.2%	6.2%	79.7%	0.4%
84.8	82.9%	88.8%	5.9%	82.3%	0.8%
100.3	87.7%	95.5%	7.8%	88.9%	-1.4%
107.9	92.0%	98.4%	6.4%	91.9%	0.2%
109.3	92.1%	99.0%	6.9%	92.4%	-0.4%
111.3	93.1%	99.7%	6.6%	93.2%	-0.1%
112.1	93.3%	100.0%	6.7%	93.5%	-0.2%
			<u>6.5%</u>		<u>0.07%</u>

Formül 3 ile elde edilen  $\alpha$  değerleri, entalpi ile elde edilenlerden ortalamada %6.5 daha fazladır. Bu farkı mevcut formüle eklediğimizde, ortalama %0.07 hata ile, ölçüm vasıtasıyla elde edilen veriler elde edilmiştir. Mevcut epoksi/anhidrit sistemi için dönüşüm oranının ( $\alpha$ ) camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) bağlı olarak ampirik ifadesi, düzeltilmiş olarak Formül 4 ile tanımlanmıştır.

$$\alpha = \frac{1}{\left(\frac{112 - T_g}{T_g + 23,4}\right) \cdot 0,5 + 1} - 0,065 \quad (4)$$

Tablo 2'deki  $T_g$  değerleri, bir grafikte bağımsız değişken olarak yatay eksen,  $\alpha$  değerleri ise bağımlı değişken olarak dikey eksen verildiğinde, dönüşüm oranını camsı geçiş sıcaklığına bağlı olarak veren grafik elde edilir (Şekil 4). Bu grafikte, DiBenedetto eşitliği ile elde edilen eğrinin, entalpi eğrisinden daha yukarıda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, mevcut epoksi sisteminin dönüşümü tam olarak gerçekleştirme imkanı bulamamasıdır. Düzeltme faktörü %6.5 değeri eklendiğinde, Formül 4 ile verilen ilişki, entalpi ile elde edilen eğri ile tam olarak çakışacak şekilde elde edilmiştir.



Şekil 4.  $T_g$ 'ye bağlı olarak  $\alpha$ 'daki değişim.

## Sonuçlar

DiBenedetto eşitliği kullanılarak, yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip, silika katkılı epoksi/anhidrit sisteminin dönüşüm oranını,  $T_g$  sıcaklığına bağlı olarak veren ampirik ifade elde edilmiştir.

Mevcut epoksi/anhidrit sistemin maksimum dönüşüm oranı %93,3 olarak hesaplanmıştır. Tam kürlenmenin gerçekleşmemesi sebebinin, reaksiyon sonundaki yüksek çapraz bağ yoğunluğundan dolayı, yapıda bir miktar reaksiyona girmemiş epoksi ve anhidrit grupların birleşemeyip ayrı kalması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca %60 oranındaki silika katkısının camsı geçiş sıcaklığını bir miktar düşürdüğü düşünülmektedir.

Seri üretimde APG (Basınç altında Otomatik Jelleşme) yöntemi ile epoksi dökümü yapılan parçaların, kalıptan en az %80 dönüşüm oranında kürlendikten sonra çıkarılması gerekmektedir. Daha düşük dönüşüm oranlarında, yeterli rijitlikte bir yapı oluşmadığı için kalıp çıkışında parçalar çarpılıp deformasyona uğrayabilmektedir. Yapılan mevcut çalışma ile, mevcut kalıplama zamanında (23 dak.) ortalama  $T_g$  değerinin  $100^\circ\text{C}$  olduğu, ve bu sıcaklıkta, yapının %89 oranında dönüştüğü tespit edilmiştir. Gereğinden çok fazla dönüşümün kalıpta gerçekleştiği anlaşılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, kalıpta kürlenme süresi 3 dak. kısaltılarak, üretim verimliliği %9,5 oranında arttırılmıştır. Dönüşmemiş yapının kalıptan çıktıktan sonra kürlenmesinin tamamlanması, fırınlarda gerçekleştirilmektedir.

## Kaynaklar

- Pascault, J.P. ve Williams, R.J.J. (2010). Epoxy Polymers, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Pascault, J.P., Sauterau, H., Verdu, J. ve Williams, R.J.J. (2002). Thermosetting Polymers, Basel, Switzerland: Marcel Dekker.
- Vidil, T., Tournilhac, F., Musso, S., Robisson, A. ve Leibler, L. (2016). Control of reactions and network structures of epoxy thermosets. Progress in Polymer Science, 62, 126-179.
- Wetzel, B., Rosso, P., Hauptert, F. ve Friedrich, K. (2006). Epoxy nanocomposites - fracture and toughening mechanisms, Engineering Fracture Mechanics, 73, 2375-2398.

- Rahul, R. ve Kitey, R. (2016). Effect of cross-linking on dynamic mechanical and fracture behavior of epoxy variants, *Composites Part B*, 85, 336-342.
- Riesen, R. (Ed.) (2006). *Thermal Analysis of Thermosets: Collected Applications Handbook (Volume2)*, Schwerzenbach, Switzerland: Mettler-Toledo AG,
- Harsch, M., Kocsis, J.K. ve Holst, M. (2007). Influence of fillers and additives on the cure kinetics of an epoxy/anhydride resin, *European Polymer Journal*, 43, 1168–1178.
- Teil, H., Page, S.A., Michaud, V. ve Månson, J.A.E. (2004). TTT-cure diagram of an anhydride-cured epoxy system including gelation, vitrification, curing kinetics model, and monitoring of the glass transition temperature, *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1774-1787.

**NUCLEAR ENGINEERING SCIENCES / NÜKLEER  
MÜHENDİSLİĞİ**

**ALFA VE LİTYUM-7 PARÇACIKLARININ BOR NÖTRON  
YAKALAMA TERAPİSİ İÇİN HÜCRESEL  
MİKRODOZİMETRİSİ**

**CELLULAR MICRODOSIMETRY OF ALPHA AND LITHIUM-7  
PARTICLES FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY**

**Ayşe KARAOĞLU & Perihan ÜNAK\***

*\*Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim  
Dalı, aysekaraoğlu84@gmail.com; Perihan.unak@gmail.com*

**Özet:** Bor Nötron Yakalama Terapisi (BNCT), beyin tümörleri, malin melanom ve baş-boyun kanser tedavisinde kullanılabilen iki bileşenli bir radyoterapi tekniğidir. Bu bileşenler, biyokimyasal olarak hedeflenen tümör hücrelerinde biriken  $^{10}\text{B}$  izotopu ve düşük enerjili nötronlardır.

Düşük enerjili nötronlarla bombardıman edilen tümör hücrelerinde bulunan  $^{10}\text{B}$  izotopu,  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyonu ile yüksek lineer enerji transferli kısa menzilli alfa ve lityum parçacıkları yayarak yüksek dozlar oluşturup tümör hücrelerini tercihli olarak yok etmektedir. Bor Nötron Yakalama Terapisinin avantajı, radyasyon etkisinin sadece tümör hücrelerinde sınırlı kalabilmesidir. Bu nedenle alfa ve lityum parçacıklarının etkinliği, kısa menzillerinden ve yüksek lineer enerji transferlerinden dolayı hücresel boyutlardadır ve stokastiktir. Dolayısıyla, bu parçacıkların hücresel seviyede olasılıksal enerji depozisyonunu incelemek için mikrodozimetri uygun bir tekniktir.

Bu çalışmada, BNCT’de oluşan alfa ve lityum parçacıklarının hücre içi seviyelerde etki ve davranışlarını değerlendirmek için doz ve enerji dağılımları farklı BNCT ajanları için GEANT4/GAMOS Monte Carlo simülasyon programıyla hesaplanmıştır. Doz ve enerji dağılımlarını hesaplamak için tek hücre modeli oluşturulmuştur. Böylece tek hücrenin, alacağı doz ve enerji dağılımları değerlendirilmiştir. Hücrenin kimyasal kompozisyonu için iki farklı bileşik kullanılmıştır. Hücre dört farklı küresel bölgeye ayrılarak, BNCT ajanlarının farklı hücre içi bölgelerde biriktiği düşünülerek,  $^{10}\text{B}$  dağılımının ve geometri faktörünün doz ve enerji değerlerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor nötron yakalama terapisi, boron-10, alfa parçacıkları, lityum-7 parçacıkları, Geant4/Gamos, hücre, mikrodozimetri, doz dağılımı

**Abstract:** Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) is a two-component radiotherapy technique that can be used to treat brain tumors, malignant melanoma and head and neck cancer. These components are  $^{10}\text{B}$  isotope and low energy neutrons inside the tumor cells. The targeted  $^{10}\text{B}$  isotope in tumor cells bombarded with low energy neutrons then emits short-range alpha and lithium particles with high linear energy transfer by  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaction and destroys tumor cells. The advantage of Boron Neutron Capture Therapy is that the radiation effect is limited

only in tumor cells. Thus, the activity of alpha and lithium particles is cellular and stochastic due to their short range and high linear energy transfers. Thus, microdosimetry is a suitable technique to study the probable energy deposition of these particles at the cellular level.

In this study, dose and energy distributions were calculated by GEANT4/GAMOS Monte Carlo simulation program for different BNCT agents to evaluate the effect and behavior of alpha and lithium particles formed in BNCT at intracellular levels. Single cell model was created to calculate dose and energy distributions. Thus, the dose and energy distributions of a single cell were evaluated. Two different compounds were used for the chemical composition of the cell. Cells were divided into four different spherical regions and BNCT agents were deposited in different intracellular regions and the effect of  $^{10}\text{B}$  distribution and geometry factor on dose and energy values were investigated.

**Keywords:** Boron neutron capture therapy, boron-10, alpha particles, lithium-7 particles, Geant4 / Gamos, cell, microdosimetry, dose distribution

## Giriş

Radyasyonun madde ile etkileşiminden faydalanarak geliştirilen radyoterapi yöntemlerinden biri olan bor nötron yakalama terapisi (BNCT), beyin, boyun, deri ve daha birçok çeşit kanser tedavisinde kullanılabilen radyasyonla terapi yöntemidir (Barth et al., 2005; Mukawa et al., 2011). Kullanımı pahalı ve zor olmasına rağmen etkin tedavi sonuçları veren bir yöntem olarak 1950'lerden bu yana kullanılmaya başlanmıştır (Barth et al., 2005). İki bileşenli bir tedavi yöntemi olan BNCT'nin birinci bileşeni tümör hücrelerini hedef alan borlu bileşikler iken ikinci bileşeni ise  $^{10}\text{B}$  izotopu ile 3840 b'lık bir tesir kesitiyle etkileşen termal nötronlardır (Nichols, 2008). Tümör hücrelerinde biriken  $^{10}\text{B}$  izotopu, termal nötronlarla bombardıman edilerek  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyonu ile alfa ( $^4\text{He}$  ya da  $\alpha$ ) ve lityum-7 ( $^7\text{Li}$ ) parçacıkları oluşmaktadır (Kalend et al., 1995). Bu parçacıklar yüksek lineer enerji transfer özellikli yüklü parçacıklardır (Barth et al., 2012). Yüksek lineer enerji transfer özellikleri sayesinde enerjilerini kısa sürede ve kısa menzillerde bırakmaktadırlar. Bu menzil değerleri alfa ve lityum-7 yüklü parçacıkları için su ortamında sırasıyla yaklaşık 9-10  $\mu\text{m}$  ve 4-5  $\mu\text{m}$ 'dir (Vroegindeweyj, 1997). Menzil değerlerinden de anlaşılacağı gibi alfa ve lityum-7 parçacıklarının etkinlik alanı hücresel boyutlardadır (Ghassoun et al., 2009; Santa Cruz, 2016). Bu nedenle, Bor nötron yakalama terapisi seçici olarak tümör hücrelerini yok etmesinden dolayı sağlıklı hücelere zarar vermeden enerjisini  $^{10}\text{B}$  yüklü tümör hücrelerine bırakmaktadır (Coderre et al., 2003).

## Yöntem

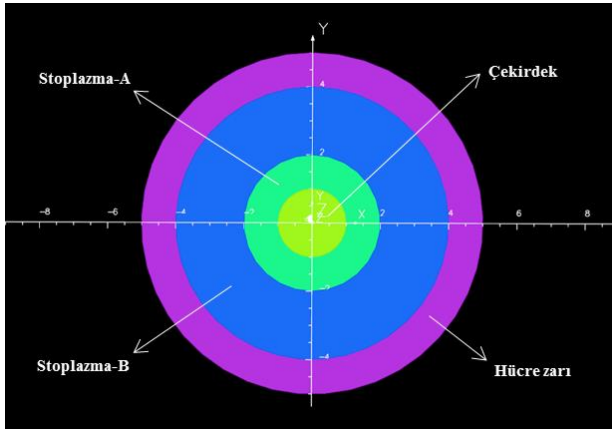
### Araştırma Modeli

GAMOS Monte Carlo (MC) programı kullanılarak mikrodozimetrik hesaplamalar yapılmıştır.  $^{10}\text{B}$  kararlı izotopunu hücrenin farklı bölgelerinde biriktiği göz önünde bulundurularak tek hücre modeli için hücre içi her bir bölgede alfa ve lityum-7 parçacıklarının oluşturacağı doz ve enerji dağılımları hesaplanmıştır. Böylece BNCT’nde kullanılacak bor bileşiklerinin hücrenin farklı bölgelerinde tutulduklarında tek hücrede meydana gelecek doz ve enerji dağılımları Monte Carlo (MC) simülasyon programıyla elde edilmiştir. Bor Nötron Yakalama Terapisinde teşhis ve tedavi planlamasına fayda sağlayabilecek bilgi üretilmiştir.

### GAMOS programı ile tek hücre modeli doz ve enerji simülasyonu

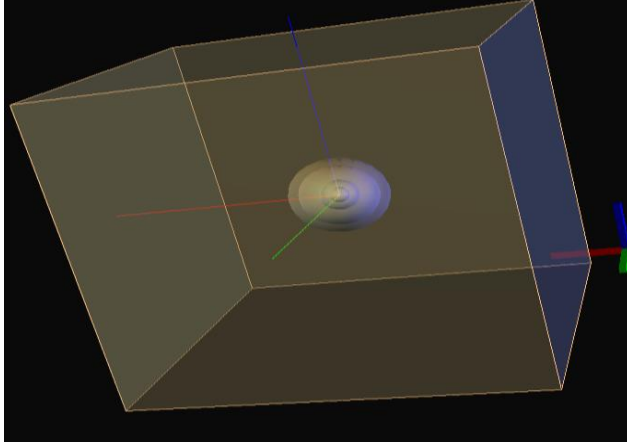
#### Tek Hücre modeli

Yarıçapı  $5\ \mu\text{m}$  olan küre şeklindeki hücrenin kimyasal bileşenleri için ICRU Report 44’ten (1989) (beyin gri/beyaz madde) faydalanılmıştır (ICRU Report 44, 1989). Hücre materyali olarak ayrıca su bileşeni de kullanılmıştır. Hesaplamalar su ve ICRU Report 44’ten (1989) alınan hücre materyali için ayrı ayrı yapılmıştır (ICRU Report 44, 1989). Ayrıca hücre, Şekil 1’deki gibi çekirdek, sitoplazma-A, sitoplazma-B ve hücre zarı olmak üzere 4 farklı eş merkezli küresel bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerin kalınlıkları, çekirdek için  $1\ \mu\text{m}$ , sitoplazma-A için  $1\ \mu\text{m}$ , sitoplazma-B için  $2\ \mu\text{m}$ , hücre zarı için  $1\ \mu\text{m}$ ’dir.



(a)



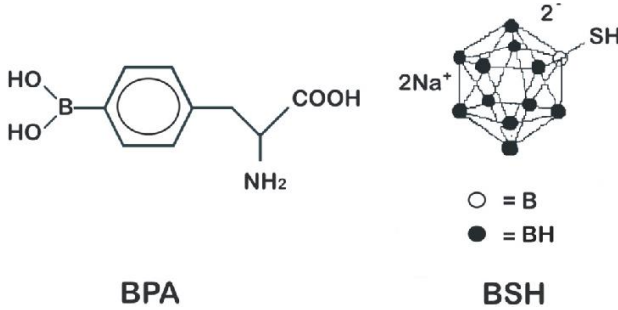


(b)

**Şekil 1** Tek hücre modeli a) Hücresel bölgeler, b) Hücresin 3-boyutlu GAMOS görüntüsü

Alfa parçacığının hücresel dozimetrisi

BNCT’nde en çok kullanılan iki boron bileşiği olan BPA ve BSH bileşiklerinin (Şekil 2) sırasıyla sitoplazma-A ve hücre zarında biriktiği farzedilerek simülasyon dataları elde edilmiştir (Mukawa et al., 2011). BNCT’nde  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyonuyla açığa çıkan alfa parçacıklarının çekirdekte, sitoplazma-A’da, sitoplazma-B’de ve hücre zarında açığa çıktığı düşünülerek girdiler programa işlenmiştir. Böylece BPA ve BSH dışında hücrenin çekirdek ve sitoplazma-B bölgelerinde birikebilecek diğer bor bileşikleri için de hücrenin farklı bölgelerinde oluşacak doz değerleri ve enerji dağılımları GAMOS programıyla hesaplanmıştır.



**Şekil 2** BNCT’de kullanılan BPA ve BSH’in Moleküler Yapıları

### Lityum-7 parçacığının hücresel dozimetrisi

BNCT’nde açığa çıkan lityum-7 parçacıklarının ayrı ayrı hücre çekirdeğinde, sitoplazma-A’da, sitoplazma-B’de, hücre zarında olduğu durumlarda, hücrenin farklı bölgelerinde oluşturacağı doz değerleri ve enerji dağılımları GAMOS programıyla hesaplanmıştır.

### **Bulgular**

BPA bileşiği için bor birikiminin sitoplazma-A’da, BSH bileşiği için hücre zarında olduğu düşünülmüştür (Mukawa et al., 2011). Buna ek olarak farklı bor bileşiklerinin hücrenin farklı bölgelerinde birikebileceği düşünülerek, BNCT’nde açığa çıkan alfa ve lityum-7 parçacıklarının ayrı ayrı hücre çekirdeğinde, sitoplazma-A’da, sitoplazma-B’de, hücre zarında olduğu durumlarda hücrenin farklı bölgelerinde oluşturacağı doz değerleri ve enerji dağılımları GAMOS programıyla hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 1-8’de verilmiştir.

**Çizelge 1** Alfa parçacığının çekirdekte olduğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji(MeV)	Doz (Gy)	Enerji(MeV)
<i>Bölge</i>				
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	6,00E+00	1,63E-01	5,65E+00	1,48E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	1,39E+00	2,65E-01	1,29E+00	2,37E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B	3,43E-01	5,22E-01	3,11E-01	4,56E-01
/hücre zarı1	1,44E-01	2,40E-01	1,37E-01	2,18E-01
<b>Toplam</b>	7,88E+00	1,19E+00	7,39E+00	1,06E+00
<i>Bağul hata</i>	5,10E-04	1,01E-04	5,10E-04	1,00E-04

**Çizelge 2** Alfa parçacığının sitoplazma-A’da olduğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji(MeV)	Doz (Gy)	Enerji (MeV)
<i>Bölge</i>				
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	1,51E+00	2,87E-01	1,41E+00	2,57E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	1,97E+00	5,36E-02	1,85E+00	4,83E-02
/hücre zarı1/sitoplazma-B	3,71E-01	5,64E-01	3,40E-01	4,98E-01
/hücre zarı1	1,45E-01	2,41E-01	1,39E-01	2,21E-01
<b>Toplam</b>	3,99E+00	1,15E+00	3,73E+00	1,02E+00
<i>Bağul hata</i>	1,09E-03	2,03E-04	1,08E-03	1,98E-04

**Çizelge 3** Alfa parçacığının sitoplazma-B’da oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji (MeV)	Doz (Gy)	Enerji (MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B	3,83E-01	5,84E-01	3,58E-01	5,24E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	5,15E-01	9,80E-02	4,77E-01	8,73E-02
/hücre zarı1	1,65E-01	2,73E-01	1,61E-01	2,57E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	5,44E-01	1,48E-02	5,02E-01	1,31E-02
<b>Toplam</b>	1,61E+00	9,69E-01	1,50E+00	8,81E-01
<b>Bağlı hata</b>	1,74E-03	4,62E-04	1,72E-03	4,44E-04

**Çizelge 4** Alfa parçacığının hücre zarında oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji (MeV)	Doz (Gy)	Enerji (MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B	2,81E-01	4,28E-01	2,65E-01	3,87E-01
/hücre zarı1	1,96E-01	3,24E-01	1,90E-01	3,03E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	3,34E-01	6,36E-02	3,12E-01	5,71E-02
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	3,47E-01	9,44E-03	3,21E-01	8,40E-03
<b>Toplam</b>	1,16E+00	8,25E-01	1,09E+00	7,56E-01
<b>Bağlı hata</b>	1,98E-03	6,60E-04	1,95E-03	6,46E-04

**Çizelge 5** Lityum-7 parçacığının çekirdekte oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji (MeV)	Doz (Gy)	Enerji (MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	9,28E+00	2,52E-01	1,05E+01	2,74E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	1,62E+00	3,09E-01	1,93E+00	3,53E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B	1,72E-01	2,61E-01	1,52E-01	2,23E-01
/hücre zarı1	1,34E-02	2,22E-02	5,19E-04	8,28E-04
<b>Toplam</b>	1,11E+01	8,45E-01	1,26E+01	8,51E-01
<b>Bağlı hata</b>	5,08E-04	2,27E-04	5,26E-04	2,63E-04

**Çizelge 6** Lityum-7 parçacığının sitoplazma-A’da oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji(MeV)	Doz (Gy)	Enerji(MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	1,90E+00	3,61E-01	2,17E+00	3,97E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	2,56E+00	6,95E-02	3,00E+00	7,85E-02
/hücre zarı1/sitoplazma-B	2,38E-01	3,62E-01	2,42E-01	3,54E-01
/hücre zarı1	2,49E-02	4,13E-02	1,18E-02	1,88E-02
<b>Toplam</b>	4,72E+00	8,34E-01	5,42E+00	8,48E-01
<i>Bağlı hata</i>	1,14E-03	3,75E-04	1,17E-03	4,33E-04

**Çizelge 7** Lityum-7 parçacığının sitoplazma-B’da oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji(MeV)	Doz (Gy)	Enerji(MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B	3,42E-01	5,20E-01	3,73E-01	5,46E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	4,56E-01	8,68E-02	4,93E-01	9,02E-02
/hücre zarı1	8,71E-02	1,45E-01	9,32E-02	1,49E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	4,66E-01	1,27E-02	5,01E-01	1,31E-02
<b>Toplam</b>	1,35E+00	7,64E-01	1,46E+00	7,98E-01
<i>Bağlı hata</i>	1,84E-03	4,74E-04	1,94E-03	4,88E-04

**Çizelge 8** Lityum-7 parçacığının hücre zarında oluştuğu durumda tek hücre için elde edilen doz ve enerji dağılımları.

Materyal	(ICRU Report 44, 1989)		Su	
	Doz (Gy)	Enerji(MeV)	Doz (Gy)	Enerji(MeV)
/hücre zarı1/sitoplazma-B	2,24E-01	3,40E-01	2,41E-01	3,53E-01
/hücre zarı1	1,61E-01	2,66E-01	1,76E-01	2,80E-01
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A	2,48E-01	4,71E-02	2,61E-01	4,77E-02
/hücre zarı1/sitoplazma-B/sitoplazma-A/çekirdek	2,47E-01	6,70E-03	2,59E-01	6,78E-03
<b>Toplam</b>	8,78E-01	6,61E-01	9,37E-01	6,88E-01
<i>Bağlı hata</i>	2,07E-03	6,50E-04	2,21E-03	6,60E-04

## Sonuç

BNCT'nde açığa çıkan alfa ve lityum-7 parçacıklarının doz ve enerji dağılımları GAMOS Monte Carlo simülasyon programı ile elde edilmiştir. BNCT'nde oluşan alfa ve lityum-7 parçacıklarının menzil değerleri hücre boyutlarında olduğu için etki alanı da hücre olarak ele alınmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada mikrodozimetri çalışılmıştır. Hücre olarak doz ve enerji değerlerini incelemek için tek hücre modeli oluşturulmuştur. Tek hücre modelinde bir tek hücre; çekirdek, sitoplazma-A, sitoplazma-B ve hücre zarı olmak üzere 4 farklı bölgeye ayrılmıştır. Alfa ve lityum-7 parçacıklarının sırasıyla bu bölgelerde açığa çıktığı düşünülerek bir tek hücrenin alacağı toplam doz ve enerji miktarları hesaplanmıştır.

Lityum-7 parçacığının doz değerleri, kaynak çekirdek ve sitoplazma-A'da iken, alfa parçacığının doz değerinden göre daha fazla, kaynak sitoplazma-B ve hücre zarında iken daha az çıkmaktadır. Bunun sebebi lityum-7'un menzilin alfa'ya göre kısa ve lineer enerji transferinin daha fazla olmasıdır.

Ayrıca alfa ve lityum-7 parçacıklarının etkileşeceği hücre materyali olarak iki farklı malzeme kullanılmış ve doz değerlerinin farklı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla parçacıkların etkileşeceği malzemenin kimyasal kompozisyonu gerçeğine ne kadar yakın olursa simülasyon sonuçları o kadar realist değerler verecektir.

BNCT'nde birim  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyonuyla açığa çıkan alfa ve lityum-7 parçacıklarının üç boyutlu tek hücre modeli için oluşturacağı etki, kaynak çekirdekte ve sitoplazma-A'da iken ölümcül dozun üzerinde iken, kaynak sitoplazma-B ve hücre zarındayken ölümcül dozun altındadır. Her iki hücre materyali için benzer durum söz konusudur, sadece oranları farklıdır. Kaynaklar hücre çekirdeğinde ya da hücre çekirdeğine ne kadar yakın olursa tek hücrede oluşturacağı tahribat daha büyük olacaktır. Sonuçlara bakılarak BNCT'nin tercihli olarak tümör hücrelerini yok eden bir tedavi yöntemi olduğunu söylemek mümkündür.

## Öneriler

Radyoterapide odaklanılan en önemli konulardan biri, sağlıklı hücrelere zarar vermeden ya da en az zararı vererek tümör hücrelerini yok etmektir. Böylece, umut verici özelliklerinden dolayı BNCT uygun bir kanser tedavi yöntemidir. Bu nedenle BNCT'ne fayda sağlayacak bilgiyi üretebilmek için bu çalışmada, BNCT'nde açığa çıkan yüksek lineer enerji transferli (LET) alfa ve lityum-7 yüklü parçacıklarının hücre boyutlardaki davranışlarını incelemek adına teorik hesaplamalar ve GAMOS Monte Carlo (MC) programı kullanılarak mikrodozimetrik hesaplamalar yapılmıştır.  $^{10}\text{B}$  kararlı izotopunu hücrenin farklı bölgelerinde biriktiği göz

önünde bulundurularak tek hücre modeli için hücre içi her bir bölgede alfa ve lityum-7 parçacıklarının oluşturacağı doz ve enerji dağılımları hesaplanmıştır. Böylece BNCT’nde kullanılacak bor bileşiklerinin hücrenin farklı bölgelerinde tutulduklarında tek hücrede meydana gelecek doz ve enerji dağılımları Monte Carlo (MC) simülasyon programıyla elde edilmiştir. Bor Nötron Yakalama Terapisinde teşhis ve tedavi planlamasına fayda sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

### **Kaynaklar**

- Barth, R. F., Coderre, J. A., Vicente, M. G. H. & Blue, T. E. (2005) Boron Neutron Capture Therapy of Cancer: Current Status and Future Prospects, *Clin Cancer Res*, 11, 3987-4002.
- Barth, R. F., Vicente, M. G. H., Harling, O.K., Kiger, W. S., Riley, K. J., Binns, P. J., Wagner, F. M., Suzuki, M., Aihara, T., Kato, I. & Kawabata, S. (2012) Current status of boron neutron capture therapy of high grade gliomas and recurrent head and neck cancer, *Radiation Oncology*, 7(146), 1-21.
- Coderre, J. A., Turcotte, J. C., Riley, K. J., Binns, P. J., Harling, O. K. & Kiger W.S. (2003) Boron neutron capture therapy: Cellular targeting of high linear energy transfer radiation, *Technology in Cancer Research & Treatment*, 2(5), 1-21.
- Ghassoun, J., Chkillou, B. & Jehouani, A. (2009) Spatial and spectral characteristics of a compact system neutron beam designed for BNCT facility, *Applied Radiation and Isotopes*, 67, 560–564.
- ICRU Report 44 (1989) Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement, International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- Kalend, A. M., Bloomer, W. D. & Epperly, M. W. (1995) Dosimetric consequences of  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaction occurring at the cellular membrane., *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 31(1), 171-178.
- Mukawa, T., Matsumoto, T. & Niita, K. (2011) Study on microdosimetry for boron neutron capture therapy, *Progress in Nuclear Science and Technology*, 2, 242-246.
- Nichols, T. L. (2008) The microdosimetry of boron neutron capture therapy, Ph.D. thesis, University of Tennessee, 115p.
- Santa Cruz, A. G. (2016) Microdosimetry: Principles and applications, *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 21, 135-139.
- Vroegindewij, C. (1997) Micro and macroscopic modelling of boron neutron capture therapy, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, 195p.

**<sup>99m</sup>Tc İLE İŞARETLİ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> NANOKOMPOZİTLER**  
**<sup>99m</sup>Tc LABELED Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> NANOCOMPOSITES**

**Elif TUTUN\* & Volkan YASAKÇI\* & Volkan TEKİN\***  
**İlker MEDİNE\*, Perihan ÜNAK\***

*\*Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı, et.94elf@gmail.com; volkanyasakci@gmail.com; volkantekin@windowslive.com; ilkermedine@yahoo.com; Perihan.unak@gmail.com*

**Özet:** Bu çalışmada, fotodinamik terapi ve görüntüleme özelliklerini bir arada taşıyan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanokompozitlerin sentezlenmesi ve <sup>99m</sup>Tc ile işaretlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle, çok fonksiyonlu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanokompozitler sentezlenmiştir. Önerilen yapının yüzey modifikasyonu TEOS ve APTES ile kaplanarak gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonlanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanopartiküller antikanser potansiyeli arttırmak için lupulon ve türevleri ile konjuge edilerek Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-NP, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-HLP, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-ALP şeklinde adlandırılmıştır. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanokompozitlerin ve fonksiyonlanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanokompozitlerin yapısal karakterizasyonları yapılmıştır. Nanokompozitlerin SEM (tarayıcı elektron mikroskobu) ile yüzey özellikleri de incelenmiş ve yaklaşık 40 nm çapında olduğu gözlemlenmiştir. <sup>99m</sup>Tc ile işaretli örneklerin RTLC ve RHPLC ile kalite kontrolü yapılmıştır. Bağlanma yüzdesi %95'in üzerinde olduğu ve oda sıcaklığında en az 6 saat boyunca kararlılıklarını korudukları görülmüştür. Sentezlenen nanokompozitlerin uygun biyolojik davranış göstermesi halinde SPECT ve fotodinamik terapi için uygun nanokonjugatlar olabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler;** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanokompozitler, lupulon, <sup>99m</sup>Tc, SPECT

**Abstract:** The aim of this work is to synthesize <sup>99m</sup>Tc labeled Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanoparticles which combine photodynamic therapy and imaging properties. For this purpose, multifunctional Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites were synthesized. The surface modification of the proposed structure was carried out by coating TEOS and APTES. The functionalized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanoparticles were conjugated with lupulon and its derivatives to increase anticancer potential and named as Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-NP, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-HLP, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-ALP. Structural characterizations of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites and functionalized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites were determined. Their surface properties were determined. The synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites were observed to be about 40 nm in diameter. The quality control of the samples were carried out. The quality control of <sup>99m</sup>Tc radiolabeled samples were checked with RTLC and RHPLC. Binding ratio was found to be above 95% and remained stable for at least 6 hours at room temperature. It was concluded that the nanoparticles could be suitable for SPECT and photodynamic therapy if the synthesized nanoparticles exhibit appropriate biological behavior.

**Keywords;** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites, lupulon, prostate cancer, <sup>99m</sup>Tc, SPECT

## Giriş

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) düşük maliyeti, yüksek stabilitesi ve insanlar ve çevre için güvenli olması nedeniyle ideal bir fotokataliz yarı iletkeni olarak kabul edilir (Gupta and Tripathi, 2011). Son zamanlarda,  $TiO_2$  nanokompozitler (NP)'ler; toz, kristal, ince film, nanoküre ve nanoçubuk gibi farklı şekillerde hazırlanabilmektedir. Sentezde genellikle sıvı faz prosesleri tercih edilmektedir. Bu durum sitokiyometrinin kontrolü, homojenitenin sağlanması, kompleks ve kompozit materyallerin şekillenmesi gibi hususlarda avantaj sağlamaktadır (Dawson et al., 2010).  $TiO_2$  NP'ler genel olarak az çözünen ve düşük toksisiteye sahip parçacıklar olarak bilinir (Gupta and Tripathi, 2011).

Demir oksit tabanlı manyetik nanokompozitler (MNP'ler) tanı ve tedavi alanında sıkça kullanılan materyallerdir. Bu materyaller tanı ve tedavi yöntemi olarak kişiye özel tıp uygulamalarına olanak sağlamaktadır (Brigger et al., 2002; Campo et al., 2005). MNP'ler dışarıdan uygulanan bir manyetik alan ile hedefe yönlendirilebilme özelliğine sahiptirler. Aynı zamanda tanı ve tedavi yaklaşımları içerisinde seçici tümör görüntüleme ile gen iletiminde de fonksiyonel MNP'ler kullanılmaktadır. Süper Paramanyetik NP'lerin (SPION) biyoteknolojide ilaç taşıyıcısı olarak kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ancak radyonüklid işaretli MNP'ler ile ilgili çalışmalar daha azdır (Glaus et al., 2008; Toksöz et al., 2008, Medine et al., 2011, Ünak et al., 2018).

Bu çalışmada yeni bir teranostik prob oluşturulması amacıyla fotodinamik terapi ve MRI (Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme) kontrast özelliklerini bir arada taşıyan  $Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitler sentezlenmiş, SPECT görüntüleme özelliklerini kazandırmak için  $^{99m}Tc$  ile radyoişaretlenmiştir.

## Yöntem

### $Fe_3O_4@TiO_2$ Nanokompozit Sentezi

0.365 g  $FeCl_3$  ve 0.365 g  $FeCl_2$  hassas terazide tartıldıktan sonra 0.75 g titanyum klorür ( $TiCl_4$ ) ile birlikte bir behere alınmıştır. Üzerine 10 mL metanol damla damla eklenerek oda sıcaklığında çekerocak içerisinde 1 saat karışmaya bırakılmıştır. 1 saatin sonunda 80 mL saf su ve 5 mL dodesilamin eklenerek tekrar çeker ocak içerisinde 1 saat  $100^\circ C$  800 rpm'de karışmaya bırakılmıştır. Karışma işlemi tamamlandıktan sonra çözeltiden bir falkon tüpe 50 mL alınarak stok çözelti olarak saklanmak üzere buzdolabına  $+4^\circ C$ 'ye konmuştur. Kalan çözelti asetondan 5 mL alınarak yıkanmıştır. 5 dk 10000 rpm'de üst faz atılmış ve bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Daha sonra çözeltiden 2 mL alınarak 10 mL oleik asit içerisinde dağıtılmıştır. Dağıtılan çözelti fırında  $5^\circ C/dk$  ısıtma hızı ile  $250^\circ C$ 'de 2 saat boyunca bekletilmiş ve sonrasında  $1^\circ C/dk$  soğutma hızı ile soğutulmuştur. Ertesi gün çözelti fırından alınmıştır. Yaklaşık 3 mL



çözelti üzerine 10 mL aseton eklenerek 10 dk 10000 rpm'de santrüfjlenmiştir. Birkaç kez tekrarlanan santrüfjleme işlemi sonrası sonrasında çözelti çökmemiştir. Bir beher içerisine alınan çözelti, ısıtıcı yardımıyla yaklaşık 45°C'de 25 dk bekletilerek, içerisindeki asetonun uzaklaştırılması ile çöktürülmüştür. Tetraetil ortosilikat (TEOS) ile NP'lerin silikalanması işlemine bu şekilde devam edilmiştir.

### **Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> Nanokompozitlerin Silikalanması**

Stoktan alınan 500 µL hacimli Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>, 10 mL etanolde dağıtılmıştır. Daha sonra sentez ünitesinde geri soğutma altında çözelti üzerine 3 mL stok amonyak ve 2 mL TEOS (tetraetil ortosilikat) eklenmiştir. Çözelti 40°C'de 600 rpm'de 14 saat karışmaya bırakılmıştır. Sonrasında çözelti sentez ünitesinden alınmış ve 5 mL etanol eklenerek yıkanmıştır.

### **Silikalanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub> Nanokompozitlerin Silanlanması (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si)**

Etanol içerisinde saklanan silikalanmış nanokompozitlerin ağırlığının % 20'si olacak şekilde (yani 5 mL) üzerine 1 mL 3-aminopropil tetraetil silikat (APTES) eklenerek 5 dk boyunca ultrasonik banyoda tutulmuştur. Çözelti iyice çözüldükten sonra 60 °C'de gece boyunca (14 saat) sentez ünitesinde karıştırılmıştır. Karışma işlemi sonrasında nanokompozitler metanol ile 5 dk 10000 rpm de yıkanarak etanolde dağıtılmış ve buzdolabında +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

### **Heksahidrolupulon Sentezi (HLP)**

Amonyak sentezi için gerekli destilasyon düzeneği kurulmuştur. Destilasyon balonu içerisine 89 g sodyum hidroksit (NaOH) ve 107 g amonyum klorür (NH<sub>4</sub>Cl) konarak düzeneğe sabitlenmiştir. Tepkimenin başlaması için gerekli ısı, balon jopenin altına su banyosu ve bir ısıtıcı konarak sağlanmıştır. Düzeneğin diğer ucundaki toplama balonu (soldaki) içerisine ise azot atmosferi altında 162.14 mg. floroglusinol (1,3,5-trihidroksibenzen) ve 15 mL susuz dietil eter eklenmiştir. Toplama balonu içerisine destile edilen amonyağın uçmaması için balon joje -78 °C'de kuru buz içerisinde tutularak karıştırılmıştır. Karışım 15 dk karıştırıldıktan sonra üzerine 4 mol yani 0.479 µL 1-bromo 3-metil bütanın 15 mL susuz dietil eterdeki çözeltisi eklenmiştir. Daha önce sentezlenen susuz dietil eter kullanılmıştır. Sıcaklık 5 saat boyunca -78°C'de tutulmuştur. Gece boyunca sentez çekerocak içerisinde bırakılarak amonyağın fazlasının uçmasına izin verilmiştir. Ertesi gün çözeltinin üzerine 5 mL dietil eter eklenerek HCl asit çözeltisi (12 M için 1 mL) ve su ile yıkama işlemine geçilmiştir. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra çözelti bir tüp içerisine alınmış ve üzerine susuz sodyum sülfat eklenerek 1 gün boyunca kurutulmuştur. Deney tüpü parafilmle iyice kapatılarak buzdolabında muhafaza edilmiştir (Tyrrell et al., 2012).

## **Sentezlenen $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$ Nanokompozitlerin Karakterizasyon Çalışmaları**

### **FTIR ile Yapı Analizi**

$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-HLP}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-ALP}$  örneklerinin Perkin-Elmer Spectrum Two IR spektrofotometresi (ATR (Attenuated Total Reflection) ile yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları yorumlanarak sentezlenen nanokompozitler literatür bilgileriyle karşılaştırılmıştır.

### **DLS ile Boyut Analizi**

$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitler, heksahidrolupulon sentezi (HLP) ve heksahidrolupulon ile konjuge edilen silikalı ve silanlı  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  ( $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-HLP}$ ) nanokompozitlerin parçacık boyutu analizi için, 10  $\mu\text{L}$  örnek 590  $\mu\text{L}$  oleik asitte çözülmüştür. Silikalı ve silanlı  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitler ( $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si}$ ) parçacık boyutu analizi için, 10  $\mu\text{L}$  örnek 1 mL etanolde çözülmüştür. Ardından hazırlanan çözeltilerden 600  $\mu\text{L}$  ölçüm yapılacak küvet içerisine alınmıştır. Analiz, 3 tekrarlı olarak Malvern Nano-ZS DLS (Dynamic Light Scattering) cihazı ile incelenmiştir. Örneklerin her biri 0.45  $\mu\text{m}$ 'lik filtrelerden geçirilmiştir.

### **SEM ile Yüzey Analizi**

Yüzey modifikasyonun belirlenmesi için; öncelikle 1 mg/mL örnek bir endorf tüp içerisinde % 96'lık etanol ile seyreltilmiştir. Hazırlanan numunenin sonikatörde iyice karışması sağlanmıştır. Karışma tamamlandıktan sonra her örnekten karbon kaplı ızgara (grid) üzerine yüzeyi tamamen kaplayacak şekilde 5  $\mu\text{L}$  damlatılmıştır. Damlatma esnasında kullanılan pipet ucu ızgara yüzeyine değdirilmemelidir. Numuneler tam olarak kuruyana kadar beklenmiş ve analizi yapılmıştır. Analiz, Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uyg. Ve Arş Merkezi (MATAL) bünyesinde Thermo Scientific Apreo S yüzey analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

### **Floresans Spektroskopisi Analizi**

$\text{TiO}_2$  nanokompozitlerinin Floresans Spektroskopisi analizi için; 190  $\mu\text{L}$  etanol ve 10  $\mu\text{L}$  çözeltiden alınarak cihazın ölçüm bölmesine konmuştur. Cihaz 190-860 nm arasında uygun dalga boyunu belirlemektedir. Önce spektrum taraması daha sonra floresans taraması yapılmıştır.  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  ve  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si}$  nanokompozitlerin floresans spektroskopisi analizi için; her iki örnek için de farklı konsantrasyonlarda 2 ayrı endorf tüpe 2 ayrı örnek hazırlanmıştır. 1. endorf tüpe 190  $\mu\text{L}$  etanol ve 10  $\mu\text{L}$  çözelti, 2. endorf tüpe 199  $\mu\text{L}$  etanol ve 1  $\mu\text{L}$  çözelti konmuştur. Daha sonra hazırlanan 4 ayrı endorf tüpteki örneklerden pipetle 200 mikrolitre alınarak ölçüm için okuyucuya yerleştirilmiştir. Analiz, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde Hücre Kültürü Labaratuvarı'nda bulunan

Multimode Mikropilaka Okuyucu (Thermo Varioscans Flash) Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

### **HPLC Analizi**

Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) (Shimadzu SCL-10AVP) cihazında Nucleodur 100-5 C18 RP-C18 (250 x 4,6mm I.D.) (Macharey – Nagel) kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir sentez aşamasının karakterizasyonu yapılmıştır. Her bir örnek için 1 mg/1 mL asetonitril olacak şekilde çözelti hazırlanmıştır. Otomatik örnekleme yardımcıyla kolona 10 µL örnek enjekte edilerek analizler yapılmıştır.

### **<sup>99m</sup>Tc ile Radyoşartleme**

<sup>99m</sup>Tc ile işaretleme için öncelikle Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-HLP ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-ALP çözeltilerimiz dietilentriamin pentaasetik asit (DTPA) ile şelatlanmıştır. 0.1 M DTPA çözeltisi hazırlamak için 0.039 g DTPA hassas terazide tartılarak bir ependorf tüp içerisine alınmıştır. Daha sonra üzerine 1 mL saf su ve 50 µL Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-HLP eklenerek 1 saat ultrasonik banyoda tutulmuştur. 10 mg SnCl<sub>2</sub> tartılarak 1 mL 10<sup>-3</sup> M HCl ile vorteksenerek çözünmesi sağlanmıştır. Hazırlanan DTPA şelatlı çözeltimizden 100 µL alınarak 50 µL SnCl<sub>2</sub> çözeltisi ile karıştırılmıştır. Ayrı bir ependorf tüpe indirgenmiş teknesyum (ind. <sup>99m</sup>Tc) olarak kullanmak için 50 µL SnCl<sub>2</sub> alınmış ve bu iki ependorf tüpe de 98 µL <sup>99m</sup>Tc eklenmiştir. Süspansiyon oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiştir. Reaksiyon sonrası radyokimyasal saflık, ince tabaka radyokromatografisi ve yüksek performanslı sıvı radyokromatografisi kalite kontrol yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. TLC Scanner (Bioscan AR2000) cihazında ölçümler yapılmıştır.

### **Radyoşartli Örneklerin Kalite Kontrol İşlemleri**

#### **İnce Sıvı Radyokromatografisi (TLRC)**

Radyoşartli örneklerin TLRC ile kalite kontrolünde sabit faz olarak selüloz kaplı plastik şeritler 1x10 cm' lik şeritler halinde kesilmiştir. Hazırlanan şeritlerin başlangıç noktasından 0.5 cm üzerine mikropipet ile (2 µL) örnekler damlatılıp, kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan TLC kağıtları, içerisinde 20 mL serum fizyolojik (SF) ve Piridin-Asetik Asit-Su (3:5:1,5) (PAS) çözeltisi bulunan tanklara yerleştirilmiştir. Çözgen yaklaşık 8-9 cm ilerledikten sonra şeritler çıkarılıp yürüme mesafeleri işaretlenip oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. Muhtemel kontaminasyonları önlemek amacıyla TLC kâğıtlarının her iki yüzeyi bir bant yardımcıyla kaplanmıştır. Radyokromatogramlar Bioscan-AR2000 cihazı ile alınmıştır. Kromatogramlardan yararlanarak <sup>99m</sup>Tc-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Si-HLP örneğinin taşındığı R<sub>f</sub> değerleri ve işaretleme verimleri belirlenmiştir.

## **Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)**

Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi Shimadzu (LC-10ATvp quaternary pump, autosampler sampler (SIL-20A HT) cihazında  $^{99m}\text{Tc}$  ile işaretlenen  $^{99m}\text{Tc-Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-HLP}$ ,  $^{99m}\text{Tc-Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-ALP}$  örneklerinin analizi yapılmıştır. Inertsil C-18, ODS-3 4.6x250 mm, GL Sciences Inc. 5  $\mu\text{m}$  kolon, UV ve AD2 dedektörleri kullanılmıştır. Mobil faz için ACN % 8, TFA-H<sub>2</sub>O % 0.15 çözeltisi hazırlanmıştır. Akış hızı 1 mL/min, dalga boyları 280 nm-320 nm ve sıcaklık 26°C'dir.

## **Stabilite**

Bu çalışma  $^{99m}\text{Tc}$  ile işaretli  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-HLP}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2\text{-Si-ALP}$  örneklerinin stabilitesini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. İşaretli örnekler 0, 60, 120, 240 ve 360. dakikalarda radyo işaretli örneklerin işaretleme verimi SF (20 mL) banyo çözeltisi kullanılarak ince tabaka kromatografisi (TLRC) ile tespit edilmiştir.

## **Bulgular**

### **Sentezlenen $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$ Nanokompozit ve Türevlerinin Karakterizasyonuna İlişkin Bulgular**

#### **FTIR Yapı Analizi Sonuçları**

O-H ve N-H titreşim bandı 3324  $\text{cm}^{-1}$ 'de geniş bir band göstermektedir (Niu et al., 2014; Vinosel et al., 2017). 2973  $\text{cm}^{-1}$ 'de nanokompozitler ile koordine H-O-H un titreşim bandı aralıdır. 1379  $\text{cm}^{-1}$ - 1390  $\text{cm}^{-1}$  civarında ve 585  $\text{cm}^{-1}$  spektrum Fe-O gerilmesine ilişkin zayıf bantları göstermektedir (Quy et al., 2013).  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerin FTIR spektrumunda 631  $\text{cm}^{-1}$  de Ti-O bağına ilişkin gerilme titreşimleri görülmektedir. Hidroksil grubuyla sarılı  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yüzeyleri  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ve  $\text{TiO}_2$  nanokompozitleri arasındaki afiniteyi arttırmaktadır. 1045  $\text{cm}^{-1}$ , 879  $\text{cm}^{-1}$  ve 631  $\text{cm}^{-1}$ 'de de silika nanokompozitlerinin (Si-O-Si) gerilmelerine alt olan pikler mevcuttur.

#### **DLS Boyut Analizi Sonuçları**

Sentezlenen  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozit ve türevlerinin parçacık boyutu Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda Malvern Nano-ZS DLS (Dynamic Light Scattering) cihazı analizi ile incelenmiştir. Bulunan çaplar parçacığın etrafındaki çözgen molekülleri ile birlikte olduğundan değerler bize hidrodinamik çapı vermektedir. DLS tekniği ile ölçümü sonucunda elde edilen boyut dağılımı oleik asitte dağılmış olan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerin hidrodinamik çapı 38.64 nm ve polidispersite indeksi de 0,410 olarak kaydedilmiştir. Silikalı ve silanlı  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerinin DLS tekniği ile ölçümü sonucunda elde edilen boyut dağılımı ise oleik asitte dağılmış olan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerinin hidrodinamik çapının 573.8 nm ve

polidispersite indeksi de 0.242 olarak vermiştir. Ölçüm sonucunda silikalama ve silanlama işleminin nanokompozitlerin boyutunu arttırdığı gözlenmektedir.

$Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitlerin da floresans gösterdiği ve optimum eksitasyon dalga boyu 250 nm, optimum emisyon dalga boyu 316 nm olarak bulunmuştur. Ölçüm sonucunda silikalı ve silanlı  $Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitlerin ( $Fe_3O_4@TiO_2-Si$ ) optimum eksitasyon dalga boyu 250 nm, optimum emisyon dalga boyu 314 nm bulunmuştur.

### **Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) Sonuçları**

Sentezi yapılan heksahidrolupulon (HLP), asetolupufenon (ALP) ve silikalı ve silanlı  $Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitlerin ( $Fe_3O_4@TiO_2-Si$ ) HPLC analizler sonucunda örneklerin alıkonma zamanları yeterince ayrıldıklarını ve yeterli saflıkta olduklarını göstermektedir.

### **Radyoşaretli Örneklerin TLRC Analiz Sonuçları**

İşaretlenen  $^{99m}Tc-DTPA-Fe_3O_4@TiO_2-Si-HLP$  örneğinin kalite kontrolü TLRC yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizde mobil faz olarak SF ve PAS (3:5:1.5) banyoları denenmiş olup en iyi ayırım SF banyosunda gözlenmiştir. Sabit faz için ise selüloz kaplı TLRC şeriti kullanılmıştır.  $^{99m}Tc-Fe_3O_4@TiO_2-Si-HLP$ , indirgenmiş  $^{99m}Tc$  ve  $^{99m}Tc$  örneklerinin TLRC sonuçları DTPA'nın  $^{99m}Tc$ 'i  $Fe_3O_4@TiO_2-Si-HLP$ 'ye bağlamak için iyi bir bağlayıcı olduğunu ve işaretlemenin %100 gerçekleştiği göstermektedir.

### **Lipofilite Sonuçları**

$^{99m}Tc-Fe_3O_4@TiO_2-Si-HLP$  ve  $^{99m}Tc-Fe_3O_4@TiO_2-Si-ALP$  örneklerinin lipofilite deneyi için 3 deneme yapılmıştır. Bunun sonucunda, her iki örnek için de deneysel lipofilite (logP) değerleri  $-0.75\pm 0.02$  olarak bulunmuştur. Bu değer örneklerin hidrofilik yapısını kanıtlamıştır.

### **Stabilite Sonuçları**

$^{99m}Tc-Fe_3O_4@TiO_2-Si-HLP$  ve  $^{99m}Tc-Fe_3O_4@TiO_2-Si-ALP$  örneklerinin 6 saat boyunca, oda sıcaklığında ve serum fizyolojik (SF) banyosunda kararlılıkları gözlenmiştir. Stabilite sonuçlarına göre oda sıcaklığında  $^{99m}Tc$  işaretli örnekler 6 saat boyunca kararlılığını korumuştur.

## **5. SONUÇ ve ÖNERİLER**

Bu çalışmada, fotodinamik terapi ve MRI (Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme) kontrast ile görüntüleme özelliklerini bir arada taşıyan yeni bir teranostik ajan sentezlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda  $Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitler sentezlenmiş ve yapının yüzey modifikasyonu 3-aminopropil trietoksisilan (APTES) ile kaplanarak fonksiyonlanmış  $Fe_3O_4@TiO_2$  nanokompozitler antikanser potansiyeli

arttırmak için lupulon türevleri (heksahidrolupulon ve asetolupufenon) ile konjuge edilmiştir. DTPA şelatlayıcı kullanılarak da  $^{99m}\text{Tc}$  ile radyoışaretlenmiştir.  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerin FTIR ile karakteristik bağları belirlenmiştir. Nanokompozitlerin boyut dağılımı için dinamik ışık saçılımı, optik özellikleri ve floresans şiddetleri için floresans spektroskopisi ve yüzey özellikleri ve boyut analizleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Sentezlenen  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  nanokompozitlerin yaklaşık 40 nm çapında olduğu gözlenmiştir.  $^{99m}\text{Tc}$  ile radyoışaretlenen nanokompozitlerin kalite kontrolü, HPLRC ve TLRC yöntemleri kullanılarak yapılmış ve verim değeri hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Brigger, I., Dubernet, C. & Couvreur, P.** (2002) Nanoparticles in cancer therapy and diagnosis, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54(5), 631-651.
- Campo, A., Sen, T., Lellouche, J. P. & Bruce, I. J.** (2005) Multifunctional Magnetite and Silica–Magnetite Nanoparticles: Synthesis, Surface Activation and Applications in Life Sciences, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 293, 33–40.
- Dawson, G., Chen, W. & Zhang, T.** (2010) A study on the effect of starting material phase on the production of trititanate nanotubes, *Solid State Sci*, 12, 2170–2176.
- Glaus, C., Rossin, R., Welch, M. J. & Bao, G.** (2010) In vivo evaluation of  $^{64}\text{Cu}$ -labeled magnetic nanoparticles as a dual-modality PET/MR imaging agent, *Bioconjugate Chemistry*, 21(4), 715-722.
- Gupta, S.M. & Tripathi, M.** (2011) A review of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles, *Chinese science Bulletin*, 56(16) 1639–1657.
- Niu, H., Wang, Q., Liang, H., Chen, M., Mao, C., Song, J., Zhang, S., Gao, Y. & Chen, C.** (2014) Visible-Light Active and Magnetically Recyclable Nanoparticles for the Degradation of Organic Dye, *Materials*, 7, 4034-4044.
- Quy, D. V., Hieu, N. M., Tra, P. T., Nam, N.H., Hai, N. H., Son, N. T., Nghia, P. T., Anh, N. T. V., Hong, T. T. & Luong, N. H.** (2013) Synthesis of Silica-Coated Magnetic Nanoparticles and Application in the Detection of Pathogenic Viruses, *Journal of Nanomaterials*, Article ID 603940, 6p.
- Toksöz, F., Ünak, P., Medine, E. İ., Sakarya, S., Ünak, G. & Timur, S.** (2013)  $^{18}\text{F}$ FDG Conjugated Magnetic Nanoparticle Probes: Synthesis and In Vitro Investigation on MCF7 Breast Cancer Cells, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295(3) 1789-1796.
- Tyrrell, E., Archer, R., Tucknott, M., Colston, K., Pirianov, G., Ramanathan, D., Dhillon, R., Sinclair, A. & Skinner, G.A.** (2012)

The synthesis and anticancer effects of a range of natural and unnatural hop b-acids on breast cancer cells, *Phytochemistry Letters*, 5, 144–149.

**Unak, P., Tekin, V. & Güldü, O. K.** (2018)  $^{89}\text{Zr}$  Labeled  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  Nanoparticles, 4th International Symposium on Composite Materials (KOMPEGE 2018), proceeding Book 822-833p, Sözlü Bildiri No O-199, 6-8 Eylül 2018, İzmir-Türkiye.

**Vinosel, V. M, Janifer, M. A, Anand, S. & Pauline, S.** (2017) Structural and Functional Group Characterization of Nanocomposite  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  and Its Magnetic Property, *Mechanics, Materials Science & Engineering*, April 2017 – ISSN 2412-5954).

# A NUMERICAL INVESTIGATION FOR THE ELECTRON CLOUD BUILD-UP MECHANISM

**Fatih YAMAN\***

*Izmir Institute of Technology, Engineering Faculty, Dept. of Electrical & Electronics Eng., fatihyaman@iyte.edu.tr*

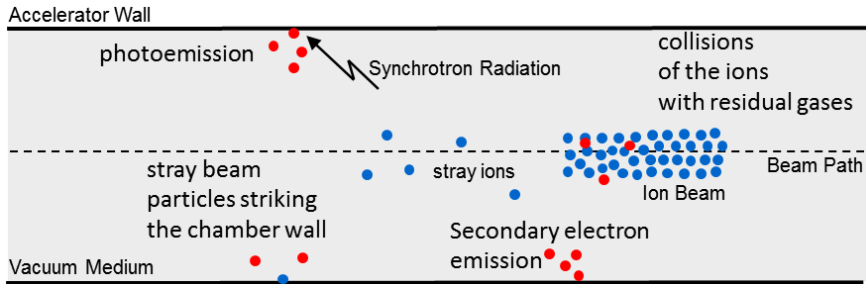
**Abstract:** The aim of this study is to investigate beam pipe material and cross-section size effects on electron cloud build up mechanism. Accordingly, VSim Plasma Discharges and Plasma Acceleration software is employed to perform parallel 2D electrostatic particle in cell (PIC) simulations via a desktop server for a single revolution period. The computational domain is initially loaded with the primary electrons. Space charge and secondary emission yield model effects are included in the computations. The build up time for the stainless steel beam pipe is observed to be significantly shorter and the energy of the electrons are approximately two times larger than copper beam pipe. The larger beam pipe cross section decreases the number of generated electrons in the vacuum chamber. Kinetic energy plots of the electrons for the copper and steel beam pipes after the first bunch pass and at the saturation are presented.

**Keywords:** electron cloud build-up, secondary emission, copper, steel

## **Introduction**

It is a generally accepted view in the literature that the electron cloud is firstly observed in 1965 proton storage ring (PSR) of the INP Novosibirsk (Budker G., Dimov G. & Dudnikov V., 1966) and initial investigations of electron cloud build up modeling and wakefield calculations are studied in KEK photon factory (Ohmi K., 1995). In addition to the wakes electron clouds can cause beam instability, beam loss, emittance growth, trajectory change. Electron clouds consist of the contributions of the primary and the secondary electrons, see Fig.1. The first source of the primary electrons, which are the stray beam particles may hit the accelerator wall and cause electron release. Additionally, photoemissions can happen due to synchrotron radiation, or the collisions of the positively charged particles with the residual gases may generate electrons. Basically, secondary electron emission occur when the primary electrons gain sufficient energy and hit to the pipe walls.





**Figure 1.** Electron Cloud Mechanism

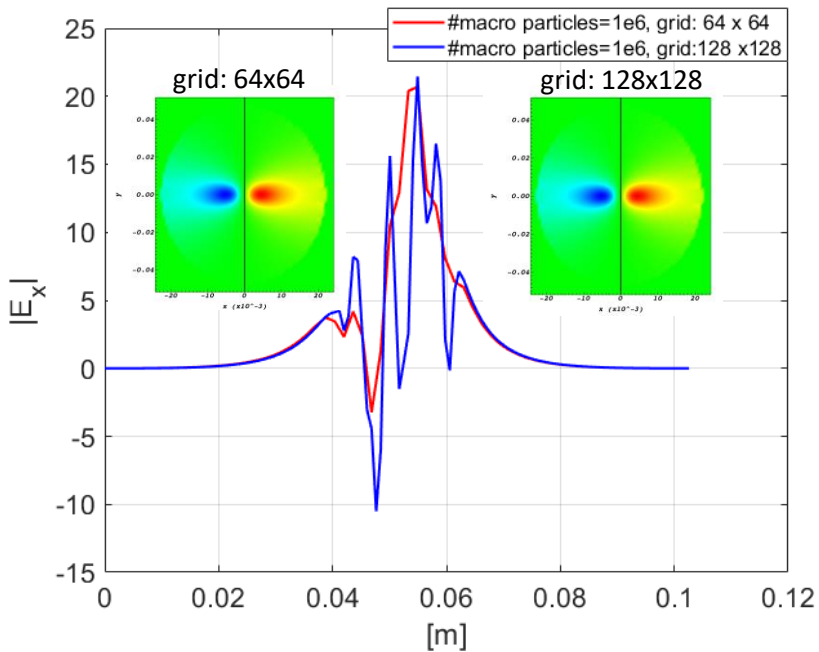
Electron cloud studies can roughly be classified by three groups. First group of studies are devoted to identify the electron cloud build-up. The second group of studies are dealing with the computations of the effects of the electron clouds to the beams. The last group of the studies focus on the suppressing of the electron cloud effects. According to this classification the current work belongs to the first group which focuses on the effect of beam pipe size and material on the electron build-up. To do this FNAL recycler machine and related proton beam parameters are taken into account for the VSim simulations. At this point we note that the current work do not aim to obtain accurate electron cloud build up results for the considered machine but to observe the significance of the beam pipe for the electron cloud mechanism via 2D electrostatic PIC simulations. Accordingly we also assume a copper beam pipe with the larger/smaller cross-sections. We refer (Veitzer, S.A., & Stoltz, P.H., 2015; Veitzer, S.A., & Stoltz, P.H., 2017) for the 3D accurate results of FNAL recycler machine.

**Table 1.** FNAL Recycler Machine and Beam Parameters

Machine Parameters		Beam Parameters	
Energy	~8 [GeV]	bunch spacing	18.94 [ns]
Circumference	3319.4 [m]	bunches per train	84
RF Frequency	52.8 [MHz]	trains per beam	6
pipe minor axis	22 [mm]	bunch length	60 [cm]
pipe major axis	47 [mm]	beam radius	3 [mm]
magnetic field	0.1375 [Tesla]	bunch population	$5.25 \times 10^{10}$

## Numerical Results

In our simulations secondary emission models which presented in (Furman, M.A. & Pivi, M.T.F., 2002) for copper and stainless steel are employed. Additionally physical particles are represented by  $1e6$  macroparticles in the PIC algorithm. For the convergence  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$  and  $128 \times 128$  cartesian grids are tested. The x-component of their electric field at the center of the beam pipe are compared such that the numerical error is found acceptable for  $64 \times 64$  grid in our investigation, see Fig 2. Accordingly for the rest of the study the numerical results are presented for a  $64 \times 64$  cartesian grid mesh.



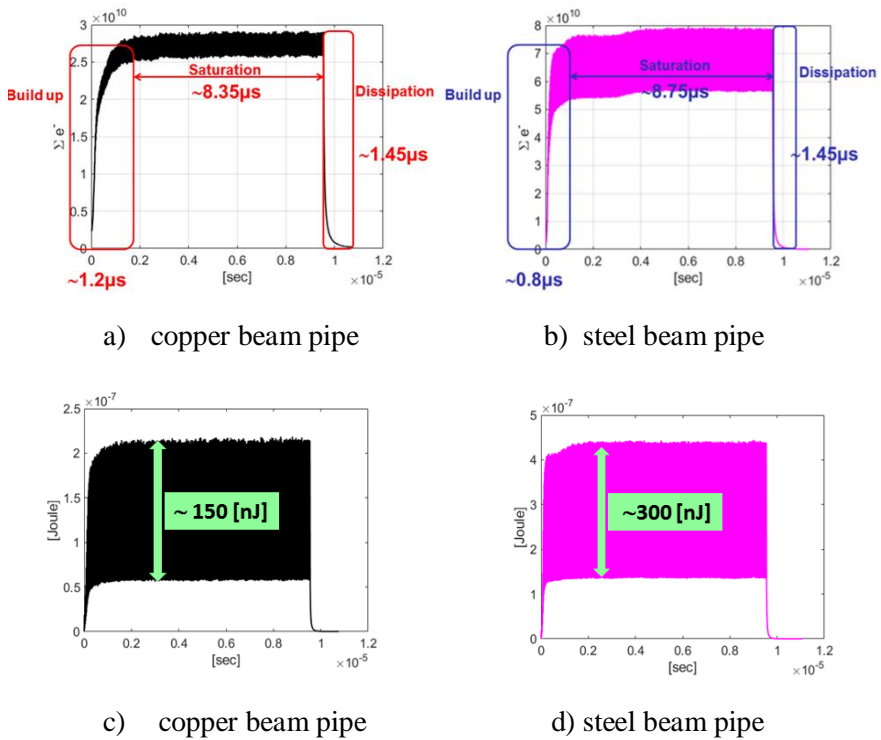
**Figure 2.** Numerical Error for the Copper Beam Pipe Computations

We use time step as  $\sim 2.10e-12$  [sec] and total number of time steps as 5,261,401. The computational domain is initially loaded with primary electrons with density of  $5e12$  [ $e/m^3$ ].

The first numerical experiment is devoted to observe the effect of the beam pipe material on the mechanism. We obtained typical build-up curves both for the copper and steel beam pipes which are illustrated in Fig 3. Initially loaded primary electrons are attracted by the bunch at each pass such that the electrons which move to the center of the beam pipe push the others to different directions with varying energies. Accordingly, the electrons

which could reach the beam pipe with sufficiently high energy emit secondaries. This process repeats for the new bunch pass and electrons oscillate back and forth inside the chamber.

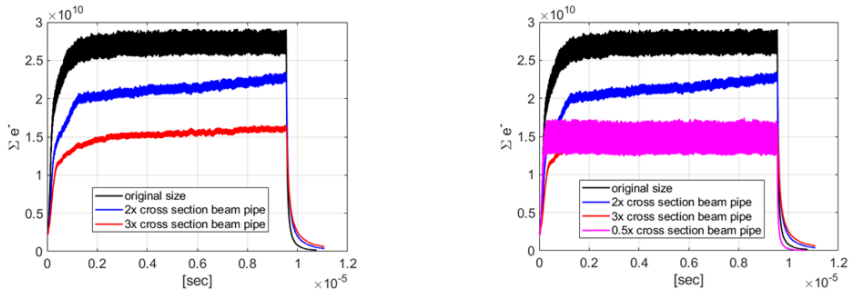
As it can be observed from Fig.3a-b the electron cloud build-up time is shorter for the steel beam pipe ( $\sim 0.8\mu\text{s}$ ) compared to the copper one ( $\sim 1.2\mu\text{s}$ ) though the dissipation times of the electrons are the same for both materials. Furthermore the amount of bouncing secondary electrons in the saturation vary in larger scales for the steel beam pipe ( $\sim 22\text{e}9$ ) which is  $\sim 3.5\text{e}9$  for the copper beam pipe. In the same way the energy of the oscillating electrons is approximately two times larger for the steel pipe, see Fig.3c-d.



**Figure 3.** Number of Electrons (a,b ) and Energy of electrons (c,d)

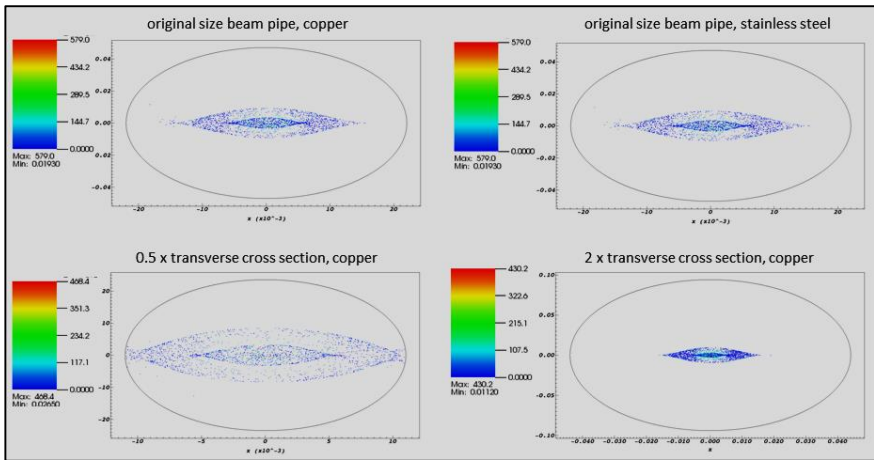
For the second example we consider to scale only the cross section of the copper beam pipe by factor 0.5, 2 and 3. The dimension change in the cross section basically changes the number of initially loaded primary electrons inside the chamber. For instance the initial e-cloud density decreases by factor 4 if we scale the pipe cross section by factor 2. In Fig 4.a the decrease in the number of electrons is illustrated for the larger beam pipes. However

the Fig.4b indicates a reduction of the number of electrons even for a smaller beam radius which could be unexpected. For the smaller beam pipe primary electrons are so dense that they shield the newly-formed secondaries from the beam potential. Therefore their energy do not reach high values to emit electrons. We also observe the amount of total electrons per meter are changing  $\sim 1.5e9$  for the 2x cross section,  $\sim 1e9$  for the 3x cross section and  $\sim 4.5e9$  for the 0.5x cross section.

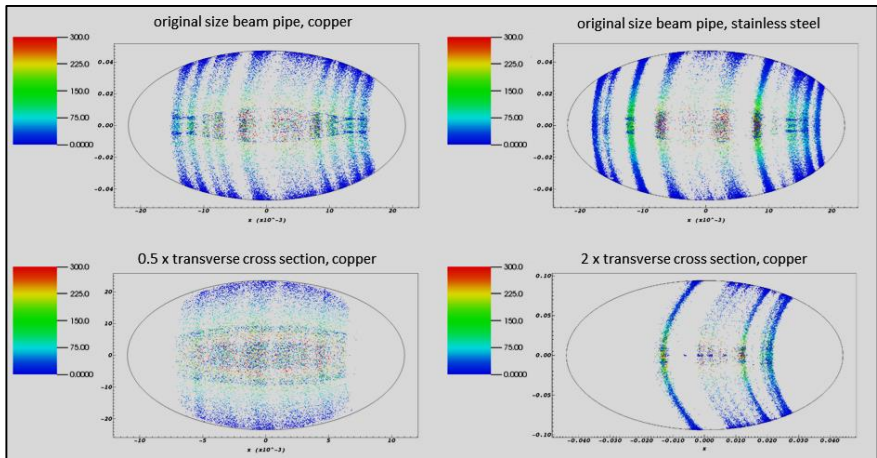


**Figure 4.** Number of electrons for different copper pipe cross sections

We additionally prepared the kinetic energy plots at certain time steps for instance after the first bunch pass at the build-up, Fig. 5 and in the saturation at  $5\mu s$ , Fig 6.



**Figure 5.** Kinetic Energy of Electrons [keV] @18.94ns, build-up regime



**Figure 6.** Kinetic Energy of Electrons [keV] @  $5\mu\text{s}$ , saturation regime

We note that in Fig.6 the colorbar variation is limited between 0-300[keV] for the sake of better visualization. Actually, some of electrons max. energy reach to 856.7[keV] for the original size beam pipe-copper, to 882[keV] for the original size beam pipe-steel, to 585.4[keV] for 0.5x transverse cross section-copper and to 1000[keV] for 2x transverse cross section-copper beam pipes.

## Conclusions

We report the results of electron cloud mechanism for the copper and steel beam pipes for different cross section of the copper pipe. For the FNAL recycler parameters the electron cloud build up time appears shorter for the steel beam pipe. For the steel pipe electrons oscillate in approximately two times larger energy levels and the amount of secondary electrons vary in larger scales. It is shown that decreasing the cross section of the beam pipe can reduce the electron cloud density. Furthermore increasing the cross section of the beam pipe reduces the electron cloud build up. Secondary electrons are formed as stripes in the saturation regime such that their energy is highest at the central region of the beam pipe.

## Acknowledgments

The author thanks to S.A. Veitzer and J. Smith for useful discussions on the topic. The author would like to acknowledge Tech-X Corporation for providing evaluation licence of VSim10.0.0 Plasma Discharges and Plasma Acceleration Software.

## References

Budker, G., Dimov, G. & Dudnikov, V. (1966). Experiments on production of intense proton beam by charge exchange injection method. Proc. Int. Symposium on electron and Positron Storage Rings, Saclay, France rep. VIII, 6.1.

Ohmi, K. (1995). Beam-Photoelectron Interactions in Positron Storage Rings. *Phy. Rev. Letters*, 75(8), 1526-1529.

Veitzer, S.A., & Stoltz, P.H. (2015). Electron Cloud Buildup and Dissipation Models for PIP-II. 6th Int. Particle Accelerator Conference IPAC2015, 2015, 626-628.

Veitzer, S.A., & Stoltz, P.H. (2017). Modeling electron cloud dynamics in high frequency accelerators. AIP Conference Proceedings 1812, 050003, 1-5.

Furman, M.A. & Pivi, M.T.F.(2002). Probabilistic model for the simulation of secondary electron emission. *Phys. Rev. Spec. Topics-Acc.and Beams (PRAB)*, 5, 124404, 124404, 1-18.

# <sup>99m</sup>Tc İŞARETLİ HPG (ÇOKDALLANMIŞ POLİGLİSEROL) ÇOK FONKSİYONLU GÖRÜNÜLEME PROBU

## <sup>99m</sup>Tc LABELED HPG (HYPERBRANCHED POLYGLYCEROL) MULTIMODAL IMAGING PROBE

Sibel AY\* & Volkan YASAKÇI\* & Perihan ÜNAK\*

\*Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı, sbly.3526@gmail.com; volkanyasakci@gmail.com; Perihan.unak@gmail.com

**Öz:** Bu çalışmada, SPECT/Floresan (<sup>99m</sup>Tc-SPECT/FL) çok fonksiyonlu diagnostik ajanların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle, doğal yapısı, işlevselliği açısından çok yönlülük ve mükemmel biyouyumluluk profilleri nedeniyle hiperdallanmış poligliseroller anyonik halka açılma polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. Polimerin işlevselleştirilmesi için süksinik anhidrit kullanılmıştır. Floresans görüntülenmesi için indosiyanın yeşili (ICG) HPG' ye bağlanmıştır. Bunun sonucu bağlanma verimi %73,59 olarak bulunmuştur. Şelatlayıcı ajan olarak ise deferoxamin seçilmiş ve süksinat ile fonksiyonlaştırılmış (SS-HPG) HPG' ye bağlanmıştır. HPG, SS-HPG, HPG-ICG-DFO örneklerinin yapısal karakterizasyonları fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile belirlenmiştir. HPG' nin molekül ağırlığı tayini ise yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiş ve 6800 Da olarak bulunmuştur. Yapısal özellikleri dinamik ışık saçılımı (DLS), taramalı uç mikroskobu (SPM) ile belirlenmiştir. Radyoişaretleme [<sup>99m</sup>TcO<sub>4</sub>] ile gerçekleştirilen örneklerin kalite kontrolü, HPLRC ve TLRC analizleri ile doğrulanmıştır. Stabilite deneyi sonucu işaretli örnekler 6 saat boyunca kararlılıklarını korumuşlardır.

Sonuçlar, floresan ve radyonüklid işaretli HPG örneklerinin, SPECT / Floresan (<sup>99m</sup>Tc-SPECT / FL) çok fonksiyonlu görüntüleme ajanları olarak umut verici bir araçlar olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** HPG, poligliserol, çok fonksiyonlu görüntüleme probu, <sup>99m</sup>Tc, SPECT

**Abstract:** In this study, it was aimed to develop SPECT / Fluorescent (<sup>99m</sup>Tc-SPECT / FL) multifunctional diagnostic agents. For this reason, hyperbranched polyglycerol has been synthesized by anionic ring opening polymerization due to their global nature, functionality in terms of versatility and excellent biocompatibility profiles. Succinic anhydride was used for the functionalization of the polymer. Indocyanine green (ICG) is bound to HPG for fluorescence imaging. As a result, the binding efficiency was found to be 73.59%. Deferoxamine was selected as the chelating agent and linked to succinate functionalized (SS-HPG) HPG. The structural characterizations of HPG, SS-HPG, HPG-ICG-DFO samples were determined by fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The molecular weight determination of HPG was

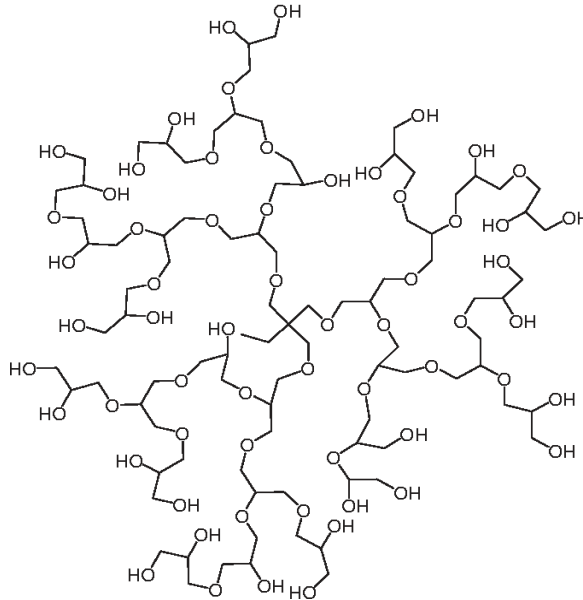
determined by high pressure liquid chromatography (HPLC) and found to be 10,371 Da. The structural properties were determined by dynamic light scattering (DLS), scanning probe microscopy (SPM). Structural properties of dynamic light scattering (DLS) were determined by scanning end microscopy (SPM). Radiolabeling the quality control of samples with  $^{99m}\text{Tc}$  was confirmed by HPLRC and TLRC analysis. Stability test results were stable for 6 hours.

The results showed that fluorescent and radionuclide labeled HPG samples showed may be a promising tool as SPECT / Fluorescent ( $^{99m}\text{Tc}$ -SPECT / FL) multifunctional diagnostic agents.

**Key words:** Multifunctional imaging probe, RBC,  $^{99m}\text{Tc}$ , SPECT, HPG

## 1. GİRİŞ

Hiper dallanmış poligliseroller (HPG), unimoleküler nanopartiküller oluşturan yüksek ve rastgele dallanmış polimerlerdir. Anyonik halka açılı çok dilli yoluyla sentezlenen HPG'ler bir başlatıcı olarak trimetilolpropan (TMP) kullanılarak glisidolün polimerizasyonu ile ilk olarak Sunder ve arkadaşları tarafından bildirilmiştir (Sunder et al., 1999) . Nispeten basit "tek potlu" sentez, moleküler ağırlık üzerinde iyi kontrol, dar polidispersite ve modifiye edilebilirlik bu sentezin cazip özellikleri arasındadır. Alkil ( $\text{C}_8 /_{10}$ ) gibi çeşitli fonksiyonel gruplara sahip HPG'ler, çekirdeğe ve metoksi polietilen glikol (MePEG) yüzeyine zincirlenirler (Ye, 2011).



Şekil 1 HPG'nin yapısı



Onkolojik tanıda SPECT ve PET'den SPECT ve PET/BT'ye oradan PET/MR olan sıçramalarda sıra SPECT ve PET radyofarmasötiklerinin multimodal hale getirilerek fonksiyonel ve metabolik karakterizasyon yeteneğinin artırılmasındadır. SPECT görüntüleme modüllerini FL ile birleştirerek çok modüllü görüntüleme sistemi haline getirmenin pek çok avantajı vardır. SPECT/FL görüntüleme iyi kaliteli klinik kontrast ajanları düşük toksisite, hastalığı göstermede daha yüksek uzaysal çözünürlük ve uzun zamansal çözünürlük, izleyici kullanımında kolaylıklar sağlar (Tsien, 2003; Nguyen and Tsien, 2013). Her iki modül de histolojik olarak ve yüzeysel olarak birbirini tamamlar. Floresan proplar hızla bozulan PET proplardan farklı olarak kararlı iken, PET derin dokudaki invazif olmayan kantitatif yapısal çözünürlüğü nedeniyle FL'den üstündür. Bu nedenlerle PET/FL proplar tek başına PET veya FL kontrast ajanlara göre çok daha iyidir. PET/FL prop geliştirme yenilikçi bir konudur. Halen klinikte çok modüllü uygulamalarda kullanılabilecek FDA tarafından onaylanmış bir prop yoktur.

## **Yöntem**

### **HPG (Hiperdallanmış Poligliserol) Sentezi**

Anyonik halka açılı çok yönlü yöntem kullanılarak, glisidolün polimerizasyonu HPG sentezi gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon, mekanik karıştırıcı ile 3 boyunlu balonda gerçekleştirilmiştir. Bir boyundan reaktif girişi, diğer boyundan gaz geçişi ve sıcaklık ölçümü yapılmıştır. 0,187g TMP (Trimetilpropan) gaz altında balona eklendi. %20'lik potasyum metilat çözeltisi hazırlanıp balona ilave edilip, karışım 15 dakika manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Ardından 20 mL susuz dioxane ilave edilmiştir. Karışım, sıcaklık 95°C'ye gelene kadar yağ banyosunda tutulmuştur. Şırınga pompası ile 25 mL glisidol 8 saat boyunca damla damla ilave edilmiş ve karışım gece boyu karıştırıcıda karıştırılmıştır. Nötralizasyon işlemi için 3 adet Dowex 50Wx8 katyon değişim reçinesi içeren 5mL'lik enjektör hazırlanıp, örnek metanolde çözüldükten sonra reçineden geçirilerek nötralize edilmiştir.

Aseton eklenerek çökmesi beklenen karışım yaklaşık 5 saat karıştırılmıştır. Metanol ve aseton uçtuktan sonra, beherin çeperlerindeki çökelti metanolde çözdürülüp oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Polimerin diyalizi için, selüloz asetat diyaliz tüpü kullanılarak 3 gün boyunca suya karşı işlem gerçekleştirilmiştir. Diyaliz işlemi tamamlanan örnek donması için -20°C'de gece boyu bekletilmiştir. Donan örnek vakumla kurutulmak üzere liyafilizatöre koyulmuş ve kuru polimer elde edilene kadar liyafilizatörde 6 gün bekletilmiştir (Kainthan et al., 2006).

### **HPG' nin Süksinidimil Süksinat ile Fonksiyonlaştırılması**

Polimerler süksinik anhidrit ile COOH asit fonksiyonlaştırılmak üzere; ilk olarak sentezlenen liyofilize HPG 45 mL metanolde çözündürülmüştür. 250 mL yuvarlak dipli balonda 90 °C'de gaz altında kurutulmaya bırakılmıştır (6 saat boyunca). Kurutulmuş HPG 3 mL kuru piridinde çözüldükten sonra kataliz için yetecek miktarda dimetilaminopiridin (5 mg/ml piridin çözeltisinde 1 damla) ilave edilmiştir. Bu karışıma 0,5 mL piridinde çözülmüş 0,0067 g süksinik anhidrit 10 dakika içinde damla damla eklenmiş ve karışım oda sıcaklığında, aynı zamanda gaz geçirilerek karışmaya bırakılmıştır (6 saat boyunca). Polimer çözeltisine 40 mL soğuk aseton ilave edildikten sonra homojen karışım elde etmek için ultrasonik banyoya konulmuştur. 50 mL falconda 15 dakika 10000 rpm'de santrifüjlenerek çöktürülmüştür. Aseton dekante edilip geri kalan aseton argon ile uçurularak uzaklaştırılmıştır. Karboksi gruplarını SS grupları ile aktive etmek için 3 mL susuz DMF (dimetilformamid) de çözülmüştür. 0,0077 g N-hidroksisüksinimid ve 10 µL diizopropilkarbodiimid çözeltiye eklenmiş ve gaz geçirilerek 5 saat boyunca karışıma bırakılmıştır (Chapanian et. al., 2012).

### **HPG' ye ICG (Indosiyanın Yeşili) Bağlanması**

Bu işlem için öncelikle 1 mg/mL ICG sulu çözeltisi hazırlanmıştır. 4 mg SS-HPG maddesine 40 µL ICG sulu çözeltisi eklenip manyetik karıştırıcı yardımıyla 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Bağlanmamış ICG molekülü 10000 rpm'de 10 dakika boyunca ultrasantrifüjleme ile uzaklaştırılmıştır. Bağlanmayan kısım ayrılıp geri kalan çözelti saf su ile yıkanmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmış ve bağlanan kısım için 3 örnek alınmıştır. Bağlanma verimini tespit etmek amacıyla Multimode Mikroplaka Okuyucu (Thermo Varioscan Flash) cihazı ile örneklerin adsorbans değerleri ölçülmüştür.

### **HPG' nin Deferoxamin ile Şelatlanması**

Şelatasyon işlemi için deferoxamin-mesilat kullanılmıştır. 4 mg HPG-COOH-ICG maddesi için 4 mg DFO (Deferoxamin) kullanılmıştır. Bu karışımın üzerine 0,007 g EDC (1-Etil-3-(3-Dimetilaminopropil)-Karbodiimid) 0,0115 g NHS(N-Hidroksisüksinimid) eklenip ve 15 dakika oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Karışım sonunda 1,4 µL merkaptoetanol, 0,40 g MES tamponu ve 0,058 g NaCl karışıma ilave edilmiştir. Elde edilen çözelti PBS (fosfat tamponu) ile 2 mL' ye tamamlanmış ve 2 saat oda sıcaklığında karışmaya bırakılmıştır. Çözeltiye 10000 rpm' de 10 dakika santrifüj işlemi uygulanmıştır. Oluşan üst faz dekante edilip PBS ile yıkanmış ve bu işlem 2 kez tekrar edilmiştir. Sonuçta oluşan çökelti 10 mL metanolde çözülmüştür. Karakterizasyon ve kalite kontrol işlemleri için bu çözelti kullanılmıştır.

## **Sentezlenen HPG' nin Karakterizasyon Çalışmaları**

### **FTIR ile Yapı Analizi**

HPG, SS-HPG ve HPG-ICG-DFO Perkin-Elmer Spectrum Two IR spektrofotometresi (ATR (Attenuated Total Reflection) ile yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları yorumlanarak sentezlenen maddeler literatür bilgileriyle karşılaştırılmıştır.

### **DLS ile Boyut Analizi**

HPG, SS-HPG ve HPG-ICG-DFO' nun parçacık boyutu analizi için, katı formda olan 1 mg HPG ve SS-HPG örnekleri 2 mL metanolde çözülmüştür. Ardından hazırlanan çözeltilerden ve metanolde çözülmüş halde olan HPG-ICG-DFO örneğinden 600 µL ölçüm yapılacak küvet içerisine alınmıştır. Analiz, 3 tekrarlı olarak Malvern Nano-ZS DLS (Dynamic Light Scattering) cihazı ile incelenmiştir.

### **HPLC Analizi**

Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) (Shimadzu SCL-10AVP) kullanılarak sentezlenen HPG'nin molekül ağırlığı tayini yapılmıştır. HPG 1 mg/2mL metanol olacak şekilde çözelti hazırlanmıştır. Otomatik örnekleyici yardımıyla kolona 10 µL örnek enjekte edilerek analizi yapılmıştır. PSS Proteema analytical 100 A, 8x300 mm, 5 µm kolon ve refraktif index (RI) dedektörü kullanılmıştır. Mobil faz için 0,1M 1L KNO<sub>3</sub> çözeltisi hazırlanmıştır (Ye et. al., 2011). İki enjeksiyon yapılmış ve ikisinde de uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kalibrasyon eğrisinin çizilmesi için gerekli olan protein standartları belirlenmiş ve bunun için 44000, 35000, 17600 ve 12000 molekül ağırlıklarına sahip proteinler seçilmiştir. Enjeksiyon için her bir proteinden, 1 mg / 2 mL ultra saf su çözeltileri hazırlanmıştır.

### **<sup>99m</sup>Tc ile Radyoışaretleme**

10 mg SnCl<sub>2</sub> tartılıp, 1 mL 10<sup>-3</sup> M HCl ile vortekte çözünmesi sağlanmıştır. 100 µL DFO ile konjuge edilmiş örnek çözeltisi alınmış ve 50 µL SnCl<sub>2</sub> çözeltisi ile karıştırılmıştır. 0,1 M NH<sub>3</sub> sulu çözeltisi ile pH 7'ye ayarlanmıştır. Aktivitesi 1 mCi olacak şekilde <sup>99m</sup>Tc, indirgenmiş [<sup>99m</sup>TcO<sub>4</sub>] ve HPG'nin bulunduğu ependorflara eklenmiştir. Süspansiyon oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon sırasında SF (20 mL) ve piridin-asetik asit-su (3:5:1,5) banyoları hazırlanmıştır. İnkübasyon işleminden sonra radyoaktif örneklerden mikro pipet yardımıyla 2'şer µL alınıp şeritler halinde kesilmiş (0.1-5 mm) selüloz TLC kağıtlarının uygulama noktasına tek seferde damlatılmış ve TLRC banyo çözeltilerini içeren tanklara yerleştirilmiştir. Tanklardan çıkarılan ve kurutulan örneklerin olası kontaminasyonunu önlemek için dış yüzeyi

yapışkan bir bantla kaplanmıştır. Reaksiyon sonrası radyokimyasal saflık, ince tabaka radyokromatografisi (TLRC) ve yüksek performanslı sıvı radyokromatografisi (HPLRC) kalite kontrol yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. TLC Scanner (Bioscan AR2000) cihazında ölçümler yapılmıştır.

## **Radyoşaretli Örneklerin Kalite Kontrol İşlemleri**

### **İnce Sıvı Radyokromatografisi (TLRC)**

Radyoşaretli örneklerin TLRC ile kalite kontrolünde sabit faz olarak ITLC-SG selüloz kaplı plastik şeritler 1x10 cm' lik şeritler halinde kesilmiştir. Hazırlanan şeritlerin başlangıç noktasından 0.5 cm üzerine mikropipet ile (2 µL) örnekler damlatılıp, kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan TLC kağıtları, içerisinde 20 mL SF çözeltisi bulunan tanklara yerleştirilmiştir. Çözgen yaklaşık 8-9 cm ilerledikten sonra şeritler çıkarılıp yürüme mesafeleri işaretlenip oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. Muhtemel kontaminasyonları önlemek amacıyla TLC kâğıtlarının her iki yüzeyi şeffaf bantla kaplanmıştır. Radyokromatogramlar Bioscan-AR2000 cihazı ile alınmıştır. Kromatogramlardan yararlanarak  $^{99m}\text{Tc}(\text{HPG-ICG-DFO})$  örneğinin taşındığı  $R_f$  değerleri ve işaretleme verimleri belirlenmiştir.

### **Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi (HPLC)**

Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) (Shimadzu SCL-10AVP) cihazında GPC (Gel Permeation Chromatography) kolonu kullanılarak  $[\text{}^{99m}\text{TcO}_4]^-$  ile işaretlenmiş HPG-ICG-DFO örneğinin analizi yapılmıştır. İşaretli örnekler, 30 dakika inkübasyondan sonra otomatik örnekleme yardımıyla kolona 60 µL enjekte edilerek analizi yapılmıştır. Aynı koşullarda  $[\text{}^{99m}\text{TcO}_4]^-$  ve indirgenmiş  $^{99m}\text{Tc}$  ve inaktif HPG-ICG-DFO örneklerinin analizleri yapılmıştır. Elde edilen kromatogramlar karşılaştırılıp yorumlanmıştır. PSS Proteema analytical 100 A, 8x300 mm, 5 µm kolon, refraktif index (RI), UV ve AD2 dedektörleri kullanılmıştır. Mobil faz için 0,1M 1L  $\text{KNO}_3$  çözeltisi hazırlanmıştır.

### **Lipofilite**

$[\text{}^{99m}\text{TcO}_4]^-$  ile işaretlenmiş HPG-ICG-DFO örneğinin lipofilite tayini n-oktanol/su sisteminde gerçekleştirilmiştir. Bunun için 3mL n-oktanol, 3 mL su bulunan tüpe 50 µL işaretli örnek eklenmiş ve 5 dakika oda sıcaklığında karıştırıldıktan sonra 2500 rpm'de 30 dakika santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj sonrasında alt faz (su) ve üst fazdan (oktanol) 500 µL ayrı ependorflara alınıp aktiviteleri Cd(Te) dedektörlü RAD501 tek kanallı sayıcıda sayılmıştır.  $n_{\text{oktanol}}$ 'ün  $n_{\text{su}}$ 'ya oranı ile log P ( $\log(n_{\text{oktanol}}/n_{\text{su}})$ ) değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem her bir örnek için 3 kez tekrar edilmiştir.

## **Stabilite**

Bu çalışma [ $^{99m}\text{TcO}_4$ ]<sup>-</sup> ile işaretlenmiş HPG-ICG-DFO örneğinin stabilitesini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. 0, 60, 120, 240, 720. dakikalarda işaretli örneklerin işaretleme verimi SF (20 mL) banyo çözeltisi kullanılarak ince tabaka kromatografisi (TLRC) ile tespit edilmiştir.

## **BULGULAR**

### **Polimerik Nanoparçacık Sentez Basamakları**

#### **HPG (Hiperdallanmış Poligliserol) Sentezi**

HPG anyonik halka açma polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. HPG, Shen et al., (2017); Kainthan et al., (2006); Wilms et al., (2008) tarafından da farklı amaçlar için sentezlenmiştir. Bu çalışmada HPG' ye floresans görüntüleme için ICG floresan boya bağlanmış, aynı zamanda radyoışaretleme için deferoxamin ile şelatlanmıştır.

#### **HPG' nin Süksinidimil Süksinat ile Fonksiyonlaştırılması**

HPG'nin OH gruplarının  $\text{NH}_2$  fonksiyonel grupları olan DFO ile konjugasyonu için süksinik anhidrit ile karboksi fonksiyonel hale getirilmiştir. Bu yöntem, Chapanian et al., (2012); Rossi et al., (2010) tarafından da farklı uygulamalarda kullanılmak üzere sentezlenmiştir.

#### **HPG' ye ICG Bağlanması**

Sentezlenen HPG' ye floresan özellik kazandırmak amacıyla floresan boya olan indosiyanın yeşili (ICG) HPG' ye bağlanmıştır. Yapılan bu sentez yöntemi, Ma et al., (2013), Saxena et al., (2005) tarafından da değişik amaçlarda kullanılmıştır.

#### **HPG' nin Deferoxamin ile Şelatlanması**

SS-HPG-ICG örneğinin kompleks yapı kazanması ve bir substrata bağlanması için deferoxamin şelatlayıcı ajanı kullanılmıştır. Deferoxamin Tyagi et al., (2016); Silliman et al., (1993) tarafından da çeşitli amaçlar için kullanılmıştır.

#### **Sentezlenen HPG ve Türevlerinin FTIR Yapı Analiz Sonuçları**

FTIR analiz sonuçlarına göre;  $1602\text{ cm}^{-1}$  de C=C çif bağı,  $890-820\text{ cm}^{-1}$  de C-O-O gerilmesini ve HPG'lerin yüzey hidroksil gruplarına karşılık gelen  $3350\text{ cm}^{-1}$  de güçlü bir bandı göstermektedir.  $1707,73\text{ cm}^{-1}$  de güçlü bir ester karbonil bandı ester bağlarının varlığını doğrulamaktadır.  $2950-2800\text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki genişleme tepe noktası ise C-H gerilmelerinin (asimetrik ve simetrik) poligliserol-kuyruğunun kuvvetli örtüşmesinden kaynaklanmaktadır (Ye et al., 2010).

### **Süksinidimil süksinat ile fonksiyonlaştırılmış HPG' nin eğilme ve gerilmeleri:**

FTIR analiz sonuçlarına göre; 2926,67  $\text{cm}^{-1}$ 'de C-H gerilmesini, 1300-1000  $\text{cm}^{-1}$ 'de C-O-C gerilmesini, 1715  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=O gerilmesini ve HPG'lerin yüzey hidroksil gruplarına karşılık gelen 3363,80  $\text{cm}^{-1}$  de güçlü bir bandı göstermektedir. 1680-1780  $\text{cm}^{-1}$ 'deki tepe noktaları, COOH gruplarının varlığını onaylamıştır. Yapıdaki C=C çift bağları bozulmuş, yerine N-O bağları oluşmuştur (Yang et. al., 2015).

### **Deferoxamine ile şelatlanmış HPG'nin eğilme ve gerilmeleri:**

FTIR analiz sonuçlarına göre; 2943,84  $\text{cm}^{-1}$ 'de C-H gerilmesini, 1449,00  $\text{cm}^{-1}$ 'de C-O-C gerilmesini, 1115,20  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=O gerilmesini 631,20  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=C eğilmesini ve HPG'lerin yüzey hidroksil gruplarına karşılık gelen 3308  $\text{cm}^{-1}$  de güçlü bir bandı göstermektedir. N-O bağları bozulup, yeni yapıda CH<sub>2</sub> eğilmeleri ve C-N gerilmeleri olduğu gözlenmiştir (Umemura et. al., 2017).

Tek başına DFO için 2858–2931  $\text{cm}^{-1}$  ve 2995–3004  $\text{cm}^{-1}$  deki bantlar, buna uygun olarak CH<sub>2</sub> ve N-H gerdirme titreşimlerinin asimetric ve simetric germe titreşimlerine atfedilir. Düşük dalga-sayı bölgesinde, 1053, 1200, 1460, 1566 ve 1628  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bantlar, sırasıyla hidroksamat gruplarının N-O bağlarının gerilme titreşiminden, C-C bağının gerilmeli titreşiminden, CH<sub>2</sub> bağının bükülme titreşiminden, N-H (amin II) 'nin bükme titreşimi ve CO (amin I) ' in gerilme titreşiminden kaynaklanır (Umemura et. al., 2017).

SS-HPG' nin yapısındaki N-O bağları bozulup, DFO-HPG' nin yapısında görülen C-N bağları oluşmuştur. HPG'nin yapısındaki OH pikleri bir miktar tüketilmiş ve yerine amin bağları oluşmuştur.

### **Sentezlenen HPG ve Türevlerinin DLS ile Boyut Analizi Sonuçları**

Sentezlenen HPG ve türevlerinin parçacık boyutu Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda Malvern Nano-ZS DLS (Dynamic Light Scattering) cihazı analizi ile incelenmiştir. Bulunan çaplar parçacığın etrafındaki çözgen molekülleri ile birlikte olduğundan bulunan değerler bize hidrodinamik çapı vermektedir.

DLS tekniği ile ölçümü sonucunda elde edilen sonuçlara göre suda dağılmış olan HPG nanoparçacıklarının hidrodinamik çapı 190,1 nm ve polidispersite indeksi de 1,000 olarak kaydedilmiştir.

Birçok durumda, aşırı dallanmış polimerlerin MW üzerinde sıkı kontrol elde etmek zor olabilir. Bu kesinlikle hiper dallı poligliseroller (HPGs) için geçerlidir. Bu reaksiyon üzerindeki belli bir kontrol seviyesi, başlatıcı molekülün sınırlı deprotonasyonu ve monomerin yavaşça eklenmesiyle sağlanır. Bununla birlikte, polidispersiteler (PD'ler) büyük ölçüde 1.1 ila

1.7 arasında değişmektedir (Kainthan et. al., 2006). Bu analizde elde ettiğimiz sonuç ise bunu doğrulamaktadır.

HPG'nin fonksiyonlaştırılması ve sonra DFO ile şelatlanması işlemleri sonucunda da HPG'nin parçacık boyutunda çok fazla değişim gözlenmemiştir.

### **HPLC Analizi ile HPG' nin Molekül Ağırlığı Tayini**

Sentezlenen HPG'nin molekül ağırlığı tayini jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) analizi ile hesaplanmıştır. Bunun için PSS Proteoma analytical 100 A, 8x300 mm, 5 µm kolon ve refraktif index (RI) dedektörü kullanılmıştır. 0,1 M KNO<sub>3</sub> sulu çözeltisi mobil faz olarak 0,8 mL/dk akış hızında kullanılmıştır (Ye et. al., 2011).

GPC analizi sonucu HPG' nin alıkonma zamanı 17,172 dakika olarak bulunmuştur. HPG' nin molekül ağırlığı hesabı için ise, 44000, 35000, 17600 ve 12000 da molekül ağırlıklarında proteinlerin GPC analizleri yapılmıştır.

### **Protein Kalibrasyon Değerleri**

Yapılan protein kalibrasyonu çalışmasında elde edilen değerler sonucu molekül ağırlığı-alıkonma zamanı grafiği çizildi. Bu sonuçlardan yola çıkarak; alıkonma zamanı 17,172 dakika olan HPG'nin molekül ağırlığı 6800 Da olarak hesaplanmıştır.

### **ICG Bağlanma Veriminin Hesaplanması**

Multimode Mikroplaka Okuyucu (Thermo Varioscan Flash) cihazı ile ICG' nin bağlanma verimi hesaplanmıştır. Sentez sonrası elde edilen 3 örnekten, ölçüm için 200' er µL platelere alınmıştır. Kontrol grubu için ultra saf su kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre 3 örnek için de bağlanmayan ICG (%) değerleri hesaplanmış ve toplam bağlanmayan miktar %26,41 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla ICG bağlanma verimi %73,59 olarak elde edilmiştir. Bu oran da ICG' nin HPG' ye başarılı bir şekilde bağlandığını göstermektedir (Wang et. al., 2018).

### **Taramalı Uç Mikroskop (SPM) Sonuçları**

SPM sonuçlarına göre HPG' nin küresel yapıdadır. Küresel yapılar, tek bir mekanizmanın veya itici gücün bir sonucu olarak oluşturulduğunu ve rastgele bir sürecin ürünü olmadığını belirten bir şekilde küçük bir dağılıma sahiptir. Daha yakından incelendiğinde, bilya benzeri varlıkların polimer yapısı gözlemlenebilmektedir (Power et. al., 1997).

Her iki örnek için de, DLS analizi sonucunda elde edilen heterojen yapı ve farklı boyut dağılımı SPM analizi ile de onaylanmıştır. SPM analizinde

seçilen 3 parçacığın boyutuna bakılmış ve DLS analiziyle çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

### **Radyoişaretli Örneklerin HPLC Analizi Sonuçları**

HPLC cihazında GPC (jel geçirgenlik kromatografisi) yöntemi ile  $^{99m}\text{Tc}$  (HPG-ICG-DFO),  $[\text{}^{99m}\text{TcO}_4]^-$  ve indirgenmiş  $^{99m}\text{Tc}$  aktif örneklerinin analizi yapılmıştır. Elde edilen koromotogramlara bakıldığında, aktif örnek RI dedektörde iki pik vermiştir. Bunun sebebinin yapısında bağlı olan deferoxaminden kaynaklı izomeri olduğu düşünülmüştür. Bu izomerlerden biri işaretlenmiştir. Radyoaktivite dedektörü sonuçlarına da bakıldığında  $[\text{}^{99m}\text{TcO}_4]^-$  17,295. dakikada inaktif örnek ise 15,924. dakikada %100 verimle elde edilmiştir. İndirgenmiş  $^{99m}\text{Tc}$  ise herhangi bir pik vermemiş ve bu şekilde madde ile indirgenmiş  $^{99m}\text{Tc}$  ayrılabilmiştir.

### **Radyoişaretli Örneklerin TLRC Analiz Sonuçları**

İşaretlenen  $^{99m}\text{Tc}$ (HPG-ICG-DFO) örneğinin kalite kontrolü TLRC yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizde mobil faz olarak Metanol, SF ve PAS (3:5:1.5) banyoları denenmiş olup en iyi ayırım SF ve PAS banyolarında gözlenmiştir. (n=4). Sabit faz için ise selüloz kaplı TLRC şeriti kullanılmıştır.

### **Stabilite Sonuçları**

$^{99m}\text{Tc}$  (HPG-ICG-DFO) örneklerinin 6 saat boyunca, oda sıcaklığında ve SF banyosunda kararlılıkları gözlemlenmiştir.

### **Lipofilité Sonuçları**

$^{99m}\text{Tc}$ (HPG-ICG-DFO) bileşiğinin lipofilité deneyi için 3 deneme yapılmıştır. Bunun sonucunda,  $^{99m}\text{Tc}$ (HPG-ICG-DFO) bileşiğine ait deneysel lipofilité (logP) değeri  $-0,796\pm 0.03$  olarak bulunmuştur. Bulunan deneysel değer beklendiği gibi bulunmuştur.

## **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada, SPECT/Floresan ( $^{99m}\text{Tc}$ -SPECT/FL) çok fonksiyonlu diagnostik ajanların geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Amaçlanılan problemlerin geliştirilmesi için, mükemmel biyoyumluluk profilleri sergileyen hiperdallanmış poligliseroller anyonik halka açılma polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. Polimerin işlevselleştirilmesi için süksinik anhidrit kullanılmıştır. Polimere floresans özellik kazandırmak amacıyla indosiyanın yeşili (ICG) HPG' ye bağlanmıştır. Bunun sonucu %73,59 gibi yüksek bir bağlanma verimi elde edilmiştir. Şelatlayıcı ajan olarak ise deferoxamin seçilmiş ve süksinat ile fonksiyonlaştırılmış (SS-HPG) HPG' ye bağlanmıştır. HPG' nin molekül ağırlığı tayini ise yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiş ve 10,371 Da olarak



bulunmuştur. HPG' nin düşük molekül ağırlığının diyaliz işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yandan, HPG böbrek yoluyla doğrudan vücuttan atılır. Bu sebeple düşük moleküler ağırlıklı HPG'nin böbrekten atılımı oldukça kolay olur. Büyük molekül ağırlıklı moleküllerin karaciğer gibi organlarda yüksek tutulumu söz konusudur. Düşük molekül ağırlıklı HPG sentezi ile bu sorunun da önüne geçildiği düşünülmektedir.

Sentezlenen polimer ve türevlerinin yapısal özellikleri dinamik ışık saçılımı (DLS) ve taramalı uç mikroskopu (SPM) ile belirlenmiştir. DLS analizi ile elde edilen heterojen yapı ve hidrodinamik çap değerleri SPM analizi ile doğrulanmıştır.

SPECT görüntüleme için [ $^{99m}\text{TcO}_4$ ] ile radyoışaretleme gerçekleştirilen örneklerin kalite kontrolü, HPLRC ve TLRC analizleri ile doğrulanmıştır. Polimerin lipofilikliğini görmek amacıyla yapılan lipofilitate analizi sonucu örneğin lipofilitesi  $0,796 \pm 0.03$  olarak bulunmuştur. Bu da HPG'nin hidrofilik yapısını doğrular niteliktedir. Daha yüksek hidrofilitate; daha iyi bir etkiye ve daha yüksek stabiliteye ortam sağlamaktadır. İşaretili örneklerin kararlılıkları stabilite deneyi ile test edilmiş ve sonucunda işaretili örnekler 6 saat boyunca kararlılıklarını korumuşlardır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında floresans boyalı HPG örneklerinin biyoyumlu çok fonksiyonlu görüntüleme problemleri olarak kan hücrelerinin görüntülenmesine ve kanama odağının bulunmasına yönelik umut verici bir çalışma ortaya konulmuştur.

### **Teşekkür**

Sibel Ay tarafından "FL ve Radyonüklid işaretili HPG (Hyperbranched Polyglycerol) Polimerlerin Sentezi ve Hücre Kültür Ortamında Kan Hücrelerinin İşaretleme Kullanımları" isimli YL tezi olarak Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde sunulmuş ve aynı isimle 2018 FBE 006 No'lu BAP Projesi olarak Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Fonunca desteklenmiştir.

### **Kaynaklar**

Chapanian R., Constantinescu I., Brooks D. E., Scott M.D. & Kizhakkedathu J.N. (2012) In vivo circulation, clearance, and biodistribution of polyglycerol grafted functional red blood cells, *Biomaterials*, 33 (10) 3047-3057.

Kainthan, R., Muliawan, E. B., Hatzikiriakos, S. G. & Brooks, D. E. (2006) Synthesis, Characterization, and Viscoelastic Properties of High Molecular Weight Hyperbranched Polyglycerols, *Macromolecules*, 39, 7708-7717.

Ma, Y., Tong, S., Bao, G., Gao, C. & Dai, Z. (2013) Indocyanine green loaded SPIO nanoparticles with phospholipid-PEG coating for dual-

- modal imaging and photothermal therapy, *Biomaterials*, 34(31) 7706–7714.
- Nguyen, Q.T. & Tsien, R.Y. (2013) Fluorescence-guided surgery with live molecular navigation--a new cutting edge, *Nat Rev Cancer*, 13 (9) 653–962.
- Power, D., Larson, I., Hartley, P., Dunstan, D. & Boger, D. V. (1998) Atomic Force Microscopy Studies on Hydroxypropylguar Gels Formed under Shear, *Macromolecules*, 31, 8744–8748.
- Rossi, N. A. A., Constantinescu, I., Kainthan, R. K., Brooks, D. E., Scott, M .D. & Kizhakkedathu, J. N. (2010) Red Blood Cell Membrane Grafting Of Multi-Functional Hyperbranched Polyglycerols, *Biomaterials*, 31, 4167e78.
- Saxena, V., Sadoqi, M. & Shao, J. (2006) Polymeric nanoparticulate delivery system for Indocyanine green: Biodistribution in healthy mice. *International Journal of Pharmaceutics*, 308(1-2), 200–204.
- Shen, Y., He, G., Guo, Y., Xie, H. & Fang, W. (2017) Modified Hyperbranched Polyglycerol as Dispersant for Size Control and Stabilization of Gold Nanoparticles in Hydrocarbons, *Nanoscale Research Letters*, 12, 525.
- Silliman, C. C., Peterson, V. M., Mellman, D. L., Dixon, D. J., Hambidge, K. M. & Lane, P. A. (1993) Iron Chelation By Deferoxamine In Sickle Cell Patients With Severe Transfusion-Induced Hemosiderosis: A Randomized, Double-Blind Study Of The Dose-Response Relationship, *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 122(1) 48–54.
- Sunder, A., Hanselmann, R., Frey, H., & Mülhaupt, R. (1999) Controlled Synthesis of Hyperbranched Polyglycerols by Ring-Opening Multibranching Polymerization, *Macromolecules*, 32(13) 4240–4246.
- Tsien R.Y. (2003) Imagining imaging's future, *Nature reviews Molecular cell biology*.; SS16-21. Epub 2003/11/01.
- Tyagi, P., Kumar, A., Gupta, D. & Singh, H. (2016) Decorporation of Iron Metal Using Dialdehyde Cellulose-Deferoxamine Microcarrier, *AAPS Pharm.Sci.Tech.*, 156–165.
- Umemura, M., Kim, J.-H., Aoyama, H., Hoshino, Y., Fukumura, H., Nakakaji, R. & Ishikawa, Y. (2017) The Iron Chelating Agent, Deferoxamine Detoxifies Fe(Salen)-Induced Cytotoxicity, *Journal of Pharmacological Sciences*, 134(4) 203–210.
- Yang, H.M., Choi, H. M., Jang, S.C., Han, M. J., Seo, B.K., Moon, J.K. & Lee, K.W. (2015) Succinate Functionalization of Hyperbranched

Polyglycerol-Coated Magnetic Nanoparticles as a Draw Solute During Forward Osmosis, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(10) 8279–8284.

- Ye, L., Letchford, K., Heller, M., Liggins, R., Guan, D., Kizhakkedathu, J.N., Brooks DE, Jackson JK, & Burt HM. (2011) Synthesis And Characterization Of Carboxylic Acid Conjugated, Hydrophobically Derivatized, Hyperbranched Polyglycerols As Nanoparticulate Drug Carriers For for cisplatin, Biomacromolecules. 12 (1) 145-155.
- Wang, H., Li, X., Wan-Chi, B., Yang, H., Thorling, C., Liu, Y., Touraud, M., Chouane, J. B., Liu, X., Roberts, M. & Liang, X. (2018) Indocyanine green-incorporating nanoparticles for cancer theranostics, *Theranostics*, 8(5) 1227–1242.
- Wilms, D., Wurm, F., Nieberle, J., Böhm, P., Kemmer-Jonas, U. & Frey, H. (2008) Hyperbranched Polyglycerols with Elevated Molecular Weights: A Facile Two-Step Synthesis Protocol Based on Polyglycerol Macroinitiators, *Macromolecules*, (42) 3230-3236.

**TEXTILE ENGINEERING / TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ**

# GIYSİLERDE KULLANILAN ASTARLIK KUMAŞLAR VE ÖZELLİKLERİ

**Okşan ORAL & Esra DİRĞAR**

*Ege Üniversitesi Bergama Meslek Yüksekokulu, Bergama, İZMİR  
oksan.kansoy@ege.edu.tr - esra.dirgar@ege.edu.tr*

**Özet:** Günümüzde hazır giyim ürün kullanıcıları kaliteli ürün arayışı ve beklentisi içindedir. Bilinçli bir tüketici giysinin dış kumaşına, görüntüsüne işçiliğine verdiği önemi ve dikkati, giysinin iç kısmını kaplayan malzemeye de göstermektedir.

Astarlık kumaşlar giysinin tam bir bütünlük oluşturmasında diğer yardımcı malzemeler ve aksesuarlar içinde ayrı bir yere sahiptir. Astarlar giysinin işlevsel parçalarından biridir. Giysiye şeklini verir, diğer giysilerin üzerinde kaymasını sağlar ve rahatlığını artırır, yalıtım sağlar, karmaşık yapılarıdaki giysilerin iç yüzünü kaplar ve düzgün durmasını sağlar.

İkinci bir giysi gibi esas kumaşın içinde kullanıcıya konfor sağlayan astarlık kumaşlar beklenen özelliklerine göre farklı ipliklerden, farklı dokuma tiplerinde dokunmakta ve değişik terbiye işlemleri ile nihai tüketime uygun hale getirilmektedirler.

Diğer tüm yardımcı malzemeler içinde hatalı bir seçim ile oluşabilecek en büyük sorun astarlık kumaşlarda yaşanacaktır. Astarlık kumaşlar, kullanıldığı giysi ile bir bütün halinde hareket ederek stabilitesini esas kumaşa aktarmaktadır. Astarlık kumaşların hammadde ve yüzey türünün doğru belirlenmesi kumaşın dayanım süresi ve uygulamadaki kuvvetler karşısındaki davranışlarını belirleyici en önemli etkenlerdir.

Astarlık kumaşlar insan vücuduyla ilk temas eden yüzeylerdir. İnsan vücudunun hareketleriyle birlikte astarlık kumaşlar sürtünme, gerilme gibi etkilere maruz kalırlar. Giysi kalitesi açısından bu kumaşlarda mukavemet önemlidir.

Bu çalışmada astarların giysiye sağladığı avantajlar, astardan beklenen performans özellikleri, kullanılan yüzey ve örgü yapıları, astarlık kumaşları seçerken dikkat edilecek özellikler ile farklı lif türlerinden (rejenere selüloz lifleri ve sentetik lifler), üretilen astarlık kumaşların kopma ve yırtılma mukavemetleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Astarlık kumaş, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti

## Giriş

Giysilerde yardımcı malzeme ve aksesuarlar içinde önemli bir yere sahip olan astarlar, üst yüzey kumaşının tipine ve kullanım özelliklerine uygun ağırlık ve tuşeye sahip, giysinin içinin bir kısmını veya tamamını kaplayan kumaştır.

Astar, takım elbise, mont, ceket gibi konfeksiyon ürünlerinin içine giysinin modeline uygun şekilde tüm kenarlarından birleştirilmiş ya da

serbest halde geçirilmiş ayrı bir kumaş parçasıdır (Yakartepe, Yakartepe, 1995).

Astarlar,

- Giysiyi desteklemek,
- İç dikişleri örtmek,
- Konfor sağlamak,
- Giysinin performansını ve
- Giysinin estetik değerini yükseltmek

amacıyla kullanılır (Kurumer,2007). Astarlar bazı markaların kalite göstergesi olarak da kullanılabilir (Bilen,2010).

Uygun şekilde tasarlanmış ve kesilmiş astarlar;

- Giysinin ömrünü artırmakta,
- Hareket halindeyken giysiye gelen kuvvetleri azaltmakta,
- Kullanım sırasında dikiş ve diğer malzemeler üzerindeki sürtünme kuvvetlerinin etkisini azaltmakta,
- Üst kumaşla vücut arasında bir paravan oluşturarak, üst kumaşın ter ve yağdan korunmasını sağlamakta,
- Giysinin iç tarafından kullanıcıya rahatlık sağlayan, astar cepleri gibi bazı detayların yapılabilmesini olanak sağlamakta,
- Üst kumaşın bazı giyim dezavantajlarını önlemekte,
- Vücudu dikişlerden korumakta,
- Giysinin vücuda oturmasına hizmet etmekte,
- Üst kumaşın dökümlü kalmasını ve formunu korumasını sağlamakta,
- Dar giysilerin vücuttan kayarak giyilmesine yardımcı olmaktadır (Kurumer,2007)

### **Astardan Beklenen Performans Özellikleri**

Astarlardan beklenen performans özellikleri ürün tipine ve son kullanım amacına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin cekette kullanılan bir astardan beklenen özelliklerle mayoda kullanılan bir astardan beklenen özellikler aynı olmayacaktır.

Astarlık kumaşların kalite ve performansına eki eden başlıca faktörler:

- Kumaşın özellikleri,
- Deseni,
- Üst kumaş ve diğer malzemelerle uyumu ve
- Son kullanım amacına uygunluğudur (Kurumer,2007).

Astarlar giysiye uygunluk ve ısı konforu da sağlamaktadır. Düzgün, nem emici ve yumuşak olduklarında tutum konforu sağlar.

## Astarlık Kumaşlarda Kullanılan Lif ve Yüzey Yapıları

Astarlık kumaşların üretim tipini, estetiğini, performansını ve dayanıklılığını belirleyen en önemli nokta içerdiği lifler veya lif karışımlarıdır (Kurumer,2007).

**Sentetik Lifler:** Astar üretiminde yaygın olarak kullanılan sentetik lifler PES ve Naylondur. Bu sentetik liflerden hafif, dayanıklı ve esnek astarlık kumaşlar üretilmektedir. Bu özellikleri sebebiyle klasik pantolon, etek, elbise, ceket gibi ürünlerin yanında futbol, yüzme jogging gibi aktif spor giysilerinin astarlanmasında da kullanılmaktadır. Sentetik astarların bazı dezavantajları vardır. Bunlar:

- Yapışır,
- Terletir,
- Statik elektrik ile yüklenebilir (Çitoğlu, Yükseloğlu, Kuyucu, 2011).

**Asetat Lifi :** Rejenere selüloz lifi grubuna girmektedir. Kısa ömürlü olmakla beraber, etek, pantolon, eket, palto gibi giysilerin astarlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır Bu liflerden elde edilen astarlık kumaşlar daha ucuzdur, kolay ütülenebilir, dökümü ve tutumu iyidir ve kolay giysi formu alabilir. Buna karşın zayıftır, kuvvet ve sürtünme mukavemetleri düşüktür, buhar ve renk haslıkları düşüktür ve kuru temizleme gerektirir (Kurumer,2007).

**Pamuk, Viskoz ve Rayon:** Pamuk, viskoz ve rayon lifleri tutumu ve emiciliği nedeniyle astarlarda tercih sebebidir. Viskoz lifi kesikli rejenere selüloz lifi, rayon ise filament haldeki rejenere selüloz lifidir. Kaliteli giysilerde, üniformalarda konfor özelliğinden dolayı rayon olarak kullanılmaktadır. ancak dezavantajı, rayonun sürtünme mukavemeti düşüktür. Pamuk, su emici ve rahat olmasına karşın kesikli lif yapısından dolayı daha az kaygandır. Pamuk astarlar giysinin bir parçası veya tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır. sürtünme mukavemeti ve esnekliğini artırmak amacıyla pamuk, viskon ve rayon lifleri PES lifleri ile karıştırılıp kullanılmaktadır (Kurumer,2007).

**Yün:** Yünün astarlık kumaş olarak kullanılmasının sebebi yalıtım özelliğinden dolayıdır. Ancak günümüzde yalıtım görevi gören daha hafif ve daha ucuz pek çok yeni malzemeler geliştirilmiştir.

**İpek:** İpek astarlar, estetik görünümü, hafifliği, dökümlülüğü, konforu, sağladığı prestij ve katma değeri nedeniyle yüksek fiyatlı giysilerde kullanılmaktadır. Ancak fiyatının yüksek olması yaygın şekilde kullanımını engellemektedir.

Günümüzde liflerin yanına hareket serbestliği ve rahatlığı sebebiyle belli oranda PUR Elastomer lifleri de (Örneğin Lycra) karışım olarak kullanılmaktadır.

Astarlar çeşitli üretim tekniklerinde yararlanılarak üretilir. Bunlar dokuma, örme ve dokusuz yüzey teknikleridir. Üretim şekli astarın ve giysilerin termal konforunu, dökümlülüğünü, parlaklığını, dayanıklılığını etkilemektedir.

**Dokuma Astarlar:** Klasik astarlarda en çok kullanılan yüzey çeşididir. Saten, dimi ve bezayağı örgü yapısında dokunabilir. Ceket, pantolon, etek, elbise, palto, mantoda kullanılmaktadır. Bunlar kayganlığı, konforu, esnekliği, sağlamlığı ve özellikle sık dokunmuş filament tipleri de rüzgara dayanıklı olması nedeniyle tercih edilmektedir (Kurumer,2007; Corbman,1983; Çitoğlu, Yükseloğlu, Kuyucu, 2009; Başer,1983).

**Örme Astarlar:** Bazı rüzgarlıklarda şardonlanmış çözümlü örme astarlar kullanılır. Genellikle spor astarlarda tercih edilir.

**Dokusuz Yüzey:** Dokusuz tekstil yüzeyleri konfeksiyon temel veya yan ürünü olarak bir çok alanda kullanılmaktadır. Dokusuz yüzeylerin konfeksiyonda kullandığı ürünler arasında astarlar da bulunmaktadır. Ancak dokusuz yüzey astarlar dokuma ve örme astarlar kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Dokusuz yüzey astarlar spor astarlarda tercih edilir.

## **Materyal ve Metod**

Araştırmanın hammaddesini günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan ve klasik astarlık kumaşlar olarak nitelendirilen PES, PES/Lycra, Asetat ve İpek Floş ipliklerinden üretilmiş kumaşlar oluşturmaktadır.

Tüm materyaller test öncesinde standart atmosfer koşullarında 20 °C ±2 sıcaklıkta ve %65±4 bağıl nemde 24 saat kondüsyonlanmıştır.

Testler sonucunda elde edilen veriler SPSS 25.0 istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiş, farklı lif türlerinden üretilmiş astarlık kumaşların kopma ve yırtılma mukavemetleri incelenmiştir.

Kopma mukavemeti özellikle dokuma kumaşlarda kullanılan, kumaşın en önemli performans karakteristiklerinden biridir Kumaşın atkı veya çözgü doğrultusunda kuvvet uygulandığı zaman kopmaya karşı gösterdiği dirençtir. Kopma mukavemeti ile kopma gerçekleşmeden hemen öncesine



kadar etki eden kuvvet ile uzama arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanır (Bozdoğan,2009).

Kumaşların üretim proseslerinde ve kullanımları esnasında görecekları etkilere karşı dayanımı hakkında en detaylı bilgileri veren mukavemet testlerinden birisi de yırtılma mukavemet testleridir. Yırtılma mukavemeti belirli koşullar altında bir yırtığı başlatmak, sürdürmek veya yaymak için gereken karşı koyma kuvvetidir. Yırtılma mukavemeti; kumaşta yer alan statik ve dinamik kuvvetlere karşı ve yırtılma testinde uygulanan gerilime karşı materyalin mukavemetini belirleyici önemli bir faktördür. Yırtılma sırasında iplikler tek tek ya da gruplar oluşturacak biçimde kopmaktadır. Bu nedenle yırtılmada tek ipliklerin mukavemeti önemlidir. Bunun dışında kumaş konstrüksiyonu, kumaşa uygulanan terbiye işlemleri yırtılma mukavemetini etkileyen diğer faktörlerdir (Özdil, Özçelik,2006; Özdil,2016 ).

## Bulgular

Kullanılan astarlık kumaşların özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Astarlık kumaşların özellikleri

		PES	PES/LYCRA	ASETAT	İPEK FLOŞ
İPLİK NUMARASI (Nm)	ATKI	111	156	111	67
	ÇÖZGÜ	109	168	109	75
<b>DOKUSAL YAPI</b>		1/1 Bezayağı	2/1 Dimi	2/1 Dimi	2/1 Dimi
<b>GRAMAJ (gr/m<sup>2</sup>)</b>		54,42	72,7	80,5	92,4
<b>SIKLIK (te/cm)</b>	ATKI	26	39	27,5	25
	ÇÖZGÜ	34	66	61,5	46

Tablo 2’ de çalışmada kullanılan astarlık kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki kopma ve yırtılma mukavemeti değerleri verilmiştir.

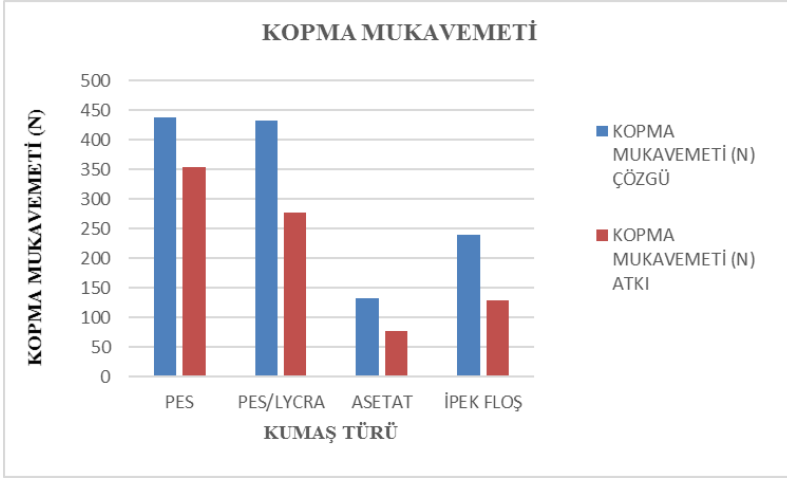
Tablo 2. Astarlık kumaşların kopma ve yırtılma mukavemetleri

		PES	PES/LYCRA	ASETAT	İPEK FLOŞ
KOPMA MUKAVEMETİ (N)	ÇÖZGÜ	438,42	432,84	133,38	239,5
	ATKI	354,89	277,24	77,18	129,28
YIRTILMA MUKAVEMETİ (N)	ÇÖZGÜ	31,16	11,01	4,71	18,21
	ATKI	40,7	15,47	6,73	23,67

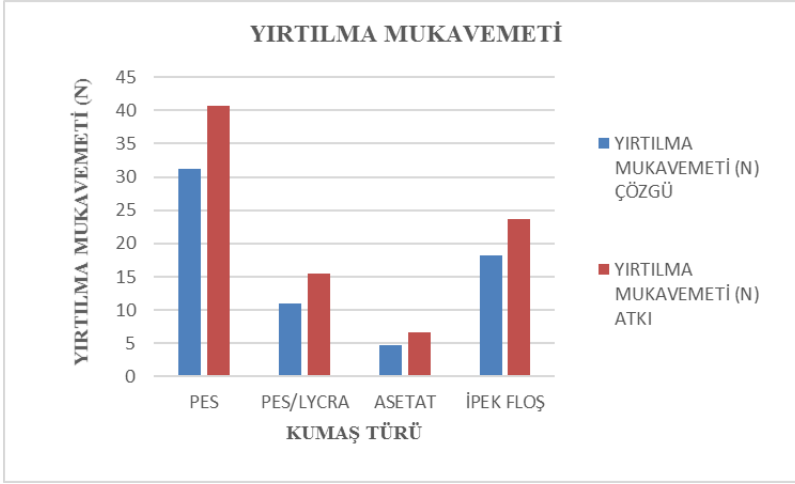
Tablo 2 incelendiğinde; kopma mukavemeti değerleri dikkate alındığında PES ve PES/LYCRA liflerinden dokunmuş kumaşların kopma mukavemetinin en yüksek olduğu görülmüştür. Yırtılma mukavemeti değerleri incelendiğinde PES liflerinden dokunmuş kumaşta en yüksek olduğu bulunmuştur.

Kumaşta atkı ve çözgü yönünde sıklık ne kadar fazla ise kopma mukavemeti de o kadar fazladır. Kumaşın kopma mukavemeti, kumaşı oluşturan ipliklerin teker teker mukavemet değerinin toplamından daha fazladır. Bunun nedeni atkı ipliklerinin çözgü ipliklerine bağlanması sonucu mukavemeti yükseltilmesidir. Kumaş mukavemetinde etkili olan diğer faktör kumaş konstrüksiyonudur. Dengeli kumaş yapılarında ipliklerin dağılımı dengeli olacağı için dengesiz kumaş yapılarına göre çekmeye karşı dirençleri daha iyi olacaktır. Araştırma sonuçlarına göre PES ve PES/Lycra'dan üretilmiş astarlık kumaşın atkı ve çözgü yönündeki kopma mukavemeti tüm araştırma grubu içinde en yüksektir. Bu durumda PES ve PES/Lycra'dan üretilmiş kumaşın kopma mukavemeti en yüksek çıkmıştır. PES gibi sentetik liflerden veya çekme dayanımı yüksek liflerden yapılan kumaşların kopma mukavemeti yüksektir. Araştırmada PES ve PES/Lycra sentetik, Asetat ve İpek Floş rejenere selüloz lifi olduğu için PES ve PES/Lycra'nın kopma dayanımı en yüksektir.

Atkı ve çözgü sıklığı düşük olan kumaşlar yüksek yırtılma mukavemetine sahiptir. Gevşek bir kumaş yapısında iplikler arasındaki sürtünme kuvvetleri azalmakta ve bu durumda yırtılma mukavemeti artmaktadır. Araştırmada PES ipliklerden üretilen astarlık kumaşın atkı ve çözgü sıklığı en düşük olduğu için yırtılma mukavemeti en yüksek çıkmıştır.



Şekil 1. Astarlık kumaşların kopma mukavemeti grafiği



Şekil 2. Astarlık kumaşların yırtılma mukavemeti grafiği

## Sonuç

Konfeksiyon sanayinde kullanılan ve giysileri tamamlayıcı yardımcı malzemeler arasında giysinin kullanımını, özelliklerini, hareket kabiliyetini ve kullanım süresini etkileyerek, ikinci bir giysi gibi esas kumaşın içinde kullanıcıya konfor sağlayan astarlık kumaşlar, beklenen özelliklerine göre farklı ipliklerden, farklı dokuma tiplerinde dokunmakta ve değişik terbiye işlemleri ile nihai tüketime uygun hale getirilmektedirler.

Tüm yardımcı malzemeler içinde hatalı bir seçim ile oluşabilecek en büyük sorun astarlık kumaşlarda yaşanacaktır. Astarlık kumaşlar, kullanıldığı giysi ile bir bütün halinde hareket ederek stabilitesini esas kumaşa aktarmaktadır. Astarlık kumaşların dokunmasında atkı ve çözümlü sıklıklarının ve dokuma türünün doğru belirlenmesi kumaşın dayanım süresi ve uygulamadaki kuvvetler karşısındaki davranışlarını belirleyici en önemli etkenlerdir.

## **Kaynaklar**

- Başer, G., 1983, “Kumaş Tasarımı ve Analizi” , Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Türkiye
- Bilen, U., 2010, Hazır Giyimde Kullanılan Malzemeler ve Aksesuarlar, ISBN: 978-605-61745-2-0, İstanbul, 224 s
- Bozdoğan, F., 2009, Fiziksel Tekstil Muayeneleri, Kumaş Testleri, E. Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma- Uygulama Merkezi yayını, Yayın No: 32, İzmir, 162 s.
- Çitoğlu, F.; Yükseloğlu, S. M.; Kuyucu, Y. A., 2009, “Hazır Giyim Üretiminde Astarlık Kumaşların Genel Değerlendirilmesi” , 1. Uluslararası 5. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, Konya.
- Çitoğlu, F., Yükseloğlu, S. M., Kuyucu, Y. A., 2011, Polyester Astarlık Kumaşta Dikiş Parametrelerinin Dikiş Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi, Tekstil ve Konfeksiyon, 2011/1, s. 82-86.
- Corbman, B. P., 1983, “Textiles Fiber to Fabric” , McGram-Hill International Editions, USA.
- Kurumer, G., 2007, Konfeksiyon Üretimi ve Teknolojisi, ISBN: 978-9944-0869-0-5, İzmir, 446 s.
- Özdil, N., Özçelik, G., 2006, Kumaşlarda Yırılma Mukavemeti Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma, Tekstil ve Konfeksiyon, 2006/3, s. 174-179.
- Özdil, N., 2016, Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri, Ege Üniversitesi Tekstil Ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No: 21
- Yakartepe, Z., Yakartepe, M., 1995, Konfeksiyon Teknolojisi Kumaştan Hazır Giyime, Cilt:9, Yayın no: 63, İstanbul.

## ADAPTİF GIYSİLER VE UYGULAMALARI

Esra DİRĞAR & Okşan ORAL

Ege Üniversitesi Bergama Meslek Yüksekokulu, Bergama, İZMİR  
esra.dirgar@ege.edu.tr, oksan.kansoy@ege.edu.tr

**Özet:** Günümüzde piyasada satılan hazır giyim ürünleri genellikle normal beden özelliklerine sahip bireyler için geliştirilmiştir. Geçici ya da kalıcı olarak hareket kısıtı olan kişiler için giysiler büyük önem taşımaktadır. Bu kişiler, düğme ve fermuar gibi kapamaları kontrol etmekte zorlanmaları ya da kendi kendine giyinme için yeterli hareket aralığına sahip olmamaları nedeniyle giysilerini giyip çıkarma konusunda sıkıntı yaşamaktadırlar. Bu nedenle bu kişilerin gereksinimlerine uygun nitelikte giysi temin edebilmeleri önemlidir.

Adaptif (uyarlanabilir) giysiler, fiziksel engelli insanlar, yaşlılar ve hastalar (parkinson, multipl skleroz, felç, artrit, eklem rahatsızlığı, idrar kaçırma sorunu olanlar vb.) için özel olarak tasarlanmış giysiler ve ayakkabılar olarak tanımlanmaktadır. Bu giysiler giyiniş soyunma sırasında hastaya, hemşire ya da bakım personeline de kolaylık sağlamaktadır. Giysilerde olması gereken en önemli özelliklerden biri de, kişinin rencide olmaması için, görüntü açısından normal bir giysi gibi görünme zorunluluğudur.

Bu çalışmada, hareket kısıtı olan bireylerin gereksinimleri, bu kişiler için üretilecek olan giysilerin özellikleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif giyim, engelli giyimi, yaşlı giyimi.

### Giriş

Dünyada bir milyardan fazla insan herhangi bir tür engellilik ile yaşamakta, bu insanların yaklaşık 200 milyonu hayatlarını devam ettirme konusunda kayda değer zorluklar yaşamaktadır. Nüfusların yaşlanması ve yaşlı insanların engelli hale gelme riskinin daha yüksek olması ile birlikte diyabet, kalp ve damar hastalıkları, kanser ve akıl sağlığı bozuklukları gibi kronik sağlık sorunlarının da küresel olarak artış göstermesi engelliğinin artmasının nedenleridir (WHO, 2011).

Kişilerin doğuştan veya sonradan herhangi bir hastalık veya kaza sonucu bedensel, zihinsel, ruhsal, duyuşsal ve sosyal yeteneklerini çeşitli derecelerde kaybetmesi nedeniyle özürlü olması, süregelen (kronik) hastalığı olan kişilerin ise çalışma kapasitelerinin ve yaşamsal fonksiyonlarının engellenmesi, bu durumdaki kişilerin yaşamsal aktivitelerini kısmi ya da tam olarak engellemekte ve de en önemlisi sosyal yaşamlarını sürdürmelerini zorlaştırmaktadır (DİE, 2002).

Engelli ve yaşlı bireylerin ihtiyaçları ile literatürde çeşitli araştırmalar bulurken, gözardı edildikleri için, genel olarak tüketim konusunda ve

özellikle de giyim konusundaki ihtiyaçları hakkında çok az şey bilinmektedir (Kidd, 2006).

Kaiser, Freeman ve Wingate (Kaiser ve diğerleri, 1985), çalışmaları sonucunda giysilerin engelli tüketicilerin yaşam becerilerini geliştirmelerinde ve özgüvenlerini geliştirmelerinde iyileştirici bir rol oynayabileceğini, engelli tüketicilerin moda trendleriyle fazla ilgilenmediğini ve diğerlerinden farklı görünmek istemediklerini ortaya koymuşlardır. Lamb (Lamb, 2001) engelli tüketicilerin, görünüşlerini iyileştirmek ve kendileri için olumlu bir görünüm oluşturmak için kıyafet kullandıklarını belirtmiştir.

Giysi seçimi, bireylerin duygusal ve psikolojik doyum sağlamaları ve kişisel ve sosyal kimliklerini ifade etmeleri için önemli bir araçtır (Roach ve Eicher, 1973). Giysinin kişisel ve sosyal anlamları ifade etmesinin önemi göz önüne alındığında, giysi seçiminin psikolojik yönlerinin araştırılması ve engelliler arasında kullanımın işlevsellik konularının ötesine geçmesi gerekir (Chang ve diğerleri, 2014).

Hastanelerde, bakımevlerinde yatan hastalarda kolay giyilip çıkarılması nedeniyle hasta önlükleri kullanılmaktadır. Oysa, giysilerin yalnızca koruma olarak değil, aynı zamanda bir süsleme olarak kullanılması ve kişinin kendi kişisel kıyafetlerine sahip olma hakkı psikolojik öneme sahip faktörlerdir (Clulow, 1974).

Günümüzde piyasada satılan hazır giyim ürünleri genellikle normal beden özelliklerine sahip bireyler için geliştirilmiştir. Engeli olan bireyler bu giysileri satın alıp, kendi vücut özelliklerine göre üzerinde değişiklik yapmaktadırlar ve çoğu kez kendi gereksinimlerine uygun olmayan giysi kullanımına neden olmaktadır. Bu nedenle, özel giysi gereksinimi olan kişiler için fonksiyonel kullanıma uygun giysilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

## **Adaptif Giysiler**

Adaptif (uyarlanabilir) giysiler, kendi kendine giyinme zorluğu yaşayan kişilerin gereksinimlerini karşılamak için özel olarak tasarlanmış giysiler ve ayakkabılardır. Bu özel gereksinimi olan kişilerden bazıları;

- Fiziksel engelleri olan kişiler,
- Geçici veya kalıcı olarak hareketleri sınırlı olan kişiler,
- Yaşlılar,
- Ameliyat sonrası bakım sürecinde olan hastalar,

- Artrit hastaları,
- Felçli hastalar,
- Parkinson hastaları ve
- Multipl skleroz vb. hastalarıdır.

Özel ihtiyaçlara yönelik kıyafetler, vücut şekli, büyüklüğü, hareketliliği ve el becerisi “normal insan” den önemli ölçüde farklı olan, engellilerin yaşam kalitesini iyileştirmek için geliştirilen ve sadece vücut şekli, büyüklüğü, hareketliliği ve el becerisi olanlardan farklı olan fonksiyonel bir giysi sınıfını temsil eder. Bildirilen çalışmalar bu grupların giydikleri giysilere ve genel kişisel görünümüne çok duyarlı olduğunu göstermiştir. Bu kişilerin ihtiyaçları kendine özgü ve farklıdır ve ve bu nedenle, gereksinimlerine göre özel olarak tasarlanmış kıyafetler tasarlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, tasarım değerlendirmesi, diğerlerinin yanı sıra değişen vücut şekillerini, hareketlilik sınırlamalarını, psikolojik ve sosyal ihtiyaçları da içermelidir (Gupa, 2011; Mace, 1998).

Engellilerin yaşam kalitesi, giysilerin tasarımı ve işlevselliği artırılarak iyileştirilebilir. Nüfusun çoğunluğunun aksine, engellilerin özel ihtiyaçları, belirli bir zorunluluk tarafından tetiklenen belirli gereksinimlere göre değişmektedir. Bu nedenle, giysi hem psikolojik hem de fonksiyonel ve duyuşal seviyelerde ek konfor sağlamalıdır.

Engelli bireyler için yaratılan tekstil ürünleri normal emsallerinden çok daha pahalıdır, çünkü boyutları ve tasarımları engelli olmayan insanlar için yapılmış standart ürünlerinkilerle uyuzmaz.

Engelliler için kıyafet tasarlarken, araştırmacılar ihtiyaçları sosyal, fiziksel ve psikolojik düzeyde karşılamaya odaklanırlar. Bu nedenle, stil, renk ve tasarım ve kullanılacak kumaşlar gibi birkaç husus dikkate alınmalıdır.

Engeli olan insanlar için özel olarak tasarlanan kıyafetler aşağıdaki şartları sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır:

- Hareket özgürlüğü sağlamak;
- Engeli kontrol altında tutabilmek;
- Gerekli güvenlik ve konfor seviyesini sağlamak;
- Gerekli ahlaki ve psikolojik rahatlığı sağlamak;
- Bakım ve temizliğinin kolay olması,
- Buruşmaya karşı yüksek direnç göstermesi,
- Ürünün hacmini ve ağırlığını arttırmadan uygun kumaşların kullanılmasıyla yeterli ısı yalıtımı sağlamak;
- Gerekli minimum vücut kokusu tutma seviyesi sağlamak için

- antibakteriyel özellikte olmalıdır (Ladd, 2003; Solomon, 2008; Antonela ve diğ. 2014).

Adaptif giysilerin sağladığı avantajlar:

- Hastanın görünümünü iyileştirir,
- Topluluğun formuna uygun bir üye gibi görünmesini sağlar,
- Konfor ve kolay giyinip çıkarmaya olanağı sağlar,
- Hastayı piyasada satılan diğer giysileri giyerken hissedeceği fiziksel ağrıdan korur ve
- Yardımcı personele zaman kazandırır.

### **Adaptif Giysi Uygulamaları**

Adaptif giysi uygulamalarında kapamaların türü giysinin giyilip çıkarılmasının kolay olması açısından çok önemlidir.

Tekerli sandalye kullanan kişilerde giysilerin ön yerine arkadan açılması önemlidir. Bunun yanı sıra MS, Artrit gibi çeşitli kas ve eklem hastalıklarında, hastanın eğilmesine veya dönmesine gerek olmadan giysinin çıkarılabilmesi için giysinin arkadan açılması kolaylık sağlayacaktır.

Sınırlı erişime ve hareket mesafesine sahip kişiler için giysinin önden açılması tercih edilir.

Giysinin arkadan açılması, bu gibi kısıtlamaları olmayanlar ve sınırlamaları olanlar için bile zordur. Kapamaların kolay açılıp kapanması hem zamandan kazanç sağlar, hem de giyinme sürecinden kaynaklanan stresi azaltır. Eli ve kolunda işlev sorunu olanlar için, açıklıklar, kişilerin ihtiyaçlarına uygun bağlantı elemanları ile kullanışlı el ve kollara kolayca erişebilecekleri şekilde yerleştirilmelidir.

Bedensel engelliler için tasarlanan gömlek ve tişört modelleri önden ya da arkadan açık olup bağlantı yeri ilik düğme ile değil velcro (cırt bant) ya da mıknatıs ile kapanmakta ve önden bakıldığında klasik kesimli olanlardan ayırt edilmemektedir (Şekil 1).





Şekil 1. Ön kapamalar

Alt giysi grupları da yanlardan velcro ya da fermuarla açılıp-kapanabilir şekilde (Şekil 2) üretilebilir. Pantolon ve etek modellerinde; bele rahatsızlık vermemesi, giyip çıkartma kolaylığı sağlaması ve beli iyi kavraması amacıyla lastikli bel kemeri kullanılmaktadır. Bazı pantolon modelleri yandan ya da önden açık olup, fermuar ya da velcro ile kapanmaktadır. Bel kemerine her iki yandan tutturulan büyük askılıklar pantolonun kolayca yukarı çekilmesinde kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 2. Pantolon kapamaları

İdrar kaçırma sorunu olan bireyler için tasarlanmış olan bir model, önden bakıldığında klasik görünümüne sahiptir ve arka bedende kalça bölgesine oyuntulu bir kesim uygulanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İdrar kaçırma sorununa yönelik geliştirilen model

Tekerlekli sandalyede oturan bireyler için, oturma esnasında karın bölgesinde yığılma olmaması için, belin arkası yüksek, önü ise daha düşük olmaktadır. Bu kişilerde genellikle hareketsizlik nedeniyle özellikle göbek olmaktadır. Dolayısıyla pantolon belinin ayarlanabilir olması önemlidir. Pantolonda paçaların ön ve yan bölümüne cep konulması yedek ped, ıslak mendil gibi temizlik gereçlerinin taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Paçalar rahatlık açısından genellikle bol yapılmaktadır.

İdrar torbası taşıyan hastalar için de tasarlanan pantolon modeli Şekil 4.'de görülmektedir.



Şekil 4. İdrar torbası taşıma kolaylığı için geliştirilmiş pantolon

### **Çalışma Ortamında Adaptif Giysiler**

Yaşlılar ya da engelli bireyler için çalışma esnasında giyilen giysiler daha da önem kazanmaktadır, çünkü bu insanlar fiziksel kusurlarını gizlemek ve toplum içinde ilişkiler kurabilmek için kendilerinden belli bir imaj oluşturmak istemektedir. Bu kişilerin işte giymiş olduğu gömleklerin

kapamalarının tamamı ya velcro ile ya da mıknatıs ile gerçekleştirilmiştir. Tekerlekli sandalyede olup, takım elbise kullananlarda ise ceketin bel kısmı oyuntuludur (Şekil 5).



Şekil 5. Takım elbise ve gömlek modeli

Elde hareket kısıtı olduğu için giysideki fermuarı kapatmakta zorlanan bireyler için mıknatıs yardımıyla tek el ile kapanmaya olanak veren fermuarlar geliştirilmiştir.

Uyarlanabilir giysiler herhangi bir uzuv eksikliğine sahip bireylerde giysilerin sarkmasını önlemek için iplerle büzülerek ya da velcro ile katlanarak ayarlanabilir hale getirilmektedir.

### **Çocuklarda Adaptif Giysi Uygulamaları**

Çeşitli fiziksel ve zihinsel zorlukları olan çocuklar için de kıyafet çok büyük önem taşımaktadır. Bazı gelişimsel gecikmelere sahip çocuklar arasında ortak bir davranış olan çocukların bezlerinin içeriğine erişmelerini engellemeye yardımcı olan tek parça giysiler kullanılır. Bu durumda beslenme tüplerine erişmek için giysinin orta bölümünde açıklıklar olacak şekilde giysi tasarlanır.

Özellikle otistik ve duyuusal hassasiyeti olan çocuklarda giysilerin yumuşak olması, giysiye etiket takılmaması ve giyside açık dikişlerin olmaması önem taşımaktadır. Bu çocuklar etiketin sertliği yanında çıkardığı hisırtılı sestten de rahatsız olmaktadır.

Otistik çocuklar giysileriyle aynı renkte olan düğmeleri ilikleyemedikleri için onlar için farklı düğme rengine sahip giysilerin de üretilmesi önemlidir.

Koordinasyon sorunu olan çocukların kendilerini çekmelerine yardımcı olacak ilmekli çoraplar bulunmaktadır.

### **Adaptif Ayakkabılar**

Özellikle tekerlekli sandalye kullanan bireylerde, az hareket nedeniyle, ayakların sıcak tutulması sorun olmaktadır. Ayakkabının ayağı sıkıca kavraması ve sıcak tutması gerekmektedir. Ayrıca ayakkabıların kapanma şeklinin de kolay olması için ayakkabılarda fermuar (Şekil 6) ya da velcro kullanılmaktadır.



Şekil 6. Fermuarlı ayakkabı modeli

### **Sonuç**

Kıyafetler hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır, çünkü sadece toplum içindeki durumumuzu yansıtan değil, aynı zamanda istenmeyen dış etkenlere karşı rahatlık ve koruma sağlamak anlamına gelen temel fizyolojik ihtiyaçlardan birini temsil eder. İnsan vücudunun maruz kaldığı sürekli dönüşümler, giyime ilişkin tercihlerini ve davranışlarını etkileme eğilimindedir.

Bedensel engelli bireyler yaşamları boyunca pek çok engelle karşı karşıya kalmaktadırlar. Giyim ile ilgili sorunları da bunlardan bir tanesidir. Giysiler ile ilgili problemlerin çözülmesi, onların fiziksel, psikolojik ve sosyal konforunu sağlayarak yaşam standartlarının yükseltilmesine katkı sağlayacaktır.

### **Kaynaklar**

- Antonela C., Viorica C., Laura M., Marian P., 2014, Designing Functional Clothes for Persons with Locomotor Disabilities, Autex Research Journal, Vol. 14, No 4.
- Chang H.J., Hodges N., Yurchisin J., 2014, Consumers with Disabilities: A Qualitative Exploration of Clothing Selection and Use Among Female College Students, Clothing and Textiles Research Journal, Vol 32(1) 34-48.
- Clulow E.E., 1974, Helping the Handicapped, Journal of the Royal College of General Practitioners, 24, 362-366 Manchester.
- Gupa, D., 2011, Functional clothing – Definition and classification, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 36, pp. 321-326.
- Hoffman, A., 1979, “Clothing for the Handicapped the Aged and Other People with Special Needs”, Charles C Thomas Publisher, Springfield, USA.
- Kaiser, S. B., Freeman, C. M., & Wingate, S. B., 1985, Stigmata and negotiated outcomes: Management of appearance by persons with physical disabilities. Deviant Behavior, 6, 205–224.
- Kidd, L. K., 2006, A case study: Creating special occasion garments for young women with special needs, Clothing and Textiles Research Journal, 24, 161–172.
- Ladd, P., 2003, “Understanding Deaf Culture: In Search of Deafhood. Multilingual Matters”, p. 502. ISBN 1-85359-545-4.
- Lamb, J. M., 2001, Disability and the social importance of appearance, Clothing and Textiles Research Journal, 19, 134–143.
- Mace, R.L., 1998, “A Perspective on Universal Design, Excerpt of a presentation”, FAIA, at “Designing for the 21st Century: An International Conference on Universal Design,” June 19, 1998, Hofstra University, Hempstead, New York.
- Roach, M. E., Eicher, J. B., 1973, “The visible self: Perspectives on dress. Englewood Cliffs”, NJ: Prentice Hall.
- Solomon, A., 2008, The New Wave of Autism Rights Activists. New York Magazine. <http://nymag.com/news/features/47225/> accessed 7 August 2014.
- Dünya Engellilik Raporu, 2011, Dünya Sağlık Örgütü.
- <http://www.tsd.org.tr>, TÜRKİYE ÖZÜRLÜLER ARAŞTIRMASI, 2002, Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı, ISBN 975 - 19 - 3596 - 2

# KONFEKSİYON SÜSLEMELERİNDE YENİ UYGULAMALARIN ARAŞTIRILMASI

## Investigation of New Applications in Apparel Embellishment

Zümrüt BAHADIR ÜNAL \* & Behiye Elif ŞAMLI \*\*

\* Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, zumrut.bahadir.unal@ege.edu.tr

\*\* Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, behiye.elif.samli@ege.edu.tr

**Özet:** Farklılık ve değişim arayışı, konfeksiyonun her alanında canlılığını korumaktadır. Sıradan olan ürünlerin bir kısmı, klasik olarak değerlendirilse de ufak tefek değişiklikler, klasiklerde de aranır olmuştur. Günümüzde ürünlere katma değer kazandıran uygulamalar gün geçtikçe daha önemli hale gelmiştir. Konfeksiyon ürünlerinde kullanılan çeşitli malzemeler, bu malzemelerin belirli bir uyum içinde birlikte kullanımı, model çeşitliliği, farklı birleştirme teknikleri, zıt renkli dikiş ipliklerinin kullanımı, çeşitli baskı ve nakış yöntemleri ve bazı teknik uygulamalarla ürün katma değeri artırılabilir. Tüm bu uygulamalar, süsleme olarak adlandırılmaktadır.

Süsleme tarihi insanlık kadar eski bir uygulamadır. Günümüzde teknolojik gelişmelerin yardımıyla bu alanda uygulanan yöntemlerde gelişme göstermiştir. Süsleme yöntemlerinin uygulanması için birçok farklı disiplin bir araya gelerek çok farklı ürünlerin ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Çağın değişen yaşam koşullarına uygun giysi ya da ev tekstili ürünlerinin geliştirilmesinde hem görünüm hem de fonksiyonellik bir arada düşünülmüştür. Dolayısıyla çeşitli hedef kitlelerine yönelik olarak çok çeşitli ürünler tüketiciye sunulmuştur.

Bu çalışmada tekstil malzemelerinin özelliklerinden yararlanılarak, süsleme teknikleri, günümüz teknolojisi sayesinde uygulanış biçimleri ve kullanım alanları araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Süsleme, dekoratif dikiş, pazarlama.

**Abstract:** The search for difference and exchange seeking preserve vitality in every area of the ready wear. Although some of the ordinary products are considered classic, minor changes are searched for in the classics. Today, applications that add value to products have become more and more important. Various materials used in apparel products, the use of these materials together in a certain harmony, variety of models, different joining techniques, the use of contrasting colored sewing threads, various printing and embroidery methods and some technical applications can increase the product added value. All these applications are called embellishment.

The history of embellishment is as old as humanity. Nowadays, with the help of technological developments, the methods applied have been developed in this field. Many different disciplines come together and become effective in the emergence of many different products for the application of embellishment methods. Both appearance and functionality are considered together for the development of clothing or home textile products suitable for the changing living

conditions of the age. Therefore, a wide variety of products are offered to the consumers from various target markets.

In this study embellishment techniques, applications with today's technology and their usage areas were investigated by the help of taking advantage of the properties of textile materials.

**Key Words:** Embellishment, decorative seam, marketing.

## Giriş

Bir yapıyı, bir eşyayı kullanım amacına yönelik olarak daha güzel göstermek için çeşitli obje ve tekniklerle yapılan estetik çalışmaların tümüne süsleme denir. Kullanım yerine göre çeşitlilik gösteren süsleme işlemi, konfeksiyonun her alanında uygulanabilmektedir. Bazen bir ürün detayı, süsleme görevinin yanında işlevsel de olabilmektedir. Süslemeler; model özelliği, kumaş özelliği, kullanım alanı, renk, yaş ve cinsiyet gibi birçok etkene göre değişiklik gösterebilmektedir. Yeni tekniklerin geliştirilmesiyle, gündelik yaşama renk katılmış, değişik malzeme ve aksesuarlarla renkli tasarımlar yapılarak zengin çalışmalar ortaya konmuştur. Günümüzde ürünlere katma değer kazandıran uygulamalar gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Ürünü süsleme, katma değer artmasına etki eden en önemli faktörlerden biridir. Tarih boyunca süsleme teknikleri, ülkelerin refah düzeyine, teknolojik gelişmelerine ve ülke kültürüne bağlı olarak gelişmiştir.

Giysilerin, kişinin karakterinin bir nevi dışa vurumu olduğu düşünülürse, sosyal yaşantıda da yeri çok büyüktür. Giysinin son halinin oluşturulmasında model kalıplarının çıkarılması artık beklentilerin karşılanmasında yetersiz kalmaktadır. Giysilere uygulanan süslemeler, zamanla model tasarımının ana unsurlarından biri haline gelmiştir.

Konfeksiyonda süsleme;

- Farklılık yaratmak,
- Giysi ya da ev tekstillerinde birleştirme yerlerini gizlemek,
- Çeşitli model uygulamaları yapabilmek,
- Giysiye fonksiyonellik katan bir özelliği güzelleştirmek,
- Pazarlanmasını kolaylaştırmak gibi nedenlerle yapılmaktadır.

Süsleme, eskiden birer el sanatı durumundayken, günümüzde modern teknoloji sayesinde seri üretimde de rahatlıkla uygulanmaktadır. Süsleme tipi, ürünün kullanım yerine, kumaşa, modele, hedef kitleye, moda ve mevsime göre seçilmelidir. Kumaş özelliğinin taşıyabileceği süsleme çeşidi olmalı ve uyumlu renkler kullanılmalıdır. Aksi halde süsleme işlemi, ürünü güzelleştirmek yerine kötü görünmesine yol açabilmektedir. Bu çalışmada, teknolojik gelişmelerin süsleme yöntemleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## **Süslemenin Tarihçesi**

Süslemecilik insanlık tarihi ile beraber başlamıştır. Kendini, yaşadığı ortamı ve kullandığı eşyayı göze en güzel gelecek şekilde süslemek, onu sanat anlayışı ile biçimlendirmek, insanoğlunun adeta doğal bir tutkusudur. İnsanlar süslenme ve süsleme isteği ile her dönemde yenilikler yapmış, giysilerini, evlerini, eşyalarını farklılaştırmak için süsleme tekniklerini kullanmışlardır. İnsanların gördüğünü kopya etme arzusu, onları dekoratif dikişleri yaratmaya zorlamış ve böylece dokumacılık sanatı ve süsleme gelişmiştir. Ülkelerin refah düzeyine ve teknik yeteneğine göre sürekli gelişmiştir. İkel topluluklar, süslenmek amacıyla yüzlerini ve bedenlerini bitkisel veya madensel boyalarla boyamışlardır. Boyaların kullanım nedeni kimi zaman süslenme kimi zaman da bir ifade tarzı olmuştur. İlkçağ uygarlıklarında, çeşitli hayvansal ve bitkisel maddeler, süslemede genellikle önce toz haline getirilip sonra ceviz, zeytin, badem, susam ve gül yağlarıyla karıştırılarak boya şeklinde kullanılmıştır (Gürel, 2005).

Milattan önce 2500 yıllarında Sümer medeniyetine ait kıyafetlerin işlemeli ve bilhassa etek kenarlarının saçaklı olduğu görülmektedir. (Çatal, 2002). Milattan önce 2000 yıllarında ise Hitit medeniyetinde kadın elbiseleri ve elbise üstüne giyilen tuniklere altın, gümüş simle bezemeler yapıldığını anlatan bazı belgeler bulunmaktadır. Milattan önce 100-612 yıllarında Asur medeniyetine ait kadın elbiselerinde de işlemler ve motifler görülmektedir. Asur medeniyetinde dokumacılık örneklerinin görülmesinin yanı sıra aplike tekniği ile yapılan halıları da görmek mümkündür. 8. ve 9'ncü Yüzyıllarda Orta Asya'da göçebe olarak yaşayan Uygur soylularının elbiselerinde zengin işlemler görülmektedir. Osmanlı döneminde de süsleme amacıyla işlemler, yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Süslemelerde 15. yüzyıl sonlarına kadar geometrik desenler ve hayvan desenleri kullanılmıştır. İslamiyetten sonra süslemelerde hayvan motiflerinden tamamen vazgeçilmiş ve 16. yüzyılın başında motifler, doğadaki meyve ve çiçeklere dönüşmüştür (Berker, 1981). 21. yüzyılda süsleme, modanın değişim göstermesiyle ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli farklılaşmaktadır.

## **Teknolojik Gelişmelerin Süslemeye Etkisi**

Giysi ve ev tekstili üretimlerinde çeşitliliği artırmak için süsleme tekniklerinden yoğun bir şekilde yararlanılmaktadır. Bazı süslemeler, halen el ile yapılmaktadır. Ancak birçok süslemeyi, teknolojideki gelişmelerden yararlanarak seri bir şekilde yapmak mümkündür. İnsanlardaki farklı olma ihtiyacı, sürekli yenilik arayışı bu alandaki gelişmeleri de canlı tutmaktadır. Günümüz teknolojiyle yapılan süslemelere aşağıda bazı örnekler verilmiştir.



## **Günümüz Baskı Teknolojileri**

Tekstil baskı teknolojilerindeki yenilikler, yeni tasarımların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Baskı işlemiyle yüzeyler üzerinde bölgesel boyama yapılabilir. Geleneksel baskı tiplerinin yanında son yıllarda şablon hazırlığı gerektirmeyen, renk çeşidi sınırı olmayan, daha pratik baskı yöntemleri geliştirilmiştir. Süblimasyona yönelik direkt baskı ve transfer bazlı yöntemler, gelişmiş teknolojilerle canlı renklerde ve yüksek çözünürlükte baskılara olanak sağlamaktadır.

### **Direkt Baskı**

Bu yöntemde boyalar, mikro parçacıklar halinde katı halde bulunur. Desenler, bilgisayar programı yardımıyla hazırlanmaktadır. Büyük ve karmaşık desenler, bir defada basılabilmektedir. Renk kullanımında sınır yoktur. Geride herhangi bir atık bırakmaması bu yöntemi aynı zamanda ekolojik yapmaktadır (Colchester, 2007).

### **Transfer Baskı**

Hazırlanan desenler baskı zeminlerin ölçülerine göre transfer kâğıdına dijital yazıcılarla aktarılmakta ve baskı patına serilen kumaşların üzerine yerleştirilmektedir. Baskı presiyle 35 saniye boyunca 180-220°C derecelik ısı altında transfer kâğıdındaki desenler dijital transfer baskı yöntemiyle polyester kumaş yüzeylerine aktarılmaktadır (Akpınarlı ve Bulat F, 2016).



Resim 1. Günümüz baskı örneği (ZWR 2014)

Resim 1'de baskı tasarımına giysiyi giyen kişinin müdahale etmesine izin veren modern baskı yöntemine örnek verilmiştir. Bu yöntemle kişiye özel baskılar yapmak mümkündür. Tek yapılması gereken; bilgisayar ortamında istenen desenin önceden tasarlanmış olmasıdır.

### **Taş Baskı**

Bu ürün grubunda kristal camlardan ve alüminyumdan üretilmiş; çeşitli şekil, boyut ve renklerden oluşan materyaller kullanılarak desen elde edilmekte ve kumaşa transfer edilmektedir. Taş baskıda desen, taş sayısına göre kalıplara dizilip taşıyıcı banda aktarılır.



Resim 2. Taş baskı örneği ([topmotif.com](http://topmotif.com))

### **Lazer Baskı**

Lazer ışını ile kesim yapılabilirdiği gibi lazer ışığının yoğunluğunun azaltılmasıyla lazer kazıma ve lazer markalama işlemleri olarak anılan lazer baskı işlemi yapılabilmektedir. Lazer ışınları ile kumaş ya da diğer dokular yakılarak ya da kazınarak istenilen desen, malzemenin yüzeyine aktarılmaktadır. Kullanılan malzemeler, lazer kesimde kullanılan malzemelerle benzerlik göstermektedir. Kauçuk, ipek, polyester ve diğer sentetik, ahşap hammaddelere sahip malzemelerle deri, suni deri, lateks, dokuma kumaş, cam, doğal keçe, suni keçe, kâğıt dâhil olmak üzere birbirinden farklı materyallere lazer baskı uygulanabilmektedir.



Resim 3. Lazer kesim ve baskı örnekleri (Nayak ve Padhye, 2016)

### **Renk Değiştiren Giysiler**

Akıllı tekstillerin önemli bir alanı olan renk değiştiren kromik materyaller sayesinde hem teknolojik hem de estetik ve görsel özellikleri zenginleştirilmiş tekstil ürünleri elde etmek mümkündür. Işığa ve ısıya bağlı olarak renk değiştirme özelliği, işlevsel olmanın ötesinde, kullanıcının ruh haline göre bedenindeki ısı değişikliklerine cevap vermesiyle kişiye özel renklerde kumaş ve giysi tasarımlarına olanak vermektedir. Tekstil ve moda

Tasarımcıları, ileri teknoloji ürünü tekstillerle 21. Yüzyıl modası için çok sayıda fikir ve ifade içeren duygusal ve dokunsal deneyimlerle yeni bir ufuk açmaya çalışmaktadırlar. Böylece tasarımcılar, yaratıcılığın ve yeniliğin sınırlarını zorlayarak alışılmışın dışında ürünler ortaya koymaktadırlar. Yüksek teknolojinin kullanımı ile elde edilen bu çalışmalarla tekstil ürünleri, katma değeri daha yüksek moda ve marka ürünler haline gelebilmektedir.

### **Isıyla Renk Değiştiren Giysiler**

Termokromik boyalar ısıya maruz kalınca rengini kaybedip Şeffaf bir hal almaktadır, ancak uygun kullanımla birlikte bir renkten diğerine dđnüşmesi de mümkündür.



Resim 4. Isıyla renk değiştiren giysiler (Temel, 2017)

### **Güneşle Renk Değiştiren Giysiler**

Fotokromik özellik ile normal Şartlarda Şeffaf olan boya pigmentleri güneş ışıklarına maruz kaldığında canlı renklere dđnüşmektedir. Normalde tek renk görünen kumaş, güneş ışığı ile rengarenk görünebilmektedir.



Resim 5. Güneşle renk değiştiren boyalar (Temel F, 2017)

### **Karanlıkta Işık Yayan Giysiler**

Işık yayma özelliği kazandıran, fosforlu boyalar olarak bilinen bu boyalar hiçbir toksik özelliğinin bulunmamasından dolayı yüzeylere rahatlıkla uygulanabilmektedir. Eski versiyonuna göre modifiye yapısı sayesinde daha uzun süre ışık yayma özelliği kazanmıştır.

### **Su ile Renk Değiştiren Giysiler**

Hidrochromik, yani su ile renk değiştiren boyalar sayesinde kıyafetlerde suya girdiğinde renk değişimi ya da farklı desen oluşumu mümkün olmaktadır. Boyanın işlevsel olarak kullanım alanı, yağmurda renk değiştiren Őemsiyeler ile suya girildiğinde renk ve desen değiştiren

mayolardan oluşmaktadır. Squidlondon tarafından üretilen şemsiyelerde her yağmur damlasıyla ayrı renk oluşumunu yakalamak mümkündür. Şemsiye kurumaya başladığında renkler yine kaybolmaktadır. Hidrokromik boyalar ile yağmurluk, duş perdesi gibi ürünler de üretilmektedir.



Resim 6. Su ile renk değiştiren ürünler (Squidlondon.com)

### **Karbonmonoksitle Renk Değiştiren Giysiler**

New York Üniversitesi öğrencileri tarafından üzerinde ciğer ve kalp resmi olan t-shirtler tasarlanmıştır. Organ resmi içindeki damarlar ortamdaki karbonmonoksit artışı ile mavi ışık verecek şekilde yanmaya başlamaktadır. Sigara ve araba egzozlarının neden olduğu, etrafa yayılan karbonmonoksit gazının etkisi ile aktifleşen bu tasarım, New York Üniversitesi öğrencileri tarafından bu gazların kişiye olan zararına ve doğa kirliliğine dikkat çekmek için geliştirilmiştir. İnteraktif moda projesi olarak adlandırdıkları bu giysinin akciğer veya kalp organı şekilleri üzerinde damarlar karbondioksitle renk değiştirmektedir. Tişört içindeki karbonmonoksit sensörü kirlilik seviyesini almakta, giyen kişinin etrafındaki atmosferin karbonmonoksit konsantrasyonuna bağlı olarak kirlilik seviyesi arttıkça damarlar daha yoğun yanmaktadır.



Resim 7. Karbonmonoksitle renk değiştiren ürün (McKone, 2011)

### **Led ile Yapılan Akıllı Uygulamalar**

Akıllı tekstiller, nanoteknoloji uygulamaların yanında elektronik gibi farklı disiplinlerin bir arada çalışmasıyla birlikte geliştirilmekte ve ortaya çıkan giysilere giyilebilir elektronikler denilmektedir.

### **Gece Parlayan LED Giysiler**

Moda alanında kullanılan akıllı tekstillerden biri de ışıklandırmalı kumaş olan yeni Dreamlux olan eski bilen adı Luminex®'dir. Luminex®, karanlıkta kendi ışığını yayan yeni bir kumaş çeşididir. Yüksek enerjili fizik deneyleri için geliştirilen çok küçük, esnek optik lifler sıradan kumaşa içine dokunmuştur. Güç, giysi içine dikilen bir pilden gelmektedir. Luminex® kumaş ile sahne kostümlerinden, el çantalarına, perdelere, masa örtülerine, yastıklara, yatak örtülerine ve giysilere kadar çok çeşitli alanlarda uygulamalar yapılmaktadır. Kumaş içine yerleştirilen akıllı mikroçipler vasıtasıyla ilerde kumaşın yanıp sönen desenlerle ışık yayması mümkün olmaktadır.



Resim 8. Gece parlayan led giysiler (Braddock ve O'Mahony, 2005)

### **Renk Değiştiren LED Giysiler**

Sentetik elyaf dokuma ile ultra-ince fiber optiklerden ışık yayan kumaş geliştirilmiştir. Optik lifler, kumaşın içine ışık enjekte edecek ultra-parlak LED'lere kumaşın kenarından bağlanmaktadır. Işık, kendi kendine aydınlatıcı tekstil olarak kumaşın bütün yüzeyi boyunca eşit olarak dağıtılmaktadır. Kumaş esnek, hızlı, hafif olduğu kadar aynı zamanda ısınmaz ve az güç tüketir. Güç kaynağı pil veya adaptör ile kullanılmaktadır. Bu kumaş, su geçirmez olup yıkanabilmektedir (lumigram.com).



Resim 9. Renk değiştiren led giysiler (Temel, 2017)

## Sonuç

Süslmeler, giysi modeline hareketlilik veren bir özelliktir. Özellikle hazır malzemeler ve aksesuarlar, giysiyi tamamlayan ve kişiden kişiye değişen zevklere göre tasarlanan, yan sanayisi geniş, birçok bilgi alanını bir araya getirebilen, tasarlanmasında uzmanlık gerektiren, estetik değerlerinin yanı sıra işlevsel nesnelere. Tekstil sektörü ile paralel yürütülen ve estetik kaygılar taşıyan bu ürünler giysilerin tamamlayıcıları olarak önemli bir yer tutmaktadır.

Teknolojideki gelişmeler, giysilerin süslenmesine de katkı sağlamıştır. Bu süsleme yöntemlerine her gün bir yenisi daha eklenmektedir. Bazı uygulamalar kullanılabilirken; bazıları henüz araştırma aşamasındadır. Bu uygulamalar, giysi tasarım aşamasında ürünlerin katma değerini artırmakta ve süslemenin sürekliliğini desteklemektedir. Geçmiş yıllarda emeğe dönük olan uygulamalar, teknolojinin gelişmesiyle bilgi yoğun bir sektöre dönüşmüştür. Dolayısıyla gelişmiş makinelerle ya da disiplinler arası çalışmalarla farklı süsleme yöntemleri doğmuştur. Bu yöntemlerle yapılan giysiler, sahne kostümü gibi farklı ve sıradanlıktan uzak giyinmek isteyen kişiler için önemli bir alternatif oluşturmuştur.

## Kaynaklar

- Akpınarlı F., Bulat F., (2016), Tekstil Yüzeylerinin Manipülasyonu Ve Dijital Transfer Baskı Denemeleri, Motif Akademi Halkbilimi Dergisi / Cilt:9, Sayı:17, (Ocak – Haziran), s.167-186.
- Braddock, S. ve O'Mahony, M., (2005), Techno Textiles, Revolutionary Fabrics For Fashion and Design No. 2. London: Thames And Hudson.
- Berker N., (1981), İşlemeler, Topkapı Sarayı Müzesi: 6. S. 3, Y. Kredi Bankası Kültür ve Sanat Hizmetleri, İstanbul.
- Colchester, C., (2007), Textiles Today, Thames & Hudson, China, S.84.
- Çatal, B., (2002), "Süsleme Teknikleri", Mesleki ve Teknik Eğitim Geliştirme Projesi (METGE), Ankara.
- Gürel, O., (2005), "Kimyanın Tarihi", Bilim, Eğitim ve Düşünce Dergisi, Ocak, Cilt 5, Sayı 1, Ankara.
- lumigram.com/it/ (ErişimTarihi:12/11/2019)
- McKone J., (2011), Color-Changing Shirts Detect Carbon Monoxide, <https://thecityfix.com>
- Nayak, R., Padhye R, (2016), The use of laser in garment manufacturing: an overview, Fashion and Textiles Springer Open Journal, s. 9.
- Temel F., (2017), Günümüzde Teknik Ve Akıllı Tekstil Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Tekstil Anasanat Dalı.

[www.topmotif.com/products/sports/other-sports/c-123/](http://www.topmotif.com/products/sports/other-sports/c-123/)

ErişimTarihi:7/11/2019)

[www.squidlondon.com/](http://www.squidlondon.com/) (ErişimTarihi:12/11/2019)

Yıldırın M., (2015), The Position in the Textile and Fashion Design of the Textile Material Transforming with Technology: Heat Sensitive Fabrics, 2. Ulusal Sanat ve Tasarım Eğitimi Kongresi, Ankara.

ZWR–Das Deutsche Zahnärzteblatt (2014); 123 (3) Forum der Industrie, S.116.

# HAZIR GIYİM ÜRETİMİNE YÖNELİK ÇEŞİTLİ YAZILIMLAR

## Various Softwares Intended for the Apparel Production

Behiye Elif ŞAMLI \* & Zümrüt BAHADIR ÜNAL \*\*

\* *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, behiye.elif.samli@ege.edu.tr*  
\*\* *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, zumrut.bahadir.unal@ege.edu.tr*

**Özet:** Teknolojideki gelişmeler, üretimin hemen hemen her aşamasında etkili olmuştur. Bu alanlardan bir tanesi de bilişim teknolojileridir. Bilişim teknolojileri ile dijital uygulamaların ve otomasyonun kullanımı, hız ve kolaylık sağlayarak üretim süreçlerini iyileştirmektedir. Hazır giyim üretiminde de artan koleksiyon sayıları ve azalan sipariş adetleri, üretim sürecinde esnek, hızlı ve hatasız olmayı gerektirmektedir. Konfeksiyon sektörüne yönelik, üretimin çeşitli alanlarında kullanılabilecek farklı yazılımlar geliştirilmektedir. Bu yazılımlar, bilgisayar destekli kalıp hazırlamadan iplik tüketim miktarının belirlenmesine, çeşitli ürünlerin birim maliyetlerinin hesaplanmasından hat dengelemeye kadar çok çeşitli alanlarda uygulanabilmektedir. Üretim takibi gibi pek çok işlem, uzaktan gerçekleştirilebilmektedir. Böylece yönetim kademeleri, üretimin her aşaması hakkında istediği yerde ve istediği an bilgi edinebilmektedir. Bu çalışmada, hazır giyime yönelik bilgisayar destekli tasarım ve üretim uygulamalarındaki son gelişmeler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yazılım, konfeksiyon, üretim

**Abstract:** Advances in technology have been effective in almost every stage of production. One of these areas is information technologies. Using information technologies and digital applications and automation improves production processes by providing speed and convenience. Increasing number of collections and decreasing order numbers in ready-made production require flexible, fast and error-free accurate of manufacturing production processes. Different softwares are being developed which can be used in various fields of the production for the garment sector. These softwares can be applied in a wide range of areas from computer aided pattern design to sewing thread consumption, calculation of unit costs of various products, and line balancing. Many operations such as production monitoring can be performed remotely. Thus, the administrative level, could obtain information about each stage of production wherever and whenever they want. In this study, the latest developments in computer aided design and in computer aided manufacturing applications are examined for ready wear.

**Key Words:** Software, apparel, production



## Giriş

Hazır giyim ürünlerinin model çeşitliliği, beden farklılıkları ve kumaşların farklı özellikleri üretim sürecini zorlaştırmaktadır. Hızlı modanın da etkisiyle artan koleksiyon sayıları ve azalan sipariş adetleri de esnek, hızlı ve minimum hata ile çalışmayı zorunlu hale getirmiştir. Hazır giyim üretim süreci kumaş ve malzeme temininden mamul çıkışı ve sevkiyata kadar birbiriyle bağlantılı çok sayıda işlem basamağından oluşmaktadır. Numune üretimi, numunenin müşteriye onaylatılması, planlama, kalıp ve pastal hazırlanması, kumaşların serilip kesilmesi, dikim işlemleri, kalite kontrol, ütü paket işlemlerinin bazıları işletme içinde bazıları da fason olarak dışarıda yaptırılmaktadır. Bu süreçlerde yararlanılan çeşitli otomasyonlar ve dijital uygulamalar; kumaş, malzeme ve işçilikte verimlilik sağlar, fireleri ve iş yükü azaltır, sonuç olarak zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanır. Geliştirilen yazılımlar, moda endüstrisinde önemli bir etkiye sahip olup işletmelere kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, bilgisayar destekli tasarım ve üretim uygulamaları olarak gruplandırılarak hazır giyim üretimine yönelik geliştirilen çeşitli yazılımlar araştırılmıştır.

## Bilgisayar Destekli Tasarım Uygulamaları

Bilgisayarlı giysi tasarım sistemlerinde; iki veya üç boyutlu kalıp tasarımı, sanal deneme ve gerçekçi giyim simülasyonu gerçekleştirmek mümkündür. Uzun yıllardır iki boyutlu kalıp hazırlayabilmeyi, serilendirmeyi ve yüksek verimlilikle pastal yerleştirmeyi sağlayabilen sistemler, sonraki yıllarda geliştirilen teknolojilerle üç boyutlu olarak kalıp provaları yapabilmeyi ve sanal numuneler üzerinde çeşitli kumaşları deneyebilmeyi sağlamaktadır. Ürünlerin, sanal olarak üç boyutlu mankenlerde görüntülenmesini sağlayan sanal deneme sistemi yazılımları bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleriyle birlikte uygulanabilmektedir.

Üç boyutlu sanal giysi simülasyonları sayesinde tasarımcılar yeni tasarımlarını hızlı ve hassas bir şekilde oluşturabilmekte ya da eski modellere kolayca ulaşarak mevcut tasarımlardan farklı modeller geliştirip değiştirebilmektedirler. Tasarımlar, çeşitli malzemelere ve kalıplara kolayca adapte edilebilmektedir. Geliştirilen ürünler, iki boyutlu tasarım sonrası üç boyutlu olarak gerçeğe çok yakın ve detaylı bir şekilde görülebilmektedir. Kumaşların gramaj, dökümlülük gibi bazı özelliklerine dair çeşitli parametrelerin sisteme girilmesiyle kumaş simülasyonu gerçekçi dökümlülüğe, kıvrımlara ve gölgelere sahip bir biçimde ekranda görülebilmektedir. Üç boyutlu simülasyon görüntülerinde pek çok detaya yer verilmiştir. Farklı bedenlerde ve vücut yapılarında mankenlerle istenen

duruşlarda, değişik kol hareketleri ya da yürüyüş gibi çeşitli hareketlerde gözlemlenebilmektedir. Üç boyutlu sanal modeller; vücut ölçüleri, yaş, cinsiyet, ten rengi, saç şekli, hatta hamileliğin aşamaları gibi onlarca farklı parametreyle görülebilmektedir. Kumaş özelliklerine çeşitli dış etkenlerin de eklenmesiyle, giysinin şekli ve vücutta duruşu doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. İstenen boyutlarda motif, logo ve desenler yerleştirilebilmektedir. Desenlerin yerleri ve kumaş görüntüsü uygun bir şekilde yerleştirilerek eş zamanlı olarak üç boyutlu modelde, giysi kalıbında ve pastal yerleşiminde incelenebilmektedir. Tasarımcıların malzeme satın almak zorunda kalmadan istenen desenlerde kumaşlardan ve aksesuarlardan oluşan bitmiş ürünlerin sanal versiyonlarını görebilmeleri maliyetleri düşürmektedir. Aynı zamanda tasarımcıların, tüm tasarım geçmişini görebilmeleri nedeniyle üretime geçiş süreçleri kısalmaktadır. Tasarımcı gerçeğe uygun animasyonlar sayesinde koleksiyonunu sanal olarak sunabilmektedir. Sanal numuneler üzerinde çalışabilmeyi sağlayan sistemler sayesinde numune üretimine ihtiyaç azaltılarak hızlı geri bildirimlerle, tasarımlar kolay, doğru ve düşük bir şekilde üretime hazırlanabilmektedir.

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim uygulamaları malzeme ile işçilikte verimli çalışmayı ve hataları azaltmayı sağlarken giysinin vücuda uyumunu iyileştirmeyi de kolaylaştırmaktadır. İki boyutlu kalıpların sanal dikişlerle bir araya getirilmesiyle oluşturulan üç boyutlu sanal giysi duruşları detaylı incelenebilmekte gerekirse iyileştirilebilmektedir. İstenirse üç boyutlu giysi modelleri iki boyutlu kalıplara da dönüştürülebilmektedir. Giysi kalıbına uygulanan iyileştirme ve modifikasyonlar eş zamanlı olarak üç boyutlu haliyle de görülebilmektedir. Böylece kalıplara, hassasiyetle ince ayarlamalar yapılabildiğinden vücuda uyumlu ve iyi bir şekilde oturan, hedeflenen tasarımın giysi formunda oluşturulması kolaylaşmaktadır. Üç boyutlu sanal numune üzerinde yaka oyuntusunun değiştirilmesi, pens oluşturulması gibi uygulanan çeşitli değişimler, giysi kalıbı üzerinde de eş zamanlı olarak görülebilmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Uygulanan değişimleri giysi kalıbında ve üç boyutlu sanal numunede eş zamanlı görebilme (Stylecad, assystbullmer, 2019)

Yaka açıklığının ayarlanması, askı genişlikleri gibi birçok düzeltme kolayca uygulanabilmektedir. Üç boyutlu drapaj ve dijital işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir.

Genel görünüm, orantı ve uzunluğun yanı sıra giysinin bol veya dar olduğu bölgeler incelenebilmektedir. Böylece giysi kalıbında hangi ölçülerde hangi değişiklikler gerekli ise yapılabilir. Giysinin vücuda uyguladığı basınç ve gerilim renklerle ifade edilmektedir. Sanal numunedeki renklerin incelenmesiyle sıkılık ve rahatlık kontrol edilebilmektedir. Örneğin Şekil 2'deki kırmızı bölgeler giysideki dar kısımları ifade etmektedir.



**Şekil 2.** Sanal numunede giysinin vücuda uyguladığı gerilimin renklerle ifade edilmesi (Vidya, 2019)

Serili bir kalıbın sanal olarak giydirilmesiyle tüm bedenlerde prova yapmak mümkün olmaktadır. Beden seri tablosu ile kalıpları bir arada görebilmek de ölçülerle giysi kalıbı görüntüsünü aynı anda kıyaslayabilmeyi ve düzeltebilmeyi kolaylaştırmaktadır.

Kumaş dışında giysi de bulunan ufak parçalar; dikiş tipleri ile fermuar, astar, tela gibi çeşitli yardımcı malzemeler de gerçekçi bir şekilde simüle edilebilmektedir. Bu sayede pantolon, gömlek gibi detaylı tasarımlarda da süreç kolaylaşmaktadır. İki boyutlu kalıp hazırlama sistemlerinde de kullanıcı dostu uygulamalar sürekli geliştirilmektedir. Örneğin kol ve gövde gibi birbirine dikilecek parçaların kıyaslanması; çok daha rahat uygulanır bir özelliğe sahip olmuştur. kıyaslama işlemi sırasında sabit parça ve hareket eden parçaların daha rahat takip edilebilmesi için sabit parça, referanslarda belirtilen aktif renginde iken hareketli parça orijinal rengini korumaktadır.

Otomatik pastal yerleştirme sistemleri günümüzde gelişen yapay zeka algoritmalarıyla istenen tüm ayarlara göre pastalı en kısa sürede çok yüksek verimle en ekonomik şekilde yerleştirmektedir. Kalıp dosyasında yapılan çit, düğme ekleme gibi değişiklikler pastal yerleşimi bozulmadan güncellenebilmektedir. Malzeme tüketimi, maliyet analizi gibi çeşitli amaçlara yönelik raporlar oluşturulabilmektedir. Kalıp çizim ekranında hızlı bir serileme uygulayarak oluşturulan maliyet pastalında kumaş çekme ve salma değerleri de verilebilmektedir. Maliyet pastalı oluşturma işlemi, farklı enlerde pastalları seçebilme özelliği, seriler oluşturma, çekme payı kullanabilme seçenekleriyle sürekli geliştirilmektedir. Verimlilik sağlayan tüm bu uygulamalar, ürün geliştirme prosesini hızlandırmakta ve moda ürünlerinin pazara sunulma süresini kısaltmaktadır.

### **Bilgisayar Destekli Üretim Uygulamaları**

Giysi kalıplarının pastal yerleşiminden sonra otomatik kumaş serim ve kesim sistemleri mevcuttur. Kesim planlama sistemleri ile karmaşık sipariş adetleri, renkleri ve kumaş türleri kolayca planlanabilmektedir. Kumaş serim sistemleri vakum teknolojileri yardımıyla yüksek esneklikte, hassas, hafif ve kaygan kumaşların serimini düzgün bir biçimde gerçekleştirebilmektedir. Yine kalın, sert ve esnek kumaşların ya da daha farklı zor kumaşların serimi de problemsiz ve yüksek verimlilikte yapılabilmektedir. Otomatik kesim sistemleri artan hızlarıyla gelişim göstermiştir. Geliştirilen teknolojiler, uyarı sistemleriyle önleyici bakım sağlayarak arızaların önüne geçilmeye ve uzaktan erişime olanak vermektedir.

Askılı üretim bantlarının kurulması ile; bir konfeksiyon fabrikasında kumaş girişinden, tamamlanmış mamullerin çıkışına kadar bütün operasyonların askılı taşıma sistemleri ile gerçekleştirilmesi, kullanıcılara birçok avantaj ve verimlilik sağlamaktadır. Ancak taşıma sistemleri kurulumunda ürün ve üretim yapısına uygunluk değerlendirilmelidir. Uygunluk durumunda bu sistem, metodu iyileştirip dikim bantlarında devamlılığı arttırırken, büyük bir zaman tasarrufu da sağlamaktadır. Taşıma sistemiyle daha az kırışıp daha az kirlenen ürünlerin dikim sonrası son işlemleri de daha az elemanla daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Ürünlerin sehpa yerine askıda düzgün bir şekilde beklemesi ütü ihtiyacını azaltmakta ve kaliteyi korumaktadır. Sürecin devamında ürünlerin depolanması ve sevkiyatında da askılı taşıma sistemleri ürünlerin kırışma ve kirlenme olmadan düzgün bir şekilde müşteriye ulaşmasını sağlamaktadır. Birçok firma lojistik merkezlerinde veya ana depolarında işlerin hızlı, verimli ve hatasız görülebilmesi için otomatik depolama ve sevkiyat sistemleri kurmaktadır. Askılı üretim bantlarında esneklik artmıştır, bantta ufak çaplı değişiklikler yapabilmek mümkün olmaktadır. Ara bölgeler, herhangi bir hatalı işlem durumunda süreci devam ettirerek esneklik sağlamaktadır.

Tekstil ve konfeksiyon sektörlerine yönelik malzeme ihtiyaç planlaması ve kurumsal kaynak planlaması gibi entegre bilgi sistemleri yazılımları da mevcuttur. Karmaşık konfeksiyon üretim süreçlerinin takibi için geliştirilmekte olan yazılımlar ile günümüzde, üretime ait detaylı bilgilere uzaktan erişebilmek mümkündür. Hammadde ve mamul ürünlerin miktarları, ürünlerin üretimin hangi aşamasında olduğunun görülebildiği bu sistemler ile sevkiyat tarihlerine uygun organizasyon ve planlama kolaylaşmakta, daha verimli ve kontrollü çalışılabilmektedir. Sürekli ve doğru bilgi akışı, sisteme çeşitli kısıtların tanımlanabilmesi ve uyarı sistemi hataları engellemektedir. Sipariş yönetiminin tamamen elektronik ortamda yapılması, müşteri temsilcilerinin siparişler üzerinde, koleksiyon ve numune detaylarında, teknik talimatlar ve ürün materyal listelerinde tam kontrolünü sağlamaktadır. Gecikme ve eksik bilgilenmeden kaynaklanan sorunlar önlenmektedir. Hammadde ihtiyaç planlama, tedarik ve depolama işlemleri, üretim maliyetinin önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu süreçte oluşabilecek hatalar, ciddi maddi kayıplara ve üretim aksamalarına neden olabilmektedir. İş süreçlerini dikkate alarak maliyet tahmini gerçekleştiren sistemler hızlı ve hatasız fiyat hesaplama olanağı vermektedir. Sipariş ya da malzeme bazında üretim finesi ve tedarik finesi dikkate alınarak varyant, beden ve özel sipariş koşulları bazında malzeme ihtiyacı hesaplanmakta ve malzeme talebine dönüştürülmektedir. Malzeme talepleri de otomatik olarak ilgili satın alma birimine yönlendirilmektedir.

Satın alma sırasında depoda bulunan serbest stoka göre uyarı oluşturulabilmekte, istenirse top ve parti bazında rezervasyon yapılabilmektedir. Anlık olarak stok maliyetleri görülebilmektedir. Bantlarda üretim adet ve verim takibi, demet ve operasyon barkodları ile işçi kartlarının okutulduğu sistemle gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamalarda kişisel bazda verimlilik değerlendirilebilmekte, bu sayede performansa göre ücret uygulanabilmektedir. Üretimde maliyet kontrolü, üretim metotlarının standardizasyonu ve atıl zamanları azaltan yöntemler sayesinde işçilik maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır. Kalite kontrol birimine ait veriler de bilgisayar ortamında toplanıp raporlanabilmektedir. Etüt veri tabanları ve iş süreçleri dikkate alınarak hızlı bir şekilde ön maliyet hesaplanması ile müşterilere fiyat teklifi sunulması kolaylaşmıştır. Önceki satın alma verileri de karar süreçlerine destek olmaktadır. Tedarikçi değerlendirme imkanı ile de dönemsel tedarikçi maliyetleri incelenebilmektedir. Yönetim kademeleri, üretimin her aşaması hakkında istediği yerde ve istediği an bilgi edinebilmektedir. Veriler raporlanıp değerlendirilebilmektedir. Yaygın kullanılan çeşitli muhasebe programlarına entegre olabilen gelişmiş süreç yönetim sistemleri ile numune ve fason takibi yapılabilmektedir. Teknik talimatlara, ölçü tablolarına, model görsellerine kolayca ulaşılabilmekte, hat dengelemeyi kolaylaştırarak üretimin optimum bir şekilde gerçekleştirilebilmesine yardımcı olmaktadır.

Moda dünyasında çok sayıda tasarımcı gerçekten yenilikçi ve benzersiz parçalar yaratmak için üç boyutlu yazıcıları kullanmaktadır. Önemli moda dergileri üç boyutlu moda mühendisliğinin sektörde önemli ve gelişmekte olan bir çalışma alanı olduğunu belirtmiştir. Birçok farklı sektörde üç boyutlu yazıcılardan yararlanılmaktadır. Önceleri şov amaçlı bir konser sahnesinde ya da bir defilede görülen bu ürünler yavaş yavaş günlük kullanımda yerini almaktadır. Günümüzde çeşitli markalar, sporcuya en iyi koşu deneyimi yaşatmak için her bireyin ayağına göre uyarlanmış ayakkabılar yaratmayı hedeflemektedir. Şekil 3'te çeşitli tasarımcıların, üç boyutlu yazıcılardan elde ettiği ürünlerden oluşturduğu koleksiyonlardan örnekler görülmektedir. Ürün geliştirmede devrim niteliğindeki bu uygulamaların maliyetinin yüksek oluşu ve kullanım zorlukları, bu alanda çözülmesi gereken sorunların başında gelmektedir (Fisher, 2013).



**Şekil 3.** Üç boyutlu yazıcılardan elde edilen çeşitli giysiler (BluEdge Staff, 2018)

Sanal kıyafet deneme sistemleri mağazalarda kullanıcının beden ve boyutlarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Uygulama sonucunda müşterilerin ilgilerinin çekilmesiyle satışlarda keskin bir artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Gelişmelerle birlikte mağazalardan ev kullanımına uygun hale getirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Böylece günümüzde neredeyse dördte biri iade edilen internet alışverişlerinin iade sorununa çözüm olacağı düşünülmektedir. Diğer yandan iyileştirmelerle birlikte dalış ve kayak kıyafeti gibi hassas beden ölçümü gerektiren ürünlerde de uygulanması hedeflenmektedir. Ülkemizde de bu tarz teknolojik uygulamalar hayata geçirilmektedir. İstanbul'da bir alışveriş merkezinde birkaç ay önce açılan akıllı moda mağazasında müşteriler, ürünü kabinlerdeki akıllı aynalar sayesinde inceleyebilmektedir. Dijital deneyimin yanı sıra ürünü deneme imkanı da sağlanmaktadır.

Konfeksiyon sektörüne yönelik, üretimin çeşitli alanlarında kullanılacak farklı yazılımlar geliştirilmektedir. Bu yazılımlar, bilgisayar destekli kalıp hazırlamadan (Liu vd., 2018) iplik (Doğan ve Pamuk, 2014) veya kumaş tüketim (Kalkancı ve Özer, 2018) miktarının belirlenmesine, çeşitli ürünlerin birim maliyetlerinin (Özdemir vd., 2015) hesaplanmasından hat dengelemeye kadar çok çeşitli alanlarda uygulanabilmektedir. Farklı ürün grupları ve üretim süreçleri, yazılımların işletmeye özel olarak geliştirilmesini gerektirmektedir. Teknoloji kullanımı ve üretiminin önemli bir şart haline geldiği günümüz koşullarında, geliştirilen yazılımların tanıtılması ve piyasada tutunabilmesi için destek görmesi önem kazanmaktadır.

## **Sonuç**

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim, sektörde önemli bir role sahip olup bu farklı endüstriyi değiştirmeye devam ederek modanın sınırlarını zorlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle, giysi imalat sürecinin tümünün güçlü bir algoritmayla ve çok az insan varlığıyla makinelerle yapılacağı bir gelecek beklenmektedir. Gelişen cad sistemleriyle isteğe göre üretim ve üç boyutlu görüntüleme ve yazıcılar sektörü çoktan etkilemiştir. Vücut ölçülerinin yanı sıra vücut tiplerindeki farklılıklar bu teknolojilere olan gereksinimleri arttırmaktadır. İleriki yıllarda ürünlerin, simülasyonlarının müşteri tarafından beğenilip sipariş edilmesiyle üretilmesinin yaygınlaşacağı beklenmektedir.

Çok sayıda araştırmada (Dimitrijevic vd., 2016; Suh vd., 2012) belirtildiği gibi konfeksiyon sektöründe CAD/CAM uygulamaları süreçleri kolaylaştırıp hızlandırarak işletmelere fayda sağlamaktadır. Üretim koşullarının modernizasyonu ile esnek ve verimli bir şekilde kaliteli ürünler üretilmektedir. Yaygınlaşmakta olan bu uygulamalar fireleri, proses sürelerini ve işlem maliyetini azaltarak ürünlerin piyasaya sunulmalarını hızlandırarak işletmelerin rekabet edebilirliğine destek olmaktadır.

## **Kaynaklar**

BluEdge Staff (2018). [www.bluedge.com/blog/miscellaneous/12-fashion-designers-whove-embraced-3d-printing](http://www.bluedge.com/blog/miscellaneous/12-fashion-designers-whove-embraced-3d-printing), (Erişim tarihi: 07.11.2019)

Dimitrijevic D., Paunjoric P., Adamovic Z., Janjic Z., Nikolic D., Janjic N. (2016). Flexible Application of Cad/Cam Systems and Optimization of the Production Process as Factors of Strengthening the Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises of Apparel Industry in Developing Countries, *Journal of the Balkan Tribological Association* Vol. 22, No 4-I, 3733–3747.

Doğan, S., Pamuk, O. (2014). Calculating the amount of sewing thread consumption for different types of fabrics and stitch types. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24(3), 317-323.

Fisher A. (2013). 3D-printed fashion: off the printer, rather than off the peg, [www.theguardian.com/technology/2013/oct/15/3d-printed-fashion-couture-catwalk](http://www.theguardian.com/technology/2013/oct/15/3d-printed-fashion-couture-catwalk), (Erişim tarihi: 07.11.2019)



Kalkanci, M., & Özer, İ. (2018). Developing a software calculating fabric consumption of various bathrobe models. *Industria Textila*, 69(5), 406-411.

Liu, K., Zeng, X., Bruniaux, P., Tao, X., Yao, X., Li, V., & Wang, J. (2018). 3D interactive garment pattern-making technology. *Computer-Aided Design*, 104, 113-124.

Özdemir, S., Utkun, E., Yeşil, E. (2015). An application study to create a mobile-based cost calculation software regarding woven fabric manufacturing in small-scale textile businesses, *Journal of Textile and Apparel*, 25(3), 183p.

Porterfield, A., Lamar, T. A. (2017). Examining the effectiveness of virtual fitting with 3D garment simulation. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 10(3), 320-330.

Sayem, A. S. M., Kennon, R., & Clarke, N. (2010). 3D CAD systems for the clothing industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 3(2), 45-53.

Stylecad, 2019, New Features in Vstitcher 8.0, [www.stylecad.com/3d#/](http://www.stylecad.com/3d#/) (Erişim tarihi: 07.11.2019)

Suh, M., Lee, H. J. (2012). Strategic Use of CAD/CAM Technology for Apparel Production. *AATCC Review*, 12(1), 37-42.

Trivedi, V. (2014). Innovation in computer aided garment designing.

Vidya,2019,community.human-solutions.com/vidya/front\_content.php?idcat=620, (Erişim tarihi: 05.11.2019)

# YENİ NESİL REJENERE SELÜLOZ LİFLERİNDEN ÜRETİLEN ÖRME KUMAŞLARIN TERMOFİZYOLOJİK KONFOR ÖZELLİKLERİ

Ramazan ÇİÇEK & Nilgün ÖZDİL<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir,  
nilgun.ozdil@ege.edu.tr & ciceek.ramazan@gmail.com

**Özet:** Günümüzde, doğal bir lif olan pamuk lifine alternatif olması amacıyla geliştirilen pek çok selülozik esaslı rejenere lif üretilmektedir. Bu lifler farklı ihtiyaçlara cevap verebilmekte ve bunların kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışmada, pamuk ve konvansiyonel viskonun yanı sıra rejenere lif olarak lyocell, modal, promodal, mikromodal, bambu liflerinden ve bunların pamuk karışımları kullanılarak üretilen ipliklerden örme kumaşlar üretilmiştir. Ham kumaşlara boyama işlemi yapıldıktan sonra kumaşların hava geçirgenliği, bağıl su buharı geçirgenliği, ısı iletkenlikleri gibi termofizyolojik konfor özellikleri istatistiksel olarak kıyaslamalı analiz edilmiştir. Giysilerde kullanılan kumaş vücudun ısı dengesini optimize ederek kişinin kendisini konforlu hissetmesini sağladığı için termofizyolojik açıdan belirleyici bir faktör olmaktadır. Yapılan bu çalışmada %100 rejenere liflerden üretilen kumaşların %100 pamuk ve aynı liflerin %50 pamuk karışımı kumaşlara göre daha yüksek hava ve bağıl su buharı geçirgenliği ile ısı direnç gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rejenere selülozik lif, modal, promodal, mikromodal, lyocell, bambu, örme kumaş, termofizyolojik konfor

## Giriş

Lif, kumaşı meydana getiren temel yapı olup, lif özellikleri kumaşın sahip olduğu performans özelliklerini, fiziksel ve konfor özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Günümüzde artan talep ve moda bağlı olarak lif tüketim miktarları artış göstermekte olup, son yıllarda geliştirilen yeni üretim teknikleri ile farklı özelliklere sahip selülozik esaslı rejenere lifler üretilmiştir.

Rejenere lifler, doğada bulunan bazı polimerlerin yalnızca fiziksel yapılarında değişiklikler yapılarak lif haline getirilmesiyle elde edilmektedir. (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007) Hammaddesi kayın ağacı olan viskon, aynı pamuk gibi selülozdan oluşur. (Karsu, 2018) Viskonun pamuğa göre kristalinitesinin daha düşük olmasından dolayı pamuktan daha fazla nem absorplamaktadır ancak dayanımı pamuğa göre düşüktür. Günümüzde en çok üretilen ve tüketilen rejenere selüloz lif viskon olmasına rağmen, yaş haldeki düşük mukavemet göstermesi modal liflerinin gelişimine neden olmuştur. (Dirgar, 2017) Normal viskon liflerinden daha yüksek dayanımlı özel viskon liflerinin üretimi gittikçe artan bir önem kazanmıştır. Normal viskon lifleri birinci, modal lifleri ikinci ve lyocell lifleri ise rejenere selüloz liflerinin üçüncü nesil

temsilcileri olmuştur. (Seventekin, 2003; Kıvrak, 2018) Modal lifleri, yumuşak, pürüzsüz ve iyi hava geçirgenlik özelliklerine sahiptir. (Bhattacharya and Ajmeri, 2014) Modal liflere alternatif olarak üretilen mikromodal lifler daha incedir ve elde edilen materyalleri daha hafif hale getirmiştir. (Sarioğlu and Çelik, 2015) Mikromodal iplik, birim kesitte modal ipliğe göre daha fazla lif içerir. (Karsu, 2018) Rejenere selüloz liflerinin üçüncü kuşağı olarak kabul edilen Lyocell liflerinin en önemli özellikleri yüksek molekül oryantasyonu ve yüksek kristalin derecesi nedeniyle yaş kopma dayanımlarının yüksek olmasıdır. (Seventekin, 2003) Kabuk ve gövde kısmından oluşan bir yapıya sahip olan Lyocell liflerinin gövde kısmında, birbirine paralel halde yer alan makro fibriler yer almaktadır. Lyocell liflerinin en önemli özelliklerinden fibrilasyon özelliği: lifteki dış tabakanın liften sıyırılması ve soyulması şeklinde ifade edilmektedir. (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007) Promodal lifleri modal ve Lyocell liflerinin %65-%35 oranında karışımından elde edilirler. (Karsu, 2018) Çalışmada kullanılan diğer lif bambu lifidir. Rejenere bambu lifleri doğal bambu liflerine göre daha düşük kristaliniteye sahiptir ve viskona çok benzer. (Wang and Gao, 2006) Bambu liflerinin üretimi viskon liflerine benzemekle birlikte ipek ve kaşmir tuşesi vermesi bakımından viskondan farklılaşır. Bambu liflerinin özellikleri doğal antibakteriyel olması, parlak görünümü nedeniyle merserizasyon gerektirmemesi, çok hafif olması, serinlik hissi vermesi olarak sıralanabilir. (Karsu, 2018)

Bir ortamda kendini iyi hissetme durumu olarak ifade edilebilen giysi konforu, günümüz yaşam standartlarının artması ve modanın etkisiyle kıyafet seçiminde önemli bir yere sahiptir. Giysilerin konfor hissini vermesi için kişilerin hareketlerini kısıtlamamaları ve vücudun ısıl dengesini optimize etmeleri gerektiği söylenebilir. (Akaydın and Gül, 2014) İnsanın kendini konforlu hissetmeye devam edebilmesi için kazanılan ve kaybedilen ısı arasındaki ısıl dengenin sürdürülmesi gerekmektedir. Bu durumda giysi, konfor için belirleyici bir faktör olmaktadır. (Oğlacioğlu ve Marmaralı, 2010)

Kumaşların iyi konfor özelliklerine sahip olması beklenir. Örneğin termofizyolojik konfor açısından hava geçirgenliği özelliği giysilerin nefes alabilirliğini belirler, vücuttaki fazla ısının daha kolay uzaklaştırılmasını sağlar. (Oğlacioğlu ve Marmaralı, 2017) Ayrıca termofizyolojik konfor açısından diğer önemli parametreler ise kumaşların ısıl iletkenlik, ısıl direnç gibi ısıl özellikleridir. (Özdil, 2018)

Bu çalışmanın amacı, yeni geliştirilen liflerin %100 olarak ve pamuk ile karışım ipliklerinden elde edilen örme kumaşların termofizyolojik konfor özelliklerinin incelenmesidir.

## Yöntem

Pamuk ve konvansiyonel viskonun yanı sıra rejenere lifler olarak lyocell, modal, promodal, mikromodal, bambu liflerinden elde edilmiş iplikler ve bunların %50 pamuk karışımları kullanılmıştır. İplikler Ne 30 numarada,  $\alpha=3.6$  büküm katsayısına sahip olup aynı iplik üretim hattında karde iplik olarak üretilmiştir. Örme işleminden sonra ham kumaşlara işletme koşullarında kasar, boyama ve yıkama işlemleri yapılmıştır. Numuneler, standart atmosfer şartlarında ( $20\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\%65\pm 4$  bağıl nemde) 24 saat boyunca kondisyonlandıktan sonra termofizyolojik konfor ile ilgili testler yapılmıştır. Kumaşlara hava geçirgenliği, bağıl su buharı geçirgenliği ve ısı özellikleri ile ilgili testler uygulanmıştır. (Çiçek, 2019)

### Hava Geçirgenliği Tayini

Hava geçirgenlik testi TS 391 EN ISO 9237 standardı esas alınarak Textest FX 3300 cihazında  $20\text{ cm}^2$  kumaş yüzeyi ve 200 Pa basınç altında ölçülmüştür. Her bir kumaş numunesinden 10'ar tekrar yapılarak ortalama sonuçlar  $1/\text{m}^2/\text{s}$  olarak verilmiştir.

### Bağıl Su Buharı Geçirgenliği Tayini

ISO EN 11092'e göre Permetest cihazında kumaş numunelerinin bağıl su buharı geçirgenliği ölçülmüştür. Cihazda numunesiz bir ölçüm yapıldıktan sonra numune ile ölçüm yapılarak, Permetest cihazından elde edilen bağıl su buharı değerleri (%) değerleri elde edilir. Bağıl su buharı geçirgenliği,

$P = 100 (q_s / q_o) [\%]$  formülünden hesaplanır.

Formülde;

$q_s$ : Numune ile su buharı geçirgenliği değeri

$q_o$ : Numunesiz su buharı geçirgenliği değeri (Marmaralı vd., 2007).

### Isıl Özelliklerin Tayini

Kumaşların ısı özelliklerinin tayininde Alambeta test cihazı kullanılmıştır. Kumaş numunelerine ısı iletkenlik, ısı soğurganlık, ısı direnç testleri yapılmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır.

Cihaz genel olarak bir ölçüm kafası ile numunenin üzerine yerleştirildiği bir tabandan oluşmakla birlikte ölçüm başladığı anda, ısı akış sensörünü içinde bulunduran ölçüm kafası aşağıya inmekte ve alt plakaya düzlemsel bir şekilde konulan numuneye temas etmektedir. Bu esnada numunenin yüzey sıcaklığı birden değişmekte ve ısı akış değerleri cihazın bilgisayarı tarafından kaydedilmektedir. Ayrıca cihaz, numune kalınlığını bir fotoelektrik sensör aracılığıyla ölçmektedir. (Güney ve Üçgül, 2010)

Isıl iletkenlik, bir materyalden, birim kalınlıkta, 1°K sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsüdür. Isıl iletkenlik;

$\lambda = q \cdot h / \Delta T$  (W/m K) formülü ile gösterilir. Burada, q = ısı akış miktarı (W / m<sup>2</sup>),  $\Delta T$  = sıcaklık farkı (K) ve h = kalınlık (m)'tir. (Marmaralı vd., 2006)

Isıl soğurganlık, insan derisinin tekstil materyali gibi herhangi bir objeye kısa bir süre dokunması durumunda elde edilen soğuk ya da sıcak hissi yönünden kumaşın karakteristiğini değerlendirmede yardımcı olmaktadır. Isıl soğurganlık değeri düşük olan kumaşlar sıcak hissi verirken, yüksek değeri olanlar soğuk hissi verirler (Güney and Üçgül, 2010).

Isıl soğurganlık aşağıdaki formülle hesaplanır.

$b = (\lambda \rho c)^{1/2}$  ( W s<sup>1/2</sup> /m<sup>2</sup>K) ile gösterilmektedir.

Burada,  $\lambda$  = ısı iletkenlik (W/mK),  $\rho$  = kumaş yoğunluğu (kg m<sup>-3</sup>), c= özgül ısı (J/ kgK)'dir.

Isıl direnç materyalin ısı akışına karşı dayanımını, bir başka deyişle ısı izolasyon özelliğini gösteren bir parametredir. Bu parametre materyalin ısı iletkenliği ve kalınlığı ile ilişkilidir ve aşağıdaki formülle hesaplanır. (Kanat ve Özdil, 2013)

$R = h / \lambda$  , ( m<sup>2</sup>K/W)

Burada, R: Isıl direnç, h: materyal kalınlığı (m),  $\lambda$  : Isıl iletkenlik katsayısı (W/m K) dir.

Elde edilen test verileri SPSS Statistics 22 programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. (Çiçek, 2019)

## **Bulgular**

Çalışmada kullanılan kumaşların gramaj ve kalınlık değerleri Tablo1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan kumaşların gramaj ve kalınlık değerleri

<b>Kumaş grupları</b>	<b>Gramaj (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kalınlık (mm)</b>
Lyocell	199,7	0,91
Pamuk	264,3	1,05
Modal	224,8	0,89
Bambu	251,1	0,90
Mikromodal	228,4	0,84
Promodal	195,1	0,82
Viskon	267,5	0,88
%50 Pamuk - %50 Bambu	254,4	0,96
%50 Pamuk - %50 Modal	253,8	0,94
%50 Pamuk - %50 Mikromodal	206,2	0,92
%50 Pamuk - %50 Lyocell	268,2	0,87
%50 Pamuk - %50 Visikon	219,5	0,98
%50 Pamuk - %50 Promodal	246,9	0,94

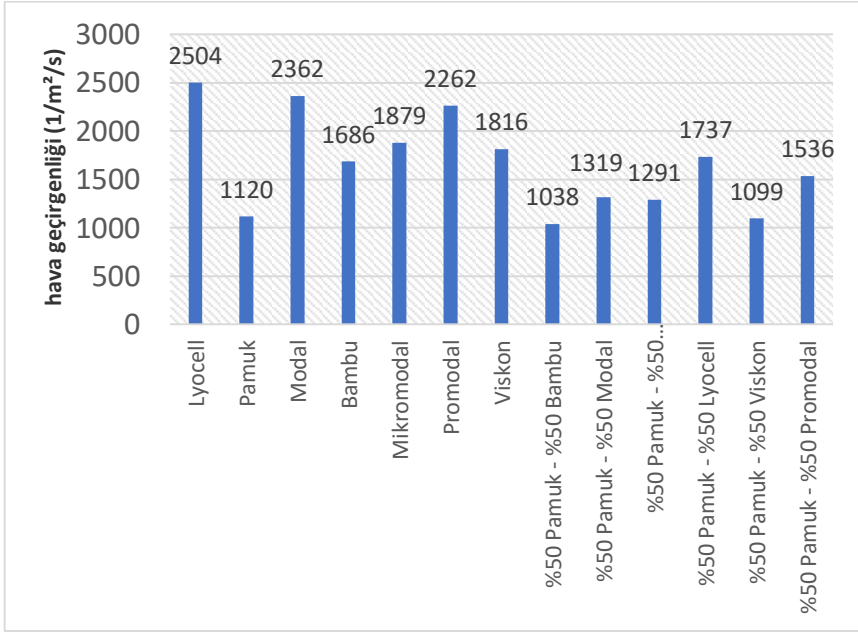
Kumaşların kalınlık değerleri incelendiğinde %100 pamuk içerikli kumaşın en kalın kumaş olduğu, %100 promodal içerikli kumaşın en düşük kalınlık değerine sahip olduğu görülmektedir.

### **Hava Geçirgenliği Tayini Deney Sonuçları ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi**

Hava geçirgenliği tayin deneyleri sonucunda elde edilen kumaş numunelerinin hava geçirgenliği sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Kumaşların hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde, en iyi hava geçirgenlik özelliğine sahip kumaşın %100 lyocell içerikli kumaş olduğu, en düşük değere sahip kumaşın %100 pamuklu kumaş olduğu tespit edilmiştir. Karışım kumaşlarda ise %50 pamuk- %50 lyocell içerikli kumaş en yüksek hava geçirgenliği göstermiştir.

Karışimsız kumaş numunelerinin hava geçirgenliği değerleri istatistiksel olarak analiz edilmesi için varyans analizi uygulandığında %95 güven aralığında kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Tablo 2’de karışimsız kumaş

numunelerinin hava geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları verilmektedir.



**Şekil 1.** Hava geçirgenliği tayini deney sonuçları

Rejenere selülozik lifler, doğal liflerden daha yüksek gözeneklilik göstermektedirler (Abu-Rous et al., 2006). Lyocell lifleri en yüksek olmak üzere rejenere selüloz liflerinden üretilen kumaşlar %100 pamuk ve pamuk karışımı kumaşlara göre yüksek hava geçirgenliği göstermiştir.

**Tablo 2.** Karışimsız kumaş numunelerinin hava geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları

Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
pamuk	10	1120,10				
bambu	10		1686,00			
viskon	10		1816,00	1816,00		
mikromodal	10			1879,00		
promodal	10				2262,00	
modal	10				2362,00	
lyocell	10					2504,00
Sig.		1,000	,069	,373	,159	1,000

%50 pamuk karışimli kumaş numunelerinin hava geçirgenliği değerleri için yapılan varyans analizinde kumaş numunelerinin ortalamaları arasında

önemli farklılık olduğu bulunmuştur. Tablo 3'te %50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin hava geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları verilmektedir.

**Tablo 3.** %50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin hava geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları

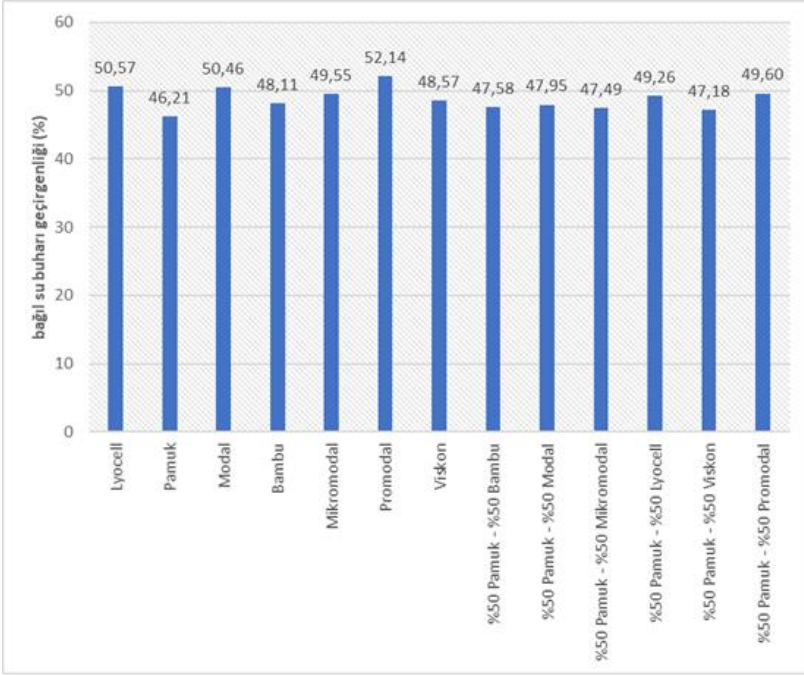
Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
%50 pamuk-bambu	10	1037,60			
%50 pamuk-%50 viskon	10	1099,00			
%50 pamuk-%50 mikromodal	10		1291,00		
%50 pamuk-%50 modal	10		1319,00		
%50 pamuk-%50 promodal	10			1536,00	
%50 pamuk-%50 lyocell	10				1737,00
Sig.		,178	,536	1,000	1,000

Bu grupta %100 rejenere liflerden üretilen kumaşlara paralel olarak pamuk-lyocell karışımı kumaşlar en yüksek hava geçirgenliği değeri vermiştir.

### **Bağlı Su Buharı Geçirgenliği Tayini Deneysel Sonuçları ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi**

Bağlı su buharı geçirgenliği tayin deneyleri sonucunda elde edilen kumaş numunelerinin bağlı su buharı geçirgenliği sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.





**Şekil 2.** Bağıl su buharı geçirgenliği tayini deney sonuçları

Kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği tayini deney sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde %100 pamuk içerikli kumaşın en düşük değere sahip olduğu, %100 promodal içerikli kumaşın ise en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. %100 pamuklu kumaşın en kalın kumaş olmasının düşük su buharı geçirgenliği değerine sahip olmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 2'den görüleceği gibi pamuk karışımlı liflerden üretilen kumaşlar %100 rejenere liflerden üretilen kumaşlara göre daha düşük bağıl su buharı geçirgenliği değeri göstermiştir.

Karışimsız kumaş numunelerinin bağıl su buharı geçirgenliği değerleri için yapılan S-N-K testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Bu kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği değerleri için, %95 güvenle kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu söylenebilir.

**Tablo 4.** Karışimsız kumaş numunelerinin bağıl su buharı geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları.

Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pamuk	5	46,2140		
bambu	5		48,1140	
viskon	5		48,5740	
mikromodal	5		49,5480	
modal	5		50,4580	50,4580
lyocell	5		50,5720	50,5720
promodal	5			52,1420
Sig.		1,000	,058	,143

Rejenere selülozik liflerin doğal liflerden daha yüksek gözenekliliğe sahip olması, özellikle lyocell lifinin yuvarlak kesite sahip olması iplikler ve lifler arası gözenekliliği artırmakta ve su buharı geçişini kolaylaştırmaktadır.

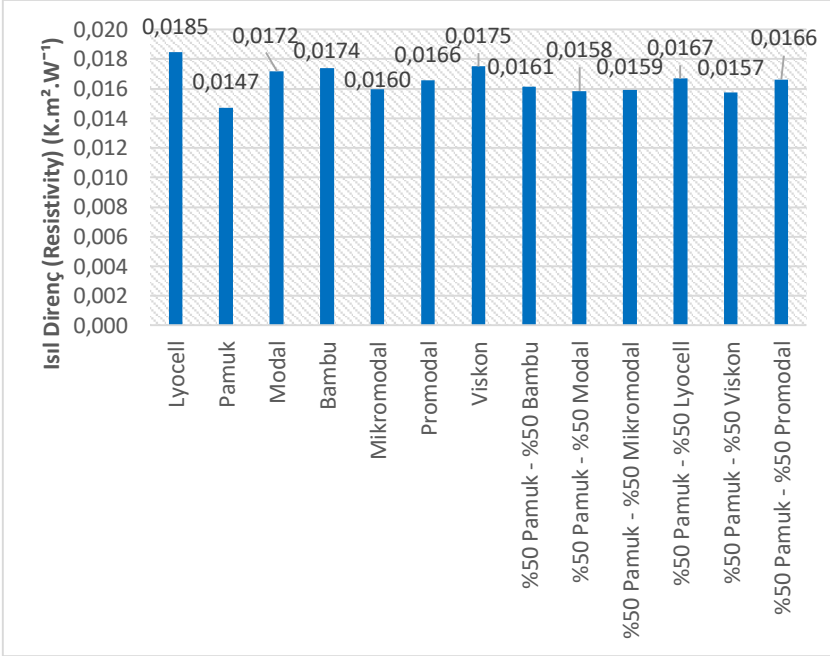
**Tablo 5.** %50 pamuk karışımlı kumaş numunelerinin bağıl su buharı geçirgenliği değerleri için S-N-K testi sonuçları

Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05
		1
%50 pamuk-%50 viskon	5	47,1820
%50 pamuk-mikromodal	5	47,4920
%50 pamuk-%50 bambu	5	47,5800
%50 pamuk-%50 modal	5	47,9540
%50 pamuk-%50 lyocell	5	49,2620
%50 pamuk-%50 promodal	5	49,6000
Sig.		,077

%50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin bağıl su buharı geçirgenliği değerleri için yapılan varyans analizinde ise kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür. (Tablo 5)

### Isıl Özelliklerin Tayini Deney Sonuçları ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Kumaş numunelerinin ısı direnç değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Isıl direnç tayini deney sonuçları.

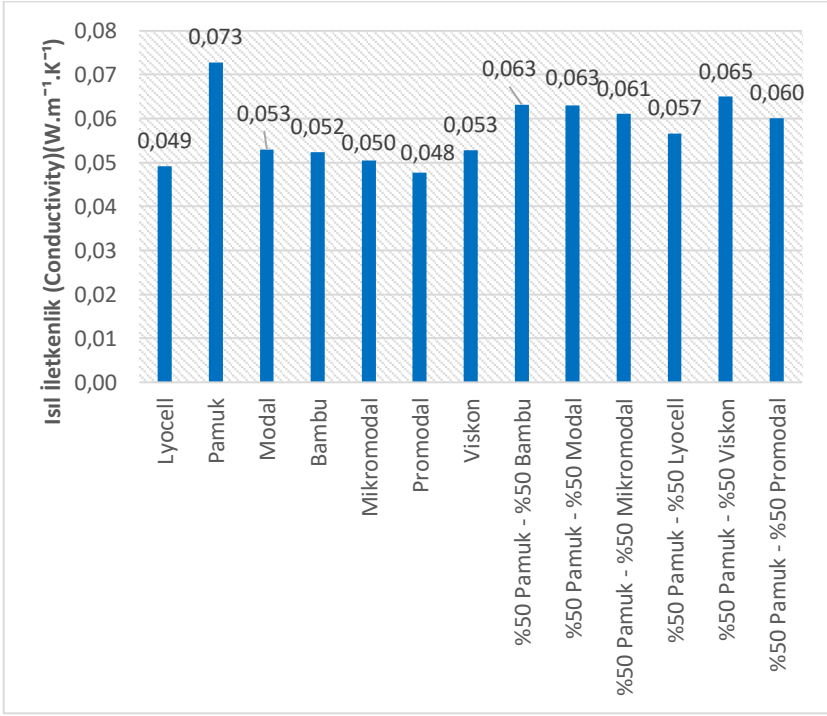
Isıl direnç açısından bakıldığında %100 lyocell kumaş en yüksek değere sahipken, %100 pamuklu kumaşın en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Varyans analizi sonucunda kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür. (Tablo 6)

**Tablo 6.** Karışimsız kumaş numunelerinin ısı direnç değerleri için S-N-K testi sonuçları

Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
pamuk	5	,014740				
mikromodal	5		,015940			
promodal	5		,016540	,016540		
modal	5			,017160	,017160	
bambu	5			,017380	,017380	
viskon	5				,017500	
lyocell	5					,018480
Sig.		1,000	,097	,058	,600	1,000

Tablo 6 incelendiğinde pamuklu kumaşların en düşük ısı dirence sahip olduğu görülmüştür. Kumaş ne kadar kalınsa direnç değeri de o kadar yüksek olduğu bilinmektedir. Kalınlık değeri yüksek olan pamuklu kumaşların düşük direnç göstermesi bu kumaşların düşük gözenekliliğe sahip olması nedeniyle hava boşluklarının az olmasıyla açıklanabilir. Lyocell liflerinden üretilen kumaşlarda ise yüksek gözeneklilik nedeniyle (yüksek hava geçirgenliği) ısı direnç değeri yüksek bulunmuştur. %50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin ısı direnç değerleri için yapılan istatistiksel analizde numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı ortaya konulmuştur.

Kumaş numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

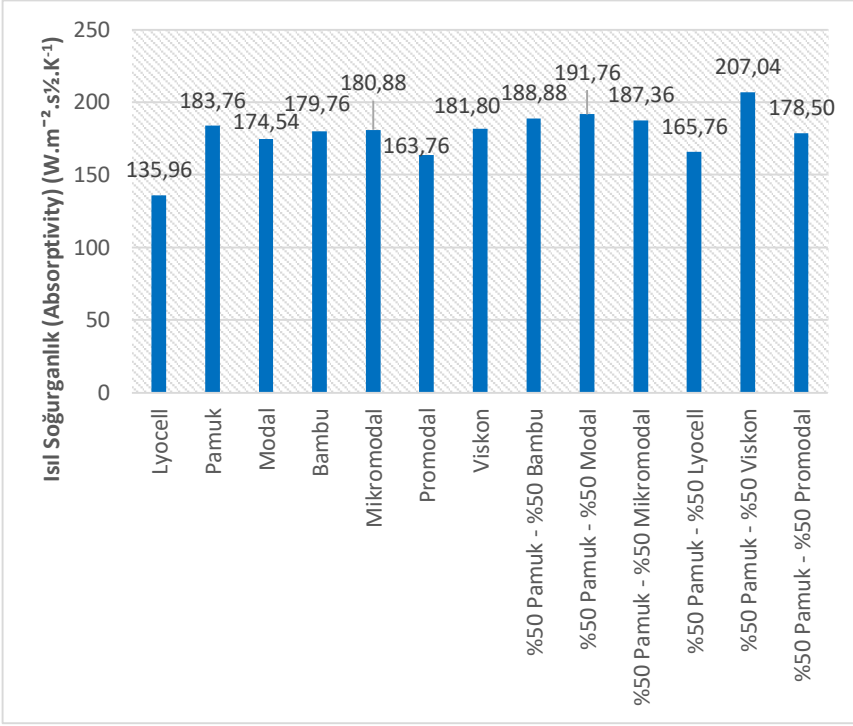


**Şekil 4.** Kumaşların ısı iletkenlik katsayı değeri

Karışmsız kumaş numunelerinin ısı iletkenlik katsayı değeri için istatistiksel analiz yapıldığında numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur. Şekil 4 incelendiğinde beklenildiği gibi en düşük direnç değeri gösteren pamuklu kumaş en yüksek iletkenlik değeri sahip olduğu tespit edilmiştir. En düşük iletkenlik değeri sahip olan kumaşın ise %100 promodal içerikli kumaş olduğu görülmektedir. %100 rejenere kumaşların ısı iletkenlik katsayısı değeri aynı liflerin %50 pamuk karışimli olan kumaşlara göre daha düşük olduğu söylenebilir. Bu lifler pamuğa göre daha yüksek hava boşluğu içeren gözenekli yapısı nedeniyle ısı direnç değeri daha yüksek iken ısı iletkenlik değeri daha düşüktür.

%50 pamuk karışimli kumaş numunelerinin ısı iletkenlik katsayı değeri için yapılan istatistiksel analizlerde kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur.

Kumaş numunelerinin ısı soğurancılık katsayısı değeri ve karşılaştırmaları ( $W \cdot s^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ) olarak Şekil 5'te ve bunlara ait istatistiksel değerlendirmeler Tablo 7'de verilmiştir.



**Şekil 5.** Kumaşların ısı soğurganlık katsayısı değerleri.

Isıl soğurganlık değerleri materyale dokunulması durumunda hissedilen sıcak ya da soğuk hissi değerlendirmesinde kullanılmaktadır. İstatistiksel değerlendirmelerde lyocell ve içerisinde lyocell içeren promodal liflerinden üretilen kumaşların diğerlerinden belirgin olarak düşük soğurganlık değeri verdiği yani temas durumunda daha sıcak his verecekleri ortaya konulmuştur. Pamuklu kumaşlar ise en yüksek soğurganlık değeri ile soğuk his vermektedir. Kumaş yüzey düzgünlüğü ne kadar iyi ise ısı transferi fazla olacağı için kumaş soğuk his verir. (Blaga et al., 2015) Lyocell lifinin fibrilleşme özelliğinden dolayı %100 lyocell'den elde edilen kumaşın yüzey pürüzlülüğünün nispeten yüksek olmasının, en düşük ısı soğurganlık değerine sahip olmasında dolayısıyla kumaşın sıcak his vermesinde etkisi olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 7.** Karışimsız kumaş numunelerinin ısıı sođurđanlık katsayı değerleri için S-N-K testi sonuçları

Kumaş grupları	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
lyocell	5	135,960		
promodal	5		163,760	
modal	5			174,540
bambu	5			179,760
mikromodal	5			180,880
viskon	5			181,800
pamuk	5			183,760
Sig.		1,000	1,000	,121

%50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin ısıı sođurđanlık katsayı değerleri için, %95 güvenle kumaş numunelerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Ancak karışimsız kumaşlara paralel olarak lyocell içeren %50 pamuk-lyocel karışımı kumaşlar en düşük ısıı sođurđanlık değeri vermiştir.

### **Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışmada pamuk ve konvansiyonel viskonun yanı sıra yeni nesil rejenere lifler olarak lyocell, modal, promodal, mikromodal ve bambu liflerinden elde edilmiş iplikler ve bunların %50 pamuk karışımı kullanarak interlok örgülü kumaşlar üretilip elde edilen kumaşların termofizyolojik konfor özellikleri test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Hava geçirgenliği açısından bakıldığında, %100 lyocell, modal, bambu, mikromodal, promodal, viskon kumaşların hava geçirgenliğinin %100 pamuk ve aynı liflerin %50 pamuk karışımı olan kumaşlara göre daha iyi olduğu söylenebilir. Rejenere selülozik liflerin, doğal liflerden daha yüksek gözeneklilik göstermesinin hava geçirgenlik değerlerinde etkisi olduğu düşünölmektedir.

- Bağıl su buharı geçirgenliği açısından bakıldığında, promodal ve lyocell lifleri yüksek su buharı geçirgenliği göstermiştir. Yüksek kalınlık değerine sahip %100 pamuk içerikli kumaşın en düşük su buharı geçirgenliği değerine sahiptir.
- Isıl direnç özelliği açısından pamuklu kumaşlar en düşük, lyocell liflerinden üretilen kumaşlar en yüksek ısı direnç özelliği göstermiştir. %50 pamuk karışımı kumaş numunelerinin ısı direnç değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.
- Isıl soğurganlık açısından lyocell liflerinden üretilen kumaşlar en sıcak, pamuk kumaşlar ise en soğuk his veren kumaş olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak %100 rejenere selülozik liflerinden üretilen kumaşlar daha iyi hava ve su buharı geçirgenliği nedeniyle aktif spor giysilerinde kullanımında tercih edilebilir. Bunun dışında lyocell liflerinden üretilen kumaşlar diğer rejenere kumaşlara göre daha yüksek ısı direnç ve sıcak his verme özelliği nedeniyle sıcak tutması istenen ürünlerde kullanılabilir.

## **Kaynaklar**

Abu-Rous, M., Ingolic, E. and Schuster, K. C. (2006). Visualisation of the nano-structure of Tencel®(Lyocell) and other cellulose as an approach to explaining functional and wellness properties in textiles. *Lenzinger Berichte*, 85, 31-37.

Akaydın, M. and Gül, R. (2014). A survey of comfort properties of socks produced from cellulose-based fibers. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24(1), 37-46.

Bhattacharya, S. S. and Ajmeri, J. R. (2014). Air permeability of knitted fabrics made from regenerated cellulosic fibres. *IJERD*, 10(7), 16-22.

Bлага, M., Ciobanu, A. R., Marmaralı, A., Ertekin, G., and Çelik, P. (2015). Investigation of the physical and thermal comfort characteristics of knitted fabrics used for shoe linings. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(2), 111-118.

Çiçek, R. (2019). Yeni Nesil Rejenere Selüloz Liflerinden Üretilen Örme Kumaşların Fiziksel ve Konfor Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dayıoğlu, H., ve Karakaş, H. C. (2007). Elyaf Bilgisi. Ajans Plaza Tanıtım ve İletişim Hizmetleri Ltd. Şti., İstanbul.

Dirgar, E. (2017). The performance properties of the fabrics produced from cupro and some other regenerated cellulose fibers. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 27(2), 139-144.



Güney, F. and Üçgül, I. (2010). Koruyucu giysiler içindeki nefes alabilir membranların termal yalıtım özellikleri. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 20(1), 9-16.

Kanat Z. Evrim ve Özdil N. (2013). Aktiviteye Bağlı Olarak Giysilerde Değişen Nem Miktarının Isıl Konfora Etkisi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Isıl Konfor Sempozyumu, 17-20 Nisan 2013, İzmir, pp.1967-1972.

Kıvrak, N. M., Özdil, N. and Mengüç, G. S. (2018). Characteristics of the yarns spun from regenerated cellulosic fibers. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(2), 107-117.

Marmaralı A., Özdil N., Kretschmar d. S. ve Oğlakçıoğlu N. (2006). Giysilerde Isıl Konforu Etkileyen Parametreler. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4/2006, 241-246.

Marmaralı, A., Özdil, N., Kretschmar, S. D. (2007). Elastik iplikli düz örme kumaşların ısı konfor özellikleri. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(3), 178-182.

Oğlakçıoğlu, N. and Marmaralı, A. (2010). Thermal Comfort Properties of Cotton Knitted Fabrics in Dry and Wet States. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 20(3), 213-217.

Oğlakçıoğlu, N. ve Marmaralı, A. (2017). Rejenere selüloz liflerinin kompresyon çoraplarının ısı konfor özelliklerine etkisi. *Tekstil ve Mühendis*, 17(77), 6-12.

Özdil N. (2018). Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayınları Yayın No: 21, 4. Baskı, ISBN No: 978-605-338-181-5, Bornova-İzmir.

Sarioğlu, E. and Çelik, N. (2015). Investigation on regenerated cellulosic knitted fabric performance by using silicone softeners with different particle sizes, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 23, 5(113): 71-77.

Seventekin, N. (2003). Kimyasal Lifler. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi, İzmir.

Wang, Y. P. and Gao, X. S. (2006). Comparison on characteristics and structure between natural bamboo fiber and regenerated bamboo fiber. *Plant Fibers and Products*, 28, 97-100.

<http://www.karsu.com.tr/> (Erişim tarihi: Mart 2018)

# TASARIM VE SOĞUKTAN KORUMA ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN UYKU TULUMLARI

Enes NAYMAN<sup>1</sup> & Nilgün ÖZDİL<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Söğüt Meslek Yüksekokulu Moda Tasarımı  
Bölümü, [naymanenes@gmail.com](mailto:naymanenes@gmail.com)

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, [nilgun.ozdil@ege.edu.tr](mailto:nilgun.ozdil@ege.edu.tr)

**Özet:** Tekstil ürünleri insanoğlunun varoluşundan beri yaşamının bir parçası olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle beraber tekstil sektöründe de yenilik ve gelişmeler yapılmaktadır. Estetik ve dekoratif niteliklerinden daha çok teknik performansları ve işlevsel nitelikleri için üretilen tekstil ürünleri teknik tekstiller olarak bilinmektedir. Bu anlamda en çok kullanılan teknik tekstil malzemeleri arasında bulunan özellikle açık hava sporlarında ve askeri alanlarda kullanılan uyku tulumları hayati öneme sahiptir. Kayak, dalgıçlık, dağcılık, avcılık ve rafting gibi sporlarda geceleyin kamp kurulduğunda veya askerlerin görevleri ve eğitimleri için uzun süre doğa ortamında buldukları göz önüne alındığında, soğuktan koruma özellikleri açısından uyku tulumlarının vazgeçilmez bir materyal olduğu görülmektedir. Uyku tulumu; temelde dış kumaş (kabuk), dolgu ve astar olmak üzere üç parçadan oluşan genellikle dış ortamlarda kalan insanların geceleyin vücut ısısını kaybetmeden ve verimli bir uyku alabilmeleri için içerisine girip uydukları çok katlı tekstil ürünüdür. Uyku tulumu, kullanım sırasında mevcut vücut ısısını korumalı ve havayı hapsederek vücut etrafında iyi bir yalıtım sağlamalıdır. Fakat bunu sağlarken, uyku esnasında su kaybıyla oluşacak su buharını da dışarı atması gerekmektedir. Aksi takdirde uyku tulumu ıslanmakta ve ısı muhafaza özelliğini kaybetmektedir. Uyku tulumunun kalitesi sıcak havayı en iyi seviyede muhafaza etmesiyle, nefes alabilme özelliğiyle ve aynı zamanda da ağırlık ve dayanıklılık açısından uygun olmasıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu çalışmada özellikle soğuktan koruma özelliği açısından uyku tulumlarının yapısal tasarım özellikleri, katmanları, bu katmanlarda kullanılan malzemeler, ısı özellikleri ve soğuktan koruma performanslarını etkileyen faktörler hakkında bilgi verilmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Çok katlı giysi, uyku tulumu, ürün tasarımı, dış kumaş, dolgu, astar, ısıl direnç

## Giriş

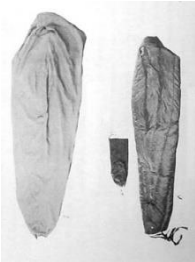
Estetik ve dekoratif niteliklerinden daha çok teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil ürünleri teknik tekstiller olarak bilinmektedir (Bryne, 2000). Bu ürünler, alışlagelmiş tekstillerden farklı olarak sadece tekstil sektöründe değil, farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Farklı hava şartlarına, kimyasallara, mikro organizmalara dayanıklı, yanmazlık, yüksek aşınma dayanımı ve mukavemet gibi üstün performans özelliklerine sahip olan ürünlerdir. Aynı zamanda teknik tekstiller, ileri teknik fonksiyon ve kalite ihtiyaçlarını (mekanik, ısı, elektriksel, sağlamlık vs.) sağlamaları nedeniyle katma değeri yüksek ürün grubudur (Arslan, 2009; Bulut, 2010).

Günümüzde teknik tekstil ürünleri, askeri alanlardan tarım alanlarına, sanayiden sportif aktivitelere kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Uyku tulumları da önemli teknik tekstil malzemelerinden birisidir. Özellikle doğa sporları içerisinde ve askeri alanlarda kullanılan uyku tulumları hayati önem taşımaktadır. Kayak, dalgıçlık, dağcılık, avcılık ve rafting gibi sporlarda geceleyin kamp kurulduğunda veya askerlerin görevleri ve eğitimleri için uzun süre doğa ortamında buldukları göz önüne alındığında, uyku tulumlarının vazgeçilmez olduğu görülmektedir (Nayman, 2016).

Uyku tulumu, genellikle dış ortamlarda kalan insanların geceleyin vücut ısını kaybetmeden ve verimli bir uyku alabilmeleri için içerisine girip uydukları çok katlı bir tekstil ürünüdür. Çok katlı giysiler, gerek aynı malzemeden gerekse farklı malzemelerden oluşan kumaşların birbiri üzerine dikilmesi veya birleştirilmesi şeklinde üretilen giysilere denilmektedir. Çok katlı giysiler genel olarak mont, kaban, palto, bebek tulumları vb. gündelik giysiler ile koruyucu giysiler, uyku tulumları, üniforma, kamuflaj vb. teknik, sportif ve askeri amaçlı giysilerden oluşmaktadır. Genellikle soğuk havalarda giysiyi giyen kişinin vücut ısını korumak amaçlı üretilen bu giysilerden hava ve nem geçirgenliği, rüzgar ve su geçirmezlik gibi birtakım özellikler de beklenmektedir (Rock, 2004).

### Uyku Tulumlarının Geliştirilmesi ve Beklentiler

1876 yılında girişimci Pryce Jones tarafından patenti alınan daha çok bir battaniyeye benzeyen Euklisia Rug (Euklisia Örtüsü) ilk uyku tulumu olarak bilinmektedir. (The Euklisia Rug, 2014). Bu tulum üzerine dikilmiş olan şişirilebilir kauçuktan yastık, cep kısmı ve yün battaniyeden oluşmaktaydı (Your Camping Equipment's Fascinating History, 2011). Battaniye gibi üzerine sarılıp tutturulduğu zaman, vücudu böceklerden korumaktaydı. 2. Dünya Savaşı sırasında Amerika ordusu için çeşitli şekillerde tasarlanan uyku tulumları dağcılar ve sporcular tarafından da yıllarca kullanılmıştır. Bunlar modern anlamda tasarlanmış ilk uyku tulumu örnekleri olmuştur.



(a)



(b)

**Şekil 1.** (a) M-1942 Uyku tulumu, su geçirmez kılıf ve taşıyıcı (b) M-1949 Uyku tulumu, Kore 1953.([https://olive-drab.com/od\\_soldiers\\_gear\\_sleeping\\_bag.php](https://olive-drab.com/od_soldiers_gear_sleeping_bag.php))

1941 yılında kayak birlikleri için tasarlanan mumya tipi uyku tulumu iç kabuk, dış kabuk ve başlık kısmından oluşmaktaydı. Oldukça karmaşık olan bu tasarım revize edilerek 1942 de soğuk iklimlerde tüm askerler tarafından kullanılabilir şekilde basitleştirildi. 1942 yılında dağcı birlikler için geliştirilen model armut şeklindeydi. Yüz kısmında açıklık bulunmakta, dolgu kısmı ince kuş tüyü ve telek karışımından oluşmaktaydı. Tulum kullanılmadığı zamanlarda korunması için üretilen su geçirmez taşıma kılıfı kar ve buz üzerinde tulumu ıslaklığa karşı korumakta iken, aşırı derecedeki soğuklarda ayak kısımlarının sıcak tutulması için kullanılmaktaydı (Şekil 1-a). 1949 yılında mumya şeklinde, fermuarlı, kuştüyü ile doldurulmuş, dış kısmı su itici kumaştan üretilmiş M-1949 adı verilen uyku tulumu üretildi. Normal ve geniş olmak üzere iki farklı boyutta üretilmişti. Bu uyku tulumu Vietnam Savaşı boyunca kullanılmıştır (Şekil 1-b) (U.S. Military Sleeping Bags, 2011).

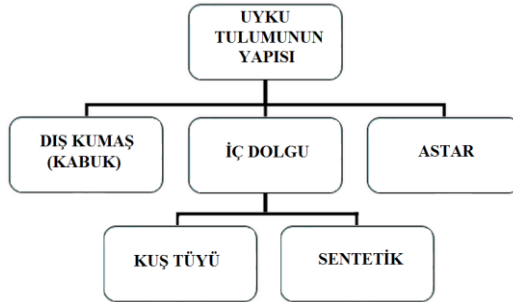
Günümüzde ise teknolojinin, otomasyonun ve üretim kapasitelerinin geniş alanlara yayılması ve gelişmesi çok farklı şekillerde, büyüklüklerde birçok model uyku tulumunun üretilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat uyku tulumlarının kullanım alanları olarak yine en çok doğa sporlarında ve askeri alanlarda kullanıldığını görmekteyiz.

Uyku tulumlarından beklenen temel özellikler;

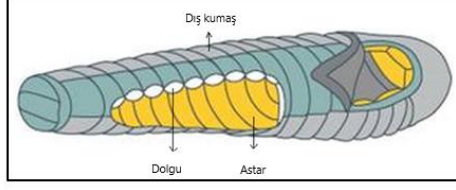
- Sıcaklığı iyi muhafaza edebilmelidir. Mevcut vücut ısısını korumalı ve havayı hapsederek vücut etrafında kalmasını sağlamalıdır.
- Uyku tulumu, kullanan kişide terleme sonucu oluşabilecek terin dışarı atılmasını sağlamalıdır, aksi takdirde uyku tulumu ıslanır ve ısı muhafaza özelliğini kaybeder. Bu nedenle tulumun dış katmanı nefes alabilir olmalıdır.
- Uyku tulumu hafif ve yıpranmaya karşı dayanıklı olmalıdır. (Yalçınalp, 2012).

### Uyku Tulumlarının Yapısı

Uyku tulumları dış kumaş, iç dolgu malzemesi ve astar olmak üzere üç katmandan oluşur (Şekil 3).



Şekil 2. Uyku tulumunu oluşturan ana elemanlar



**Şekil 3.** Ana katmanların uyku tulumunda yerleşimi

### **Dış kumaş (kabuk)**

Uyku tulumlarının dış kumaşı yırtılmaya ve sürtünmeye karşı dayanıklı, nefes alabilen, dolgu malzemesini dışarıya geçirmeyen, rüzgar ve su geçirmez olmalıdır. Dış kumaş normal ya da atkı ve çözgüde düzenli aralıklarla çift iplikle dokunarak kare desen efekti verilmiş ve böylece küçük yırtıkların açılmasını önleyen ribstop dokuma kullanılır. Dış katmanın ayrıca iç yalıtım malzemesini koruması ve bu malzemenin dışarı çıkmasını önlemesine önemlidir. Çoğunlukla microfiber polyamid veya poliester kumaşlar kullanılır. Dayanıklılığı ve performans açısından Gore-Tex ve Gore-Dryloft marka kumaşlar da uyku tulumlarında kullanılmıştır. Gore-Tex kumaşların suya dayanıklılığı daha iyi olmak üzere bu kumaşlar aynı zamanda su buharını da dışarı atabilme özelliğine sahiptir. Dryloft kumaşların nefes alabilirliği çok geliştirilmiş olması nedeniyle içte kuru kalmayı sağlar. Bu kumaşlar daha çok kaz tüyü tulumlarda kullanılır. Kaz tüyü-DryLoft tulumlar ekstreme soğuk ve karlı ortamlar için idealdir (Yalçınalp,2012; www.fabriclink.com). Microfiber poliamid ve poliester dış kumaşlar çok ince liflerle üretilen sık dokuma kumaş olmaları nedeniyle suya karşı direçli olmaları ve nefes alıp verebilmeleri nedeniyle birçok kişi için DryLoft tulumlara iyi bir alternatif olmuştur (MEGEP, 2013).

Askeri tipte olan uyku tulumlarında daha çok kamuflaj renk ve şekilleri kullanılmaktadır. Bu kumaşlara çeşitli kaplamalar yardımıyla su iticilik kazandırılmaktadır. Yırtılmaya ve sürtünmeye karşı dayanımının yeterli düzeyde olması beklenmektedir.

### **İç dolgu**

Tulumun ısıyı tutan, ana yalıtım malzemesi ara katmandır. En doğal ve etkili yalıtım şekli kuru havadır. Diğer bir deyişle, ısı yalıtımı yüksek bir tekstil malzemesinin iç yapısında yüksek miktarda hava bulunmalıdır (Marmaralı, 2006). İç dolgunun yalıtım sağlamanın prensibi, dış kumaş ile astar arasında hava boşluğu içeren düşük yoğunluklu bir malzeme kullanmaktır. Aralarına tela yerleştirilerek birden fazla dolgu elyafı kullanılabilir. Böylece kalınlığı ve dolayısıyla sıcak tutma özelliği artmaktadır.

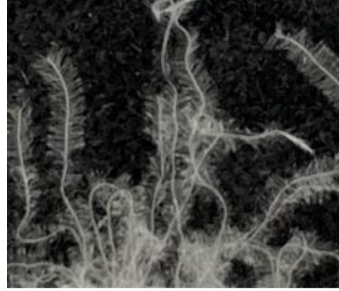
Uyku tulumlarında dolgu malzemesi olarak kuş tüyü, sentetik ve doğal içerikli lifler kullanılabilir.

**Kuş tüyü içerikli uyku tulumları:** Doğal dolgu malzemesi olarak kaz ve ördek tüyleri kullanılır. Bunlar arasında da kaz tüyleri ördek tüyelerinden daha kalitelidir. Ördek tüyü uyku tulumunda tüyler yalıtım özelliği yok denecek kadar az olan kılcal bir damar çevresinde yer almaktadır. Bu yüzden tulum için fazladan ağırlık teşkil etmektedirler. Kaz tüyüne göre sıkışabilme oranı ve yalıtım özelliği daha az, ağırlığı ise daha fazladır. Kaz tüyü içeren uyku tulumları soğuk ortamlar için en ideal uyku tulumu özelliğine sahiptir.

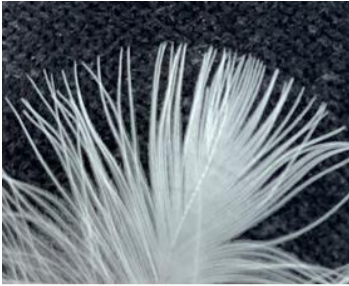
Kaz tüyü uyku tulumu; kazın az telekli tüyleriyle göğüs bölgelerindeki kılcal tüyelerinin harmanlanması ile meydana gelmektedir. Bu tüyler “feather (telek)” ve “down (ince tüy)” olarak bilinir. Hayvanın karnından alınanlar “Down” olup daha kalitelidirler, “feather” ise hayvanın diğer yerlerinden alınanlardır. 70/30, 80/20, 90/10 gibi oranlar bu karışımların miktarlarını belirlemektedir. %85 down tulum dendiğinde, bu uyku tulumunun içindeki tüylerin %85’i down, %15’i feather olduğunu gösterir. En değerli tüy malzemesi, 90/10 oranında karıştırılan beyaz kaz tüyüdür. Sentetik malzemelere göre kabarma ömürleri daha uzun, sıkıştırılmış hacimleri ve yoğunlukları daha az olduğundan pahalı olmaları yanı sıra çok soğuk şartlarda tercih edilmektedir (Yalçınalp, 2012; MEGEP, 2013; Nayman,2016).



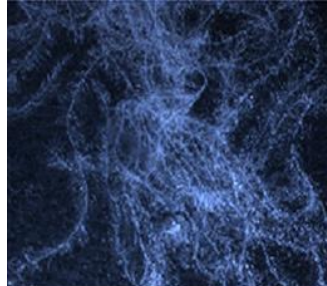
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 4.** Kuş tüyleri (a) kaz tüyü, (b) ördek tüyü, (c) telek, (d) % 90 ince-% 10 kalın kaz tüyü

Kuş tüylerinde tüylülük miktarı ne kadar fazla olursa sıcak tutma oranı da o kadar artmaktadır. Ancak kaz tüyü, tüylülük özelliğinin fazla olmasından dolayı sentetik elyaflara nazaran daha çok su tutmaktadır ve ıslandığı zaman yalıtım özelliğini tamamen kaybetmektedir. Bu da ağırlaşmasına ve daha geç kurummasına neden olmaktadır (Telçeken, 2002).

**Sentetik içerikli uyku tulumları:** Dolgu malzemesi sentetik içerikli liflerden yapılan uyku tulumlarıdır. Genellikle poliester malzemeden yapılmaktadır. Sentetik dolguya sahip olan tulumların temizliği daha kolaydır ve fiyatları daha düşüktür. Fakat daha fazla yer kaplarlar, daha ağırdırlar ve daha kısa ömürleri vardır. Sentetik tulumlar ıslakken yalıtım özelliklerinin bir miktarını kaybetmelerine rağmen çok çabuk kurumaktadırlar. Bu yüzden sürekli ıslak ve yağışlı ortamlarda sentetik tulum kullanmak daha avantajlıdır. Sentetik dolgu malzemeleri sürekli gelişmekte ve daha iyi malzemeler üretilmektedir (Uyku Tulumu ve Mat Seçimi, 2006).

Dolgu malzemesi olarak en çok kullanılan sentetik lif poliesterdir. Uyku tulumlarında çeşitli kalınlıklarda tabakalar hâlinde kullanılmaktadır. Daha fazla kayganlık ve yumuşaklık sağlamak, neme ve ısıya karşı dayanıklılık kazandırmak için silikon kaplamalı poliester lifi de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. (MEGEP, 2013). Sentetik dolgu malzemesi olarak uyku tulumlarında farklı marka malzeme kullanılmakla beraber özellikle Polarguard 3D, MicroLoft, Primaloft gibi yeni poliester dolgular kaz tüyünün ağırlık, eski hacmine dönme ve izolasyon gibi özelliklerine diğer avantajlarını da kaybetmeden yaklaşılabilmektedirler. Polarguard 3D filament poliester lifi olup kesikli liflere göre yalıtım özelliği daha iyidir. Filament lifler hacimliliğini uzun süre korur ancak daha ağırdır. Kesikli lifler daha kompakttır ancak lif kaybı daha kolaydır. MicroLoft mikro poliester liflerinden oluşmaktadır. Aynı incelikteki dolgu malzemelerine göre ısı tutuculuğu artırılmıştır. LiteLoft poliester ve olefin liflerinden oluşmaktadır. Primaloft ise kaz tüyüne benzetmek amacıyla ince ve kalın çaplı poliester liflerden oluşmaktadır. Quallofil, Hollofil gibi kanallı poliester lifler, kanallarında hava bulunduğundan, dolgu malzemesindeki hava miktarını arttırarak, daha iyi ısı yalıtımı, daha yüksek hava ve nem geçirgenliği sağlarken, aynı zamanda mamulün ağırlığının daha düşük, tutumunun daha yumuşak olmasını sağlamaktadır (Yalçınalp, 2012; Harvey M,1999).

Tablo 1’de dolgu malzemesi olarak kullanılan doğal (kaz tüyü) ve sentetik dolgu malzemelerinin özellikleri kıyaslamalı olarak verilmiştir (<https://www.rei.com/learn/expert-advice/sleeping-bag.html>).

**Pamuk-yün gibi doğal içerikli uyku tulumları:** Ağır olması, ıslandığında kurutulamaması, sıkışma ve izolasyon özelliğinin çok az oluşu nedeniyle askeri ve sportif alanlarda kullanımı oldukça azdır (Telçeken, 2002). Genellikle yazlık uyku tulumlarında kullanılmaktadırlar.

**Tablo 1.** Dolgu malzemesi olarak kullanılan doğal (kaz tüyü) ve sentetik dolgu malzemelerinin özellikleri

Sentetik dolgu malzemesi	Daha ucuzdur.
	Islandığında yalıtım özelliği daha iyidir.
	Çabuk kurur.
	Daha ağırdır.
	Daha kısa ömürlüdür.
	Allerjik değildir.
Kuş tüyü	Daha hafiftir.
	Soğuk ve kuru havada ısı yalıtımı yüksektir.
	Daha pahalıdır.
	Paketlemede daha kolay sıkıştırılabilir.
	Kullanım ömrü daha uzundur.

### **Astar**

Astar uyku tulumun iç kısmında bulunmaktadır. Uyku tulumlarında kullanılan astarlardan vücuttan çıkan terin iç kısımdan taşınması için hava ve nem geçirgenliğinin olması beklenmektedir. Bu görevi yaparken de su tutucu özelliğe sahip olmaması önemlidir. Kolay temizlenebilir olması, renk haslığının iyi olması astarlardan beklenen diğer önemli özelliklerdir. Askeri uyku tulum astarlarında malzeme cinsi olarak poliamid kullanılmaktadır. Sportif olan uyku tulumlarında ise genellikle pamuk, pamuk-poliester ve viskon-naylon kullanılmasına karşın farklı malzeme türleri ve karışımları da kullanılabilir (Jones, 1995). Genellikle uyku tulumlarının iç katmanlarında sentetik ve pamuklu kumaşlar kullanılır. Sentetik kumaşlar hafif ve ipeksi olmakla birlikte tene direk temas ettikleri için rahat değildirler. Pamuklu kumaşlar ise yumuşak ve konforlu olmalarına karşın daha zor kurur ve ağırdırlar.

### **Uyku Tulumlarında Kullanılan Ek Malzemeler**

Uyku tulumlarının genel olarak konfor ve performans özelliklerinin atırıp zarar görmelerini engellemek için ilave bir takım yardımcı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler uyku tulumlarının uzun süreler saklanabilmesi ve korunmasını sağlamaktadır.



**Kılıf:** Uyku tulumunun kullanımdan sonra içerisine konulduğu torbadır. Aynı zamanda sıkıştırma torbası da denilmektedir. Uyku tulumunun kullanılmadığı zamanlarda koruma ve taşıma görevini üstlenmektedir. Uyku tulumu bu torbaya sıkıştırılarak konulduğu için yırtılma direnci yüksek kumaştan yapılmalıdır (Şekil 5) (Yalçınalp, 2012).



**Şekil 5.** Uyku tulumu ile kullanılan ek malzemeler (a) kılıf, (b) mat, (c) çarşaf, (d) ayak torbası

**Mat:** Mat yer ile tulum arasında yalıtım sağlayan yalıtım malzemesidir. Tulumun altta kalan kısmının yırtılmasını ve ezilmesini önlemekle beraber yerden gelen soğuk ve ıslaklığı da engellemektedir. İçerisinde binlerce hava hücresini kapsayan köpüklerden yapılabilmektedir. Matlar hafiftir ve taşınması kolaydır. Ezilmeye karşı dayanıklıdır ve çok az su emmektedirler. Kış ayları için genellikle 11-12 mm kalınlığında matlar kullanılmaktadır (Uyku Tulumu ve Mat Seçimi, 2006).

**Çarşaf:** Uyku tulumunun en iç kısmında kullanılır. Uyku tulumuna giren kişinin tulumla temasını engellemeye yarar. Böylece tulum içerisinin temiz tutulmasını sağlamakta, tulumun sürtünmeyle aşınmasını önlemekte ve kullanım ömrünü uzatmaktadır. Tulumun yıkanma sayısını da azaltmaktadır. Ayrıca sıcaklığın korunmasına da yardımcı olmaktadır (Go Outdoors, 2014).

**Ayak torbası:** Aşırı soğuklarda tulumların ayak bölmesine yerleştirilerek ayakların daha sıcak tutulması için kullanılan malzemedir. İsteğe bağlı olarak yerleştirilip çıkartılabilmektedir. Ayak bölgelerinde görülebilecek donmaların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca tulumda ayak bölgesi en hızlı kirlenen ve kokuya maruz kalan bölge olduğu için çıkartılıp kolayca yıkanabilen ayak torbası sayesinde tüm tulumun yıkanmasına gerek kalmadan hijyen sağlanabilmektedir (Kaya, 2013).

## **Uyku Tulumunu Oluşturan Diğer Kısımlar**

**Fermuar:** Uyku tulumlarının açılıp kapatılmasına yarayan elemandır. Tuluma zarar vermemesi açısından plastikten yapılmaktadır ve iri dişli olmalıdır. Fermuar kısmından hava alışverişi ile ısı kaybını önlemek ve ısı yalıtımının sağlanabilmesi için fermuar kısımlarında içten ve dıştan birer pat bulunmaktadır. Yine bu fermuarların hem aşağıdan yukarıya hem de yukarıdan aşağıya açılıp kapatılabilmesi için çift kilit sistemi bulunmaktadır. Elciklere gece görülebilmesi ve kolay tutularak çekilebilmesi için de ışık yansıtılabilen bağcıklar bağlanabilmektedir (Yalçınalp, 2012).

**Tela:** Giysilerde astar ile kumaşın arasına yerleştirilerek, giysiye verilecek biçime katkıda bulunmak, dolgunluk ve mukavemet kazandırarak dikim, yıkama, ütüleme gibi işlemlerde destek rolü oynayan ara tabakadır. Uyku tulumlarında ise dış kumaş, dolgu ve astar kumaşı aralarına çeşitli varyasyonlarda yerleştirilerek birden fazla dolgu tabakasının kullanımına yardımcı olur.

**Başlık:** Özellikle soğuk havalarda kullanılan mumya tipi uyku tulumlarında başı korumak amaçlı bir başlığı vardır. Bu başlığın boyna gelen kısmı ve yüz çevresi istenildiği takdirde gerdirme ipleri sayesinde büzdürülerek dışarıdan gelen soğukun, tulumun açık olan yerinden içeri girmesini büyük ölçüde kısıtlamaktadır. Bu şekilde baş açıklığından kaynaklanan ısı kaybı en az seviyeye indirilebilmektedir. Aşırı soğuk havalarda bere ve atkı gibi ek malzemelerle de ek ısı yalıtımı sağlanabilir (Nayman, 2016; Yalçınalp, 2012).

## **Uyku Tulumlarının Çeşitleri**

Uyku tulumlarının genel olarak mumya ve dikdörtgen olmak üzere iki tipi bulunmaktadır.

**Dikdörtgen tipi uyku tulumları:** Aşırı soğuk olmayan havalarda kampçılar için daha uygundur. İçerişi geniş olduğundan hareket kabiliyeti fazladır. Büyüklüğüne göre birden fazla kişi içine sığabilmektedir. Ayrıca açılarak şilte ve yorgan olarak da kullanılabilir (Yalçınalp, 2012).

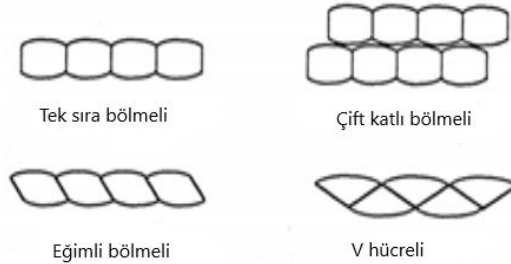


**Şekil 6.** Uyku tulumu çeşitleri (a) Dikdörtgen tipi uyku tulumu, (b) Mumya tipi uyku tulumu

**Mumya tipi uyku tulumları:** Vücudu sımsıkı sardığından dolayı daha çok soğuk hava şartlarına uygundur. Omuz ve göğüs kısmında geniş olan bu tulumlar ayak kısmına doğru kavisli olarak daralmaktadırlar. Isıyı daha iyi muhafaza etmektedirler. Ayrıca dikdörtgen tulumlara göre daha az hacim kaplamaktadırlar buda taşıma kolaylığı sağlamaktadır. Ayaklarda daha sıkı olmasının nedenlerinden birisi de ısı kaybına karşı daha savunmasız olan ayakların korunmasına yardımcı olmaktır (MEGEP, 2013; Yalçınalp, 2012).

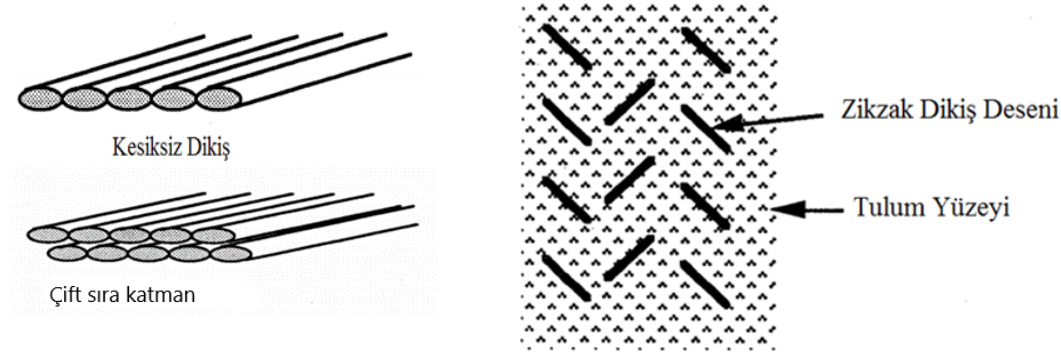
### Uyku Tulumu Dikiş Özellikleri

Kuş tüyü uyku tulumlarında dış kumaş tulumun içyapısıyla kanal oluşturacak şekilde dikişle bölmelendirilir. Bölmelerin dikiş yerleri, elastikiyeti yüksek iplikler kullanılarak dikilmektedir. Bu iplikler kumaşın daha esnek olmasını ve tulumun içerisine girildiğinde, vücut şeklinin daha yumuşak bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Böylelikle ısı kaybının önüne geçilmiş olmaktadır. Baştan sona paralel dikişler yardımıyla oluşturulan bölmelerin yan tarafında kaz tüylerinin tulum içerisine yerleştirilebilmesi için küçük boşluklar bırakılmaktadır. Sonrasında ise kapalı odalarda veya haznelerde bulunan kaz tüyleri vakumlama yardımıyla alınarak, tulum üzerinde dikişler yardımıyla oluşturulan her bir bölmeyle sırasıyla yerleştirilir. Bu yerleştirme işlemi basınçlı hava yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Jones, 1995; Nayman, 2016).



**Şekil 7.** Kuş tüyü uyku tulumlarında kullanılan bölmeler

Sentetik uyku tulumlarında dolgu yapısı kuş tüyüne göre daha stabil olduğundan, istenilen şekillerde dikim yapılabilir. Dış kumaşla sentetik dolgu malzemesi üzerinden yapılan kesiksiz bu dikişler soğuk noktaların oluşmasına neden olmakta ve malzemelerin yalıtım özelliğini azaltmaktadır. Bunu engellemek için çift katlı dolgu oluşturulabilir (Şekil 8). Dış kumaş, dolgu elyafı ve astarı kapsayarak, birbiri arkasında kısa zikzaklar çizerek oluşturulan kesikli dikiş tekniği, termal yalıtım açısından yüksek verimlilik sağlamaktadır. Bu materyal ve dikiş kombinasyonlarının çevresi son olarak overlok dikişi ile kapatılmaktadır. Bu sayede iç kısımda büyük hava boşlukları meydana gelmektedir (Jones, 1995).



**Şekil 8.** Sentetik uyku tulumlarında kullanılan kesiksiz, çift katlı ve zigzag dikiş

### Uyku Tulumları için Performans Özellikleri

Uyku tulumlarının performans ve ısıl özellikleri “TS EN 13537- Uyku tulumları için özellikler” standardında verilmiştir. Buna göre uyku tulumlarından beklenen performans özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Uyku tulumları için performans özellikleri

	<b>Standart</b>	<b>İstenen değer</b>
<b>Dış kumaş</b>		
Kuş tüyü geçirmezliği	EN 12132-1	Geçiş sayısı en fazla 12
Aşınma dayanımı	EN ISO 12947-1, EN ISO 12947-2	20.000 turda bozulma meydana gelmeyecektir.
Yırtılma mukavemeti	EN ISO 13937-1	En az 10 N (Dış kumaş ve astarda)
Renk haslığı	EN ISO 105-X12-Sürtmeye karşı	En az 3-4
	EN ISO 105-B02-Işığa karşı	En az 4-5
	EN ISO 105-E04-Tere karşı	Renk solma: En az 3-4 Renk akma: En az 3-4
	EN ISO 105-C6 – Yıkamaya karşı	Renk solma: En az 4 Renk akma: En az 4
<b>Dolgu</b>		
Dolgu maddesi birleşimi	EN 12934	Tasarlanmış şekilde olmalıdır.
Su absorpsiyonu	EN 13543	En fazla %30
Doldurma kütlesi	EN 13088	±%5
<b>Uyku tulumu (Mamul)</b>		
Su buharı geçirgenlik indeksi	EN 31092	En az 0,45
Elastik toparlanma	EN 13538-2	En az %80
Toplam kütle	EN 13088	Paketleme çantası olmaksızın en yakın 1 g'a göre
Yük altındaki hacmi	EN 13538-3	50 kg'lık yük altında en fazla 18 lt.

## Uyku Tulumları Isıl Özellikleri

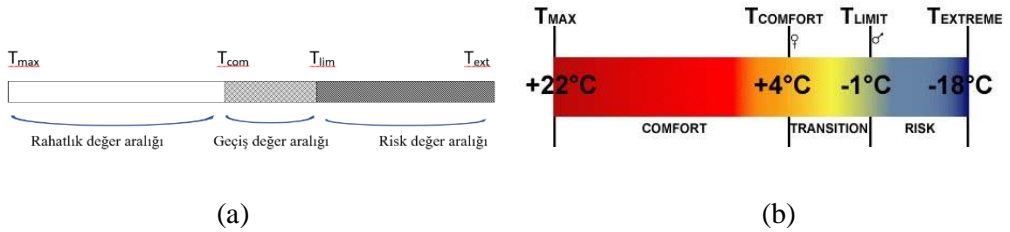
Uyku tulumlarında insan vücudunun belirli sıcaklıklar altında verdiği tepkilere göre ısı değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu ısı değerler uyku tulumları için kullanılan TS EN 13537 standardında rahatlık, geçiş ve risk değer aralığı olarak verilmiştir. Bu aralıklarda kullanılan sıcaklık değerleri şu şekilde belirtilmiştir:

**Konfor (rahatlık) sıcaklığı:** Bu değer tamamen kapalı bir uyku tulumu içerisindeki kişinin, rahat bir pozisyonda geceyi konforlu bir şekilde geçirebileceği en alt sıcaklık değerini ifade etmektedir. Bu değer 25 yaşında, 60 kg ağırlığında ve 1.60 m uzunluğunda “standart kadın” esas alınarak tanımlanmaktadır. Bir erkek bu değerden biraz daha düşük sıcaklıkta geceyi konforlu bir şekilde geçirebilmektedir.

**Limit (sınır) sıcaklık:** Bu değer, tamamen kapalı uyku tulumu içerisindeki kişinin cenin pozisyonunda büzülerek geceyi konforlu bir şekilde geçirebileceği en alt sıcaklık değerini ifade etmektedir. Vücut yüzey alanının yaydığı ısı miktarı minimum olacak şekilde bir pozisyon almak gerekmektedir. Bu değer 25 yaşında, 70 kg ağırlığında 1.73 m uzunluğunda “standart erkek” esas alınarak tanımlanmaktadır. Limit ölçüsünün en alt sıcaklık değerinde bir kadının hipotermi geçirme riski bulunmaktadır.

**Extreme sıcaklık (uç sıcaklık):** Standart bir kadının 6 saat devam ettirilen çok soğukta donmadan geçirebileceği sıcaklık değerini ifade etmektedir. Uyku tulumu kullanıcısı ısı kaybını en aza indirmek için temel metabolik üretimi artıran titreme ile tulum içerisinde kıvrılır (Tischler, 2015, TS EN 13537).

**En yüksek sıcaklık:** Standart bir erkeğin, başlık ve fermuar açık, kollar dışarıda bir uyku tulumu içinde aşırı derecede terlemeden uyuyabileceği sıcaklık değerini gösterir.



**Şekil 9.** Uyku tulumu için (a) kullanım değer aralıkları ve (b) örnek sıcaklık değerleri

Uyku tulumlarının ısı özelliklerini belirlemek için yapılan testte uyuyan gerçek bir insanı simüle etmek için, kontrollü koşullar altında ısıtıcılar ve sıcaklık sensörleriyle donatılmış tam boyutlu manken kullanılır. Manken her zaman ısı direnç değerleri bilinen aynı kıyafetleri giyer (ceket, pantolon, uzun

çorap ve uyku tulumu başlığı varsa bir yüz maskesi) ve uyku matının üstüne yerleştirilir. Manken uyku tulumu içine yerleştirilir ve her ikisi de bir iklim odasına yerleştirilir. Deney mankeninin gövdesi bağımsız yüzey sıcaklığı algılayıcıları ve elektrikli ısıtma telleri olan 15 ekleme bölünmüştür. Manken sabit ısı akışı ile çalıştırılır. Manken vücut ısısına kadar ısıtılır. Kararlı durum ısı iletimi yapıldıktan sonra deney mankeninin ısı kaybı, iklim odasında ve mankenin cilt yüzeyinde hava sıcaklığı ölçülür. Bu ölçümlerden, bütün uyku tulumunun ısı yalıtım değeri hesaplanır. Isıl yalıtım değeri, bir ısı kaybı modelinde, konfor sıcaklığı, sınır sıcaklığı ve ekstrem sıcaklığı belirlemek için kullanılır (Kuklane and Deijke V, 2010; McCulloug, 2009; Nayman et.al.2019; Hes et al 2015).

### **Uyku Tulumu Isıl Performansını Etkileyen Faktörler**

Uyku tulumu performansını temel olarak fiziksel ve fizyolojik faktörler etkilemektedir.

#### **Fiziksel faktörler**

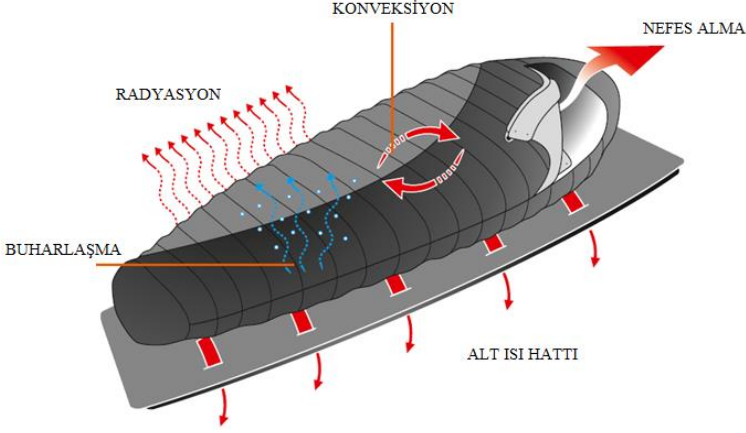
Uyku tulumu kullanımı sırasında çeşitli faktörler nedeniyle ısı kaybı meydana gelmektedir. Bunlar şekilde özetlenebilir.

**Konveksiyon (taşınım):** Vücut ve çevre hava sıcaklıkları farklı olduğunda vücudu çevreleyen hava sayesinde meydana gelir. Genellikle deriden havaya doğru gerçekleşir. Tenimize temas eden hava tenimizin sıcaklığına ısıtılır. Bu ısınmış hava yer değiştirdiğinde yerine gelen soğuk hava da tekrar ısıtılır. Bu ısı kaybı, yüksek sıcaklıktaki bölgelerden daha az sıcaklıkta bulunan bölgelere doğru, vücut ısısının hava akımı yoluyla iletilmesiyle ortaya çıkmaktadır.

**Kondüksiyon (iletim):** Vücut ısısının direkt temasa dışarı iletilmesi yoluyla meydana gelir. Isı iletimi vücudun soğuk cisimlerle temasa gelmesi sonucu artar. Uyuyan kişinin ağırlığı uyku tulumunun alt kısmına baskı yapmaktadır ve bu da tulumun termal verimliliğini büyük ölçüde azaltmaktadır. Zemin için kullanılacak altlıklar bu ısı kayıplarını önemli ölçülerde azaltmaktadır.

**Radyasyon (ışınım):** Isının sıcak cisimden soğuk cisme doğru ışınım yoluyla transferidir. Vücut, içinde bulunduğu ortamdan sıcak olduğu sürece bu yolla ısı kaybeder. Dış çevre soğudukça radyasyon yoluyla kaybedilen ısı da artar.

**Nefes alma (solunum):** Soğuk ortamlarda vücut nefes alma yoluyla ısı ve nem kaybetmektedir. **Buharlaştırma:** İnsan vücudu, vücut sıcaklığını düzenlemek için terleme yapmaktadır. Terleme ile deriden ve solunum yollarından su buharlaşır. Ancak terin vücuttan uzaklaşması mümkün değilse bu rahatsızlık yaratır. Uyku tulumlarında da yeterince nefes alabilme özelliğine sahip değilse zaman geçtikçe ıslak ve konforsuz olacaktır. Bu da uyku tulumunun sıcak tutma verimliliğini kaybetmesine ve vücutta üşümeye neden olmaktadır (Tansuğ, 2019)



**Şekil 10.** Uyku tulumu performansını etkileyen fiziksel faktörler

### Fizyolojik faktörler

Uyku tulumu performansı çeşitli fizyolojik faktörlerden de etkilenmektedir. Bunlar;

**Kilo:** Kilolu olan insanlar daha iyi yalıtım potansiyeline sahip olup aynı zamanda yorucu fiziksel aktiviteler sırasında daha fazla ısı ve enerji açığa çıkarmaktadırlar. Bu yüzden üşüme daha yavaş gerçekleşmektedir. Yine kaslı yapıya sahip insanlarda ısı üretimi ve üşümeye karşı daha fazla direnç gösterir.

**Cinsiyet:** Kadınlar erkeklere oranla üşümeye karşı daha yatkındırlar. Bu durum kadınların doğal olarak vücut-yağ yüzdesi oranının, kas yapısı ile kıyaslandığında daha yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. Aynı vücut yüzey alanına sahip olursa dahi cinsiyete bağlı olarak değişen kas ve yağ oranına göre enerji üretimi de farklılık göstermektedir.

**Yaş:** Metabolizma hızı yaşın artmasına bağlı olarak yavaşlamaktadır. Enerji kaynağı olarak kilit görevi üstlenen kas yapısı da yaş arttıkça azaldığı için, buna bağlı olarak vücut ısı üretkenliği de doğru orantılı olarak azalacaktır.

**Ortam şartları:** Uyku esnasında üretilen sıcaklık veya enerji miktarı o gün yapılan aktivitelerden, kişinin üzerine giydiği kıyafetlerden etkilenmektedir (Dewitz, 2011).

### Sonuç

Uyku tulumu dış ortamlarda kalan insanların geceyin vücut ısısını kaybetmeden ve verimli bir uyku alabilmeleri için içerisine girip uyudukları çok katlı tekstil ürünüdür. Özellikle doğa sporları ve askeri alanlarda kullanılan uyku tulumları hayati önem taşımaktadır. Vücut ısısını koruması



için yüksek ısı yalıtım, oluşacak terin dışarı atılması için iyi bir su buharı geçirgenliği, rüzgara ve yağmura karşı koruyuculuk uyku tulumlarından beklenen temel özelliklerdir. Bunun dışında hafif, dayanıklı ve uzun ömürlü olması önemlidir. Beklentilere göre farklı yapı ve tasarımda uyku tulumları üretilmektedir. Günümüz teknolojik imkanları ile farklı malzemeler kullanılarak yüksek performanslı uyku tulumları üretilmektedir.

TS EN 13537 standardında uyku tulumlarından beklenen temel performans özellikleri ve ısı koruyuculuk özellikleri tanımlanmıştır. İnsan vücudunun belirli sıcaklıklar altında verdiği tepkilere göre uyku tulumlarının ısı değerlendirmeleri yapılmıştır. Uyku tulumu seçiminde rahatlık, geçiş ve risk değer aralığı olarak verilen ısı değerlendirme aralıklarını oluşturan sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu makalede uyku tulumlarının yapısal tasarım ve ısı özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

**Teşekkür:** Bu çalışma Ege Üniversitesi 13-TKUAM-006 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

## **Kaynaklar**

Arslan, K. (2009). Teknik Tekstiller -Genel ve Güncel Bilgiler-, MÜSİAD Araştırma Raporları:58, İstanbul.

Bryne, C. (2000). Technical Textiles Market: An Overview. Handbook of Technical Textiles, The Textile Institute, Woodhead Publishing, England.

Bulut, Y.& Sular, V. (2010). Kaplama veya Laminasyon Teknikleri ile Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri ve Performans Testleri. Tekstil ve Mühendis, 15(1), Sayı:70-71.

Dewitz, A.V. ( 2011). Training Sleeping Systems. Vaude Sport GmbH&Co. Kg, D-88069, Tettnang.

Hes, L., Güneşoğlu, C. & Güneşoğlu, S. (2015). Analysis of Heat Transfer In Inflatable Sleeping Pads. Tekstil ve Konfeksiyon, 25 (4), 300-303.

[https://olive-drab.com/od\\_soldiers\\_gear\\_sleeping\\_bag.php](https://olive-drab.com/od_soldiers_gear_sleeping_bag.php)

<https://www.fabriclink.com/search/fabric-search>

<https://www.rei.com/learn/expert-advice/sleeping-bag.html>

Go Outdoors Guide to Sleeping. (2014). <http://www.gooutdoors.co.uk/expert-advice/sleeping-bag-guide> (Erişim Tarihi: Kasım 2019).

Jones, J. and Stancliffe, A. (1995). Product Design An Activity Based Case Study of Sleeping Bags. University of York, Y01 5DD, Heslington, York.

Kalev Kuklane & Valter Dejke. (2010). Testing Sleeping Bags According to EN 13537:2002: Details That Make the Difference. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 16:2, 199-216.

Kaya, O. (2013). The North Face Inferno Uyku Tulumu İncelemesi. <http://www.outdoorhaber.com/the-north-face-inferno-uyku-tulumu-incelemesi/> (Erişim Tarihi: Kasım 2019).

Marmaralı A., Kretschmar D. S., Özdil N., Oğlakçioğlu N. (2006). Giysilerde Isıl Konforu Etkileyen Parametreler. Tekstil ve Konfeksiyon, 4, 241-246.

McCullough E., (2009). Issues Concerning the EN 13537 Sleeping Bag Standard, Proceeding of the Outdoor Industry Association.

[Mark harvey, Sleeping Bags, Wildernesguide, 1999, The National Outdoor Leadership School.](#)

MEGEP. (2013). El Sanatları Teknolojisi, Uyku Tulumu. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara

Nayman E. (2016). Uyku Tulumlarının Performans Özellikleri ve Yüksek Kullanım Konforu Sağlayan Tulum Tasarım. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

Nayman E., Özdil N., Özçelik G.K., Mengüç G.S.(2019). Performance Characteristics of Sleeping Bags. 2nd International Congress of Innovative Textiles, ICONTEX2019, Tekirdağ, 17-18 Nisan 2019, 244-251.

Rock, M. (2004). Multi-Layer Garment System. Pub. No: US 2004/0132367 A1, Brookline, MA (US).

Tansuğ Y. Isı Kaybı, Hipotermia ve Donmalar. [www.budak.org.tr](http://www.budak.org.tr) (Erişim Tarihi: Kasım 2019)

The Euklisia Rug. (2014). The British Museum BBC, A History of The World, <http://www.bbc.co.uk/ahistoryoftheworld/objects/> (Erişim Tarihi: Kasım 2019).

Telçeken, S. (2002). Kampçılık ve Enduro Öğrenim Kampı-1. [http://home.anadolu.edu.tr/~stelceken/inonu\\_kampcilik\\_egitimi1.pdf](http://home.anadolu.edu.tr/~stelceken/inonu_kampcilik_egitimi1.pdf) (Erişim Tarihi: Kasım 2019)

Tishler, S. ( 2015). Sleeping bags for backpacking: How to choose, EN temperature ratings. <https://www.rei.com/learn/expert-advice/sleeping-bag-backpacking.html> (Erişim tarihi: Kasım 2019)

TS EN 13537-Nisan 2004, Uyku tulumları için özellikler.

U.S. Military Sleeping Bags. (2011). [http://olive-drab.com/od\\_soldiers\\_gear\\_sleeping\\_bag.php](http://olive-drab.com/od_soldiers_gear_sleeping_bag.php) (Erişim Tarihi: Kasım 2019).

- Uyku Tulumu ve Mat Seçimi. ( 2006). <http://www.adrenalinoutdoor.com/content24/Uyku-tulumu-ve-mat-secimi>, (Erişim Tarihi: Kasım 2019).
- Yalçınalp, C. (2012). Uyku Tulumu, <http://dagcicoskun.blogspot.com.tr/2012/09/uyku-tulumu.html> (Erişim Tarihi: Kasım 2019).
- Your Camping Equipment's Fascinating History. (2011). <http://mentalfloss.com/article/27766/your-camping-equipments-fascinating-history> (Erişim Tarihi: Kasım 2019 ).

**ARCHITECTURE SCIENCES / MİMARLIK BİLİMLERİ**

## UNESCO DÜNYA MİRAS ALANLARI VE VI. KRİTER

**Tansu DEĞİRMENCİ\* & Doç. Dr. Nezihat KÖŞKLÜK KAYA\*\***

\* *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, degirmencitansu@gmail.com*

\*\* *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, nezihat.koskluk@deu.edu.tr*

**Özet:** 20. yüzyılda artan koruma bilinci ve tartışılan kültürel mirası koruma kapsamı uluslararası platforma taşınarak UNESCO (United Nations Education, Science and Culture Organization) başta olmak üzere birçok örgütün büyük desteğini almıştır. 1945 yılında kurulma kararı alınan ve 1946 yılında kuruluşunu Türkiye de dahil olmak üzere 20 ülkenin onayladığı UNESCO'nun da içinde bulunduğu bu örgütler finansal ve eğitimci katkılarıyla günümüz koruma yaklaşımlarını etkilemişlerdir. UNESCO 1954, 1970, 1972 ve 2003 tarihlerinde hazırladığı kültür sözleşmeleriyle koruma disiplinine büyük çapta bir destek vermiş ve korunması gerekli kültürel mirasların geleceğe aktarılması ile ilgili önemli katkılar sağlamıştır. Koruma alanında uluslararası platformda yürüttüğü çalışmalarla öncü bir rol üstlenen UNESCO hazırladığı her bir kültür sözleşmesinde ele aldığı kültürel miras kavramına, hazırlandığı dönemin şartları bağlamında çeşitli tanımlar getirmiş, kapsam ve yöntemine dair yürütülen tartışmalara önemli katkılar sağlamıştır. Bugün gelinen noktada, UNESCO'nun 1972 ve 2003 sözleşmeleri kültürel mirasın korunması konusunda önemli kırılma noktaları olarak gözlemlenmiştir. Koruma kapsamını yıllar içinde genişletmiş olan kurumun, 1972 Sözleşmesi'nde hazırlanması kararı verilen, Dünya Miras Listesi'ne girebilmek için sağlanması gerekli 10 adet kriterden birisi olan VI. kriter, tartışılan bütüncül koruma yaklaşımının ele alındığı bir kriterdir. Çalışmanın odağını, Dünya Miras Listesi'ne girmek için sağlanması gereken kriterlerden birisi olan VI. kriter oluşturmaktadır. Çalışmada, ilgili sözleşmelerde kültürel miras kavramının evrimi araştırılmış ve elde edilen verilerle somut ve somut olmayan kültürel mirasa bakış açısının Dünya Miras Alanları üzerindeki yansımaları analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dünya Miras Listesi, Kültürel Miras, Somut Olmayan Kültürel Miras, UNESCO

### Giriş

16 Kasım 1945 yılında kurulma sözleşmesi imzalan ve 4 Kasım 1946 yılında Türkiye dahil olmak üzere 20 ülke tarafından onanan UNESCO (United Nations Education, Science and Culture Organization)'nun temelinde insanlığın entelektüel ve ahlaki dayanışmasını kurma ve yeniden oluşması muhtemel bir savaş ortamını engelleme fikri yatmaktadır.

Kuruluşunu Türkiye de dahil olmak üzere 20 ülke onaylamıştır. 20. yüzyılda artan koruma bilinci ve tartışılan kültürel mirası koruma yöntemleri uluslararası platforma taşınarak bazı örgütlerin desteklerini almıştır. UNESCO'nun da içinde bulunduğu bu örgütler finansal ve eğitimci katkılarıyla günümüz koruma yaklaşımlarını etkilemişlerdir. UNESCO Dünya Miras Listesi ile kültürel miras olarak tanımlanan alanların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada Dünya Miras Listesi'ne alınırken sağlanması gerekli on kriterden birisi olan ve somut ve somut olmayan değerlerin bir arada korunmasını amaçlayan VI. kriter ile bu kriter kapsamında Dünya Miras Alanları'nda somut ve somut olmayan kültürel mirasın birlikte ele alışı incelenmiştir. Bu çalışma “UNESCO Dünya Miras Alanlarında Somut Olmayan Değerlerin Somut Değerlerle Birlikte Ele Alınması, Koruma Uygulamaları ve Örnekler” adlı tez çalışmasından üretilmiştir.

### **Unesco Sözleşmelerinde Kültürel Miras**

1970'lere kadar kültürel varlıkların korunması devletlerin kendi egemenlik sınırları içinde sorumlu oldukları bir konu olarak görülürken, 1970'li yıllara gelindiğinde kültürel ve doğal mirasın barış zamanında korunması için ilk çabalar ortaya çıkmış ve “insanlığın ortak mirası” kavramı uluslararası platformlarda ve toplum içinde giderek kabul görmeye başlamıştır (Akipek, 2001; Başlar, 2011). Bugün gelinen noktada UNESCO, insanlığın ortak mirasına yönelik yürüttüğü kampanyalarla ve hazırladığı kültür sözleşmeleriyle birlikte uluslararası platformda koruma yaklaşımlarında dikkate değer bir konuma sahiptir.

### **1972 Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme**

20. yüzyılda Yukarı Nil'de Aswan Barajı'nın yapımı nedeniyle sular altında kalma tehlikesi ile karşılaşan Nubian anıtları ve 1966'da Venedik ve Floransa'da tarihi dokuyu tehdit eden taşkınların yaşanması kültürel varlıkların korunmasında uluslararası işbirliğine duyulan ihtiyacı gözler önüne sermiştir (Akipek, 2001; Başlar, 2011). Bu durum birçok uluslararası örgütün desteklediği koruma faaliyetlerinin yanısıra UNESCO Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme'nin ortaya çıkışını da tetiklemiştir (Akipek, 2001).

Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme, 17 Ekim-21 Kasım 1972 tarihleri arasında Paris'te toplanan UNESCO (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü) Genel Konferansı'nda kabul edilip 17 Aralık 1975 yılında yürürlüğe girmiştir (UNESCO, 1972). Türkiye Sözleşme'yi 23 Mayıs 1982 tarihinde

onaylanmış ve Sözleşme 14 Şubat 1983 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (UNESCO Türkiye, 2018). Sözleşme, kültürel ve doğal mirasın tanımlamalarını, ulusal ve uluslararası korunması konusunda taraf devletlerin yükümlülüklerini, Dünya Mirası Komitesi’nin işleyiş ve görevlerini, Dünya Mirası Fonu’nun kullanım amaçları ve sınırlarını, uluslararası yardım koşullarını, eğitim programları ve taraf devletlerin hazırlaması beklenen periyodik raporlar hakkında bilgiler içermektedir. Sözleşme kapsamında, devletlerin ulusal miraslarını saptayarak muhafaza etme gayretlerini destekleyen bir uluslararası işbirliği ve yardım sisteminin kurulması; insanlığın ortak mirası olarak kabul edilen evrensel değerlere sahip kültürel ve doğal mirasların dünyaya tanıtılması; bu mirasa sahip çıkma ve koruma bilincinin gençlere aktarılması ve çeşitli sebeplerle bozulan veya yok olan kültürel ve doğal değerlerin yaşatılması için gerekli işbirliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için oluşturulan kurumsal yapının merkezinde “Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunması için Hükümetlerarası Komite” bulunur. Sözleşme doğrultusunda “Dünya Mirası Listesi” ve “Tehlike Altındaki Dünya Mirası Listesi” oluşturulmuş ve koruma faaliyetlerine maddi kaynak sağlanması için “Dünya Kültürel ve Doğal Mirasını Koruma Fonu” kurulmuştur.

Geçmiş yıllarda imzalanan UNESCO koruma sözleşmelerine bakıldığı zaman, kültüre ve kültürel mirasa bakış açısının zamanla değişimi söz konusudur. 14 Mayıs 1954 tarihli “Silahlı Çatışma Durumunda Kültürel Varlığın Korunması Sözleşmesi” incelendiğinde önceliğin savaş, çatışma ve benzeri iç karışıklıklar durumunda zamanın anlayışına göre tarih ve sanat açısından değerli bulunan “objeler”e verildiği anlaşılmaktadır. Bu konuda ikinci belge olan 14 Kasım 1970 tarihli “Kültür Varlıklarının Kanunsuz İthal, İhraç ve Mülkiyet Transferinin Önlenmesi ve Yasaklanması İçin Alınacak Tedbirlerle İlgili Sözleşme” adından da anlaşılacağı üzere objelerin korunmasına yöneliktir ve tarihi eser kaçakçılığını önleme amaçlıdır (Oğuz, 2013). Düzenlendiği alanda ağırlığı olan uluslararası bir metin olarak Dünya Miras Sözleşmesi’nde, ilk defa “property” (varlık) yerine “heritage” (miras) teriminin kullanılması, korunması gerekli değerlerin tek bir devlete ait olmanın ötesinde, ayrı bir önem taşıdıklarının kabulü anlamına gelmektedir (Akipek, 2001).

16 Kasım 1972 tarihli Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunması Sözleşmesi’nde ise bu sözleşmelerin tanımladığı konular dışında kalan taşınmaz kültürel değerler için bir sözleşmedir ve yapı/mimari odaklıdır (Oğuz, 2013). Bu sözleşmede korunması gerekli kültür mirası, kültürel ve doğal miras olarak iki ayrı kategoride ele alınmıştır. Kültürel miras başlığı altında anıtlar, yapı grupları ve sitler incelenirken, doğal miras başlığı

altında fiziksel ve biyolojik oluşumlardan veya bu tür oluşum topluluklarından oluşan doğal anıtlar, jeolojik fizyografik oluşumlar, tükenme tehdidi altındaki hayvan ve bitki türlerinin yetiştiği alanlar ve üstün evrensel değeri olan doğal sitler incelenmektedir.

### **2003 Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi**

1972 Sözleşme'si bütünüyle somut miraslara odaklanmıştır ve bu somut miras çevresinde oluşan kültürel aktarımlara değinilmemiştir. Kültürü oluşturan maddi ve manevi değerlerin sadece maddi yönüyle ilgilenen ve sosyo-kültürel dinamikleri göz ardı eden bu sözleşme bütüncül koruma yaklaşımına uygun değildir (Metin Basat, 2013). Sözlü anlatımlarla kuşaktan kuşağa aktarılan ve bu şekilde yaşatılan kültürel miras hakkında sözleşme düzeyinde bir düzenlemenin yapılmamış olması, 1972 tarihli sözleşmenin kültürel miras tanımlamasından sonra daha güçlü bir şekilde eleştirilmeye başlanmış ve eleştiriler 1973 yılında Bolivya'da düzenlenen toplantının gündemini oluşturmuştur. Toplantının ana teması 1954, 1970 ve 1972 Sözleşmelerinin kapsamı dışında kalan kültürel mirasın UNESCO bünyesinde nasıl korunacağı sorunudur. Toplantı sonucunda 1952 yılında hazırlanan ve 1971 yılında güncellenen Yazar Hakları Evrensel Sözleşmesi'ne Folklorun Korunması Protokolü eklenmiştir. Bolivya Deklarasyonu olarak UNESCO tarihine geçen bu belgenin en önemli özelliği ilk kez bu düzeyde bir belgede folklorun korunması gereken bir kültürel miras olarak tanınması ve tanımlanmasıdır (Oğuz, 2013).

1982 yılına kadar korunması planlanan kültürel miras için folklor terimi kullanılmıştır. Bu tarihte UNESCO bünyesinde Materyalsiz Miras Bölümü'nün kurulması ve folklor yerine materyelsiz miras veya manevi miras terimlerinin kullanılması, antropoloji, etnoloji veya folklor teriminin yeterince kapsayıcı bulunmadığını gösterir. Bolivya'da başlayan çalışmalar zenginleştikçe ve ilerledikçe korunması planlanan kültürel mirasın tanımlanması ve terimleştirilmesi konusunda anlaşmazlıklar çoğalmış ve derinleşmiştir. Terimleştirme kaygısı 1989 yılında düzenlenen Geleneksel ve Popüler Kültürün Korunması Tavsiye Kararı'nın adından da anlaşılmaktadır. 1972 Sözleşmesi dışında kalan kültürel mirasın terimsel karşılığı 2003 yılına kadar tartışma konusu olmuştur (Oğuz, 2013).

UNESCO'nun 32. Genel Konferansı'nın 17 Ekim 2003 tarihli oturumunda kabul edilen "Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi"nin tanımladığı ve öğelerini belirlediği somut olmayan kültürel miras, büyük ölçüde halk bilimcilerin folklor olarak adlandırdıkları alanla ilişkilidir ancak kapsamı farklıdır. Sözleşme tanımladığı somut olmayan kültürel miras kapsamında, kültürel mirasın



yaşatılarak korunmasına öncelik vermiş ve ortak bellek, paylaşılan deneyim, toplumsal kimlik veya tarihsel süreklilik gibi alanlarını da korumayı hedeflemiştir. 2003 tarihli sözleşmeyi geçmiş yıllarda düzenlenen belgelerden ayıran yanı sıra, obje odaklı olmaması ve kültürel mirası onu üreten, yaşatan ve aktaran bilgi, gelenek ve birikim ile birlikte korunmayı hedeflemiş olmasıdır (Oğuz, 2013). Geçmiş belgelerde kullanılan “preservation” (koruma) kelimesine karşılık bu sözleşmede içinde kullanılan “safeguard” (bağlamında yaşatma) kelimesinin tercihi de sözleşmeler arasındaki koruma yaklaşımı farkını ortaya koymaktadır (Metin Basat, 2013).

Somut olmayan kültürel miraslarında “süreci” korumaya hedeflenen yaklaşım ile somut kültür varlıklarında “sonucu” korumaya odaklanan yaklaşım farklı bakış açıları ve sonuçları doğurmaktadır. Somut olmayan kültürel miras da geleneksel mimari tekniklerinin korunması konusunda bir bilinç aşılama çalışır ancak sadece “sonuç” üzerine odaklanmaz. Söz konusu yapının nasıl yapıldığı, yapım sırasında usta-çırak ilişkisinin nasıl olduğu, deneyimin kuşaktan kuşağa hangi yollarla aktarıldığı ve yapının hangi kültürel ve sosyal olayların bir parçası olduğu gibi yani bağlamıyla kurduğu ilişki 2003 Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi açısından önemlidir (Gürçayır, 2011).

### **Unesco Dünya Miras Alanları ve VI. Kriter**

Bir alanın Dünya Miras Listesi’ne dahil edilebilmesi için üstün evrensel değere sahip olup olmadığını belirlemek adına Dünya Miras Komitesi tarafından belirlenen 10 kriterin, ilk altısı kültürel miraslarda, kalan dördü de doğal miras alanlarında aranmaktadır (UNESCO, 2018). Bu kriterler :

- i. İnsanın yaratıcı dehasının üst düzeyde bir temsilcisi olması
- ii. Dünyanın bir kültür bölgesinde veya bir dönemde mimarlık veya teknoloji, anıtsal sanatlar, kent planlama veya peyzaj tasarımı alanlarında önemli gelişmelere ilişkin insani değer alışverişlerine tanıklık etmesi
- iii. Yaşayan veya yok olan bir kültür geleneğinin veya uygarlığın istisnai, ender rastlanan bir temsilcisi olması
- iv. İnsanlık tarihinin önemli bir aşamasını veya aşamalarını gösteren bir yapı tipinin, mimari veya teknolojik bütünü veya peyzajın istisnai bir örneği olması
- v. Özellikle geri dönülmez bir değişimin etkisi altında hassaslaşmış olan çevre ile insan etkileşiminin veya bir kültürün/kültürlerin temsilcisi olan, geleneksel insan yerleşimi, arazi kullanımı veya deniz kullanımının istisnai bir örneği olması

- vi. İstisnai evrensel önem taşıyan sanatsal veya edebi eserler, inançlar, fikirler, yaşayan gelenekler ve olaylarla doğrudan veya dolaylı olarak ilgili olması
- vii. Üstün doğal görünelere veya eşsiz doğal güzelliklere ve estetik öneme sahip alanları içermesi
- viii. Yaşamın kaydı, yer şekillerinin oluşumunda devam eden önemli jeolojik süreçler veya önemli jeomorfik veya fizyografik özellikler dahil dünya tarihinin önemli aşamalarını temsil eden istisnai örnekler olması
- ix. Kara, tatlı su, kıyı ve deniz ekosistemleri ve hayvan ve bitki topluluklarının evrim ve gelişiminde devam eden önemli ekolojik ve biyolojik süreçleri sunan istisnai örnekler olması
- x. Bilim veya koruma açısından istisnai evrensel değere sahip tehlike altındaki türleri içeren yerler de dahil, biyolojik çeşitliliğin yerinde korunması için en önemli ve dikkat çeken doğal habitatları içermesi

## **Dünya Miras Alanları VI. Kriter Analizi**

2019 yılı itibariyle Dünya Miras Listesi'nde 167 taraf devlete ait 1121 adet korunması gerekli miras alanı bulunmaktadır. Bunların 869'u kültürel, 213'ü doğal ve 39'u hem kültürel hem doğal miras nitelikleri taşıyan karma mirastır. 53 adeti Tehlike Altındaki Kültürel Miras kategorisindedir ve 39 adet sınırotesi kültürel miras bulunmaktadır. VI. kriteri içeren Dünya Miras Alanları, 246 adetle listenin %22'sini oluşturmaktadır.

VI. kriteri içeren miras alanlarının 13 tanesi tehlikede olan ve 6 tanesi sınırotesi kültürel mirastır. VI. Kriteri içeren 246 adet Dünya Miras Alanı içinde yalnızca 12 tanesi sadece VI. kriteri içermeye koşulu sağlayarak %5'lik bir yüzde içinde bulunmaktadır. Geri kalan miras alanının oluşturduğu %95'lik dilimde ise VI. kriterle birlikte en az bir kriteri daha karşılayan 229 adet miras alanı bulunmaktadır (WHC, 2019). 2003 Sözleşmesi'nin ardından Dünya Miras Listesi'nde VI. kriteri içeren Dünya Miras Alanları sayısı yıllık %24 oranında artış göstermiştir.

## **Sadece VI. Kriteri Sağlayan Dünya Miras Alanları**

### **Kanada, L'Anse aux Meadows Ulusal Tarihi Bölgesi**

1978 yılında listeye girmeye hak kazanan L'Anse aux Meadows Ulusal Tarihi Bölgesi, Kuzey Amerika'daki Avrupalıların en eski kanıtı olan tam 11. yüzyıl Viking yerleşiminin kalıntılarını içermektedir. Newfoundland adasının Büyük Kuzey Yarımadası'nın ucunda yer alan bu olağanüstü arkeolojik alan, aynı dönemde Norse Grönland ve İzlanda'da bulunanlarla

aynı tarzda inşa edilen sekiz ahşap karkas ve çim çatılı yapıdan oluşuyor. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, L'Anse aux Meadows, Kuzey Amerika'daki Vikingler tarafından kurulan ve Yeni Dünya'daki Avrupa yerleşiminin ilk kanıtı olarak kurulan ilk ve tek bilinen yerdir. Bu nedenle, insan göçü ve keşif tarihinde benzersiz bir dönüm noktasıdır (WHC, 2018).

### **Senegal, Gorée Adası**

1978 yılında listeye girmeye hak kazanan Gorée Adası, köle ticaretinin kontrolü için Avrupa milletleri arasındaki rekabetin merkezinde yer aldı. Ada, köle ticareti son bulana kadar bir düzine köle evinden oluşan bir depoydu. Gorée'nin evrensel değerini yansıtan somut unsurlar arasında özellikle, Portekizler, Hollandalılar, İngilizler ve Fransızlar tarafından ardi ardına yönetilen bölgenin mimarisi, korkunç köle evleri ve köle tüccarlarının zarif evleri arasındaki kontrast ile karakterize edilmiştir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Gorée Adası, insan toplulukları tarihindeki en büyük trajedilerin istisnai bir ifadesidir: köle ticareti. Bu "Bellek Adası"nın kaleler, binalar, sokaklar, meydanlar gibi çeşitli unsurlarının her biri kendince, 15.yüzyıldan 19. yüzyıla kadar, Afrika sahilinin en büyük köle ticaret merkezi olan Gorée'nin tarihini anlatır (WHC, 2018).

### **Gana, Hisarlar ve Kaleler, Volta, Büyük Accra, Orta ve Batı Bölgeleri**

1979 yılında listeye girmeye hak kazanan Hisarlar ve kaleler, Portekiz, İspanya, Danimarka, İsveç, Hollanda, Almanya ve İngiltere'den tüccarlar tarafından farklı zamanlarda inşa edildi ve işgal edildi. Gelişen köle ticaretiyle Amerika tarihinde ve daha sonra 19. yüzyılda bu ticaretin bastırılmasında önemli bir rol oynadı. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Gana'nın hisarları ve kaleleri sadece Gana'nın tarihini değil, dört yüzyıl boyunca dünyanın altın ticaretinin ve daha sonra köle ticaretinin odak noktası olarak şekillendirdi. Avrupa-Afrika karşılaşmalarının ve Afrika diasporasının başlangıç noktasının önemli ve duygusal bir sembolüdür (WHC, 2018).

### **Polonya, Auschwitz Birkenau, Alman Nazi Toplama ve İmha Kampı (1940-1945)**

1979 yılında listeye girmeye hak kazanan Auschwitz Birkenau, Alman Nazi Toplama ve İmha Kampı'nın VI. kriter açıklamasına göre, Alman Nazi rejimi tarafından Yahudilerin kasıtlı soykırımına ve sayısız insanın ölümüne sebep olan Auschwitz Birkenau, insanlığa karşı işlenen en büyük suçlardan birine karşı geri döndürülemez kanıtlar taşımaktadır. Aynı zamanda, korkunç sıkıntı koşullarında, Alman Nazi rejiminin özgürlük ve

özgür düşüncüyü bastırmak ve bütün ırkları yok etmek için çabalarına direnen insan ruhunun gücüne bir anıttır. Alan, tüm insanlığın soykırım, ırkçı politikalar ve barbarlık için önemli bir hafıza yeridir; insanlık tarihindeki bu karanlık bölümün, genç nesillere aktarılmasının ve aşırı ideolojilerin ve insan onurunun reddinin birçok tehdidinin ve trajik sonuçlarının bir işareti olduğuna dair bir kolektif hafızamızın bir yeridir (WHC, 2018).

### **ABD, Bağımsızlık Salonu**

1979 yılında listeye girmeye hak kazanan Bağımsızlık Salonu'nda imzalanan Bağımsızlık Bildirgesi'nin ortaya koyduğu evrensel özgürlük ve demokrasi ilkeleri, Amerikan tarihi için temel bir öneme sahiptir ve aynı zamanda dünya çapındaki hukukçuları da derinden etkilemiştir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Bağımsızlık Salonu'nda tartışılan, kabul edilen ve imzalanan Amerika Birleşik Devletleri'nin Bağımsızlık Bildirgesi'nde (1776) ve Anayasa'da (1787) ifade edildiği gibi, devrim hakkı ve öz-yönetimin evrensel ilkeleri; Dünya çapında milletvekilleri ve politikacıları derinden etkiledi. İki belgenin temel kavramları, formatı ve hatta unsurları birçok ülkede ve Birleşmiş Milletler Bildirgesi'nde hükümet tüzüklerini etkilemiştir (WHC, 2018).

### **Kanada, Head-Smashed-In Buffalo Jump**

1981 yılında listeye girmeye hak kazanan Head-Smashed-In Buffalo Jump, 19. yüzyılın sonlarına kadar devam eden ve hala ovalar uluslarının “geleneksel bilgi tabanının” bir parçasını oluşturan geçimlik avlanma örneğidir. Kuzey Amerika'da Avrupa öncesi temas hayatının olağanüstü bir ifadesi olan bu “buffalo jump” alanı, Kuzey Amerika ovalarının yerli halkı tarafından uygulanan sofistike bir geleneğe tanıklık ediyor. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Head-Smashed-In Buffalo Jump en büyük, en geniş ve en iyi korunmuş alanlardan biridir ve beş bin yıldan fazla süredir Kuzey Amerika'da bizonların var olduğu geniş bir arazide yaşayan Plains halkının ortak avcılık tekniklerini ve yaşam tarzını göstermektedir. (WHC, 2018).

### **Bulgaristan, Rila Manastırı**

1983 yılında listeye girmeye hak kazanan Rila Manastırı, Orta Çağ'dan günümüze kadar kesintisiz bir tarihle, Bulgar Ulusal Canlanması'nın en önemli manevi ve edebi merkezidir. Alan; yerin ruhunun tamamen korunduğu konum, bağlam, konsept, kullanım, işlev ve gelenek ile özgünlük koşulunu sağlamaktadır. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Rila Manastırı, kesintisiz bir tarihi sürekliliği yeniden kurmaya

çalışırken Rila üzerine Slav değerleri kazandıran 19. yüzyıl Bulgar Rönesansı'nın sembolü olarak kabul edilir (WHC, 2018).

### **ABD, Porto Riko La Fortaleza ve San Juan Ulusal Tarihi Bölgesi**

1983 yılında listeye girmeye hak kazanan, 2016 yılında miras alanı kapsamı değiştirilen San Juan surlarının 16. yüzyıldan 20. yüzyıla kadar askeri mimarisinin çeşitli örnekleri, Amerika'nın gelişimini tanımlayan emperyal mücadelelerin kanıtıdır. Bu yapılar günümüzde İspanyol dünyasını birbirine bağlayan kültürel bağların güçlü sembolleridir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, La Fortaleza ve San Juan Ulusal Tarihi Bölgesi, 16. yüzyıldan 20. yüzyıla kadar askeri mimarideki Avrupa'daki gelişmelerin Karayipler bağlamına uyumunu mükemmel bir şekilde göstermektedir. Dört yüzyılı aşkın mimari, mühendislik, askeri ve politik tarihin sürekliliğini temsil ediyorlar (WHC, 2018).

### **Japonya, Hiroşima Barış Anıtı (Genbaku Kubbesi)**

1996 yılında listeye girmeye hak kazanan Hiroşima Barış Anıtı (Genbaku Dome), 6 Ağustos 1945'te ilk atom bombasının patladığı alanda kalan tek yapıydı. İnsanlığın şimdiye kadar yarattığı en yıkıcı gücün sadece keskin ve güçlü bir sembolü değil; aynı zamanda dünya barışına ve tüm nükleer silahların nihai olarak ortadan kaldırılmasına yönelik umudu dile getiriyor. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Hiroşima Barış Anıtı (Genbaku Dome), insanlığın şimdiye kadar yarattığı en yıkıcı gücün ortaya çıkmasını takiben yarım yüzyıldan fazla bir süredir dünya barışının keskin ve güçlü bir sembolüdür (WHC, 2018).

### **Bosna-Hersek, Eski Mostar Şehri Eski Köprü Alanı**

2005 yılında listeye girmeye hak kazanan Eski Mostar Şehri Eski Köprü Alanı'nın VI. kriter açıklamasına göre, Eski Köprü ve çevresinin "Rönesansı" ile Mostar şehrinin sembolik gücü ve anlamı, farklı kültürel, etnik ve dini kökenlerden gelen toplulukların bir arada varoluşunun evrensel ve istisnai bir sembolü olarak görülmüştür. Ezici felaketler karşısında pekiştirilmiş ve güçlendirilmiş, insan dayanışmasının barışçıl ve güçlü birlikteliğinin sınırsız çabalarının altını çiziyor (WHC, 2018).

### **Mauritius, Aapravasi Ghat**

2006 yılında listeye girmeye hak kazanan Aapravasi Ghat miras alanı, 19. yüzyılda "özgür" işçiliğin önemli bir tarihi ifadesi olarak duruyor ve bu eşsiz modern diaspora'nın hayatta kalan tek örneğidir. Sadece modern sözleşmeli emek sisteminin gelişimini değil, aynı zamanda bu erkeklerin,

kadınların ve çocukların, yabancı topraklarda çalışmak için kendi ülkelerini bıraktıklarında onlarla birlikte taşıdıkları anıları, gelenekleri ve değerleri de temsil eder. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Aapravasi Ghat, 1834'te İngiliz Hükümeti tarafından köle işçiliği yerine sözleşmeli işçiliğin kullanıldığı 'büyük deney' için seçilen ilk alan olarak, Hindistan'dan Mauritius'a şeker kamışı tarlalarında çalışmak veya dünyanın diğer bölgelerine aktarma yapmak için taşınan neredeyse yarım milyon sözleşmeli işçinin anıları ile fazlasıyla ilişkilidir (WHC, 2018).

### **Brezilya, Valongo Rıhtımı Arkeolojik Bölgesi**

2017 yılında listeye girmeye hak kazanan Valongo Rıhtımı Arkeolojik Bölgesi, Afrika kökenli Amerikalılar için bir bellek referansı ve kimlik ifadesi uyandırmaktadır. Bu durum, alanın keşfinden sonraki 5 yıl boyunca rıhtımın yıkanması gibi dini ritüellerin yaratılmasının altını çizmektedir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Valongo Rıhtımı köleleştirilmiş Afrikalıların Amerikan kıtasındaki tarihi gelişimiyle ilgili en önemli fiziksel kanıttır. İnsanlığın en korkunç suçlarından birine, tarihin en büyük zorla göç hareketini yaratan, yüzbinlerce insanın köleleştirilmesine güçlü ve somut kanıtlar gösteren bir vicdan alanıdır. Afrika kökenli Amerikalı topraklara bastığı ve köleleştirilmiş emek olarak yeni hayatlarına girdiği yer, birçok Afrikalı Brezilyalı'nın güçlü bir şekilde ilişkilendirebileceği acı verici anılar uyandırıyor. Bu hatıraları korumak için Valongo Rıhtımı'nın çevresi, sürekli olarak Afrika mirasını kutlayan çeşitli tezahürler için bir arena haline gelmiştir (WHC, 2018).

### **Dünya Miras Alanları ve VI. Kriter, Türkiye**

#### **Türkiye, Troya Arkeolojik Sit Alanı**

1998 yılında II, III ve VI. kriteri sağlayarak listeye girmeye hak kazanan Troya Arkeolojik Alanı 4.000 yıllık bir tarihe sahiptir. Kapsamlı kalıntıları, Anadolu uygarlıkları ile gelişen Akdeniz dünyası arasındaki ilk temasın en önemli kanıtıdır. Yüzyıllar boyunca, Troya göç, işgal, ticaret ve bilgi aktarımı yoluyla Balkanlar, Anadolu, Ege ve Karadeniz bölgeleri arasında kültürel bir köprü görevi görmüştür. Bir asırdan daha uzun bir süre önce başlayan kazılar, Eski Dünya'nın bu dönem döneminin ve kültürel gelişiminin anlaşılmasında temel olan bir kronoloji oluşturdu. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Troya Arkeolojik Alanı, Homer'in İlyada'sı ve Virgil'in Aeneid'i gibi önemli edebi eserlerde ve iki binin üzerinde önemli sanat eserleri üzerindeki derin etkisinden dolayı olağanüstü kültürel öneme sahiptir (WHC, 2018).

## **Türkiye, Bursa ve Cumalıkızık: Osmanlı İmparatorluğu'nun Doğuşu**

2014 yılında I, II, IV ve VI. kriteri sağlayarak listeye girmeye hak kazanan Bursa ve Cumalıkızık bugün hala yaşayan ticari kültürü ve kente oldukça yakın kırsal yaşamın devamlılığı ile birlikte erken dönem Osmanlı yaşam şekli ve vizyonuna iyi bir örnek teşkil etmektedir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Bursa, erken dönem Osmanlı dönemine ait önemli tarihi olaylar, efsaneler, fikirler ve geleneklerle doğrudan ilişkilidir. Erken Osmanlı padişahlarının mezarlarının ve Orhan Gazi Külliyesi'nin yapımında işçi olan ünlü Hacivat ve Karagöz karakterlerinin varlığıyla yaratılan kentin mistik görüntüsü, erken Osmanlı yaşamıyla bağlantılı ilişkisini koruyor. Müslüman dünyasının liderleri olan pek çok padişah ve saray, Bursa'nın İstanbul'un fethinden sonra bile Osmanlı'nın manevi başkenti olarak önemini kabul etmiş ve Bursa'yı defin yeri olarak seçerek ataları ve şehre sadakatlerini göstermişlerdir (WHC, 2018).

## **Türkiye, Bergama ve Çok Katmanlı Kültürel Peyzajı**

2014 yılında I, II, III, IV ve VI. kriteri sağlayarak listeye girmeye hak kazanan Bergama ve Çok Katmanlı Kültürel Peyzajı, Kale Dağı'nın tepesindeki antik Pergamon yerleşimi anıtsal mimarisiyle Helenistik dönem şehir planlamacılığının en iyi örneğini temsil etmektedir. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Pergamon sanat, mimarlık, planlama, din ve bilim ile ilgili önemli insanlar, okullar, fikirler ve gelenekler ile ilişkilidir. Pergamon heykel okulu "Pergamon Stiline" katkıda bulunmuştur. Kybele Kültü, Anadolu'da sürekli bir gelenek ve inancı temsil eder. Kybele Kültü'nün bizzat Bergama Attalid Kralı tarafından Roma'ya gönderilmesi gibi dinsel ve kültürel bir olay ve III. Attalos'un İ.Ö. 133'de krallık topraklarını Roma'ya vasiyet etmesi, Roma'ya Anadolu'nun kapılarının açılması ve Doğu Roma İmparatorluğu'nun oluşmasına sebep olmuştur. İlk olarak Roma döneminde bir tapınak olarak inşa edilen, Geç Roma ve Bizans dönemlerinde kiliseye dönüştürülen ve o sırada rotundalarından biri sinagog olarak kullanılmış olan ve 13. yüzyıldan itibaren cami olarak kullanılan Serapis Tapınağı'nın sürekli dini kullanımı, belirli bir yerin dini amaçlarla kullanımın sürekliliğinin bir örneğidir. Hekim, cerrah ve filozof Galen Pergamon'da eğitildi ve eserleri oradan yayıldı. Sonuncu ve önemli olarak, Pergamon'a özgü Parşömen üretim geleneği bulunmaktadır (WHC, 2018).

## **Türkiye, Efes**

2015 yılında III, IV ve VI. kriteri sağlayarak listeye girmeye hak kazanan Efes, tarih öncesi dönemden başlayarak Helenistik, Roma, Doğu Roma,

Beylikler ve Osmanlı dönemleri boyunca yaklaşık 9000 yıl kesintisiz yerleşim görmüş ve tarihinin tüm aşamalarında çok önemli bir liman kenti ve kültürel ve ticari merkez olmuştur. Miras alanının VI. kriter açıklamasına göre, Hristiyanlığın modern canlanmasına kadar Kibele/Meter kültü ile başlayan geleneksel ve dini Anadolu kültürünün tarihi önemi ve arkeolojik kalıntıları, Hristiyan inancının Roma İmparatorluğu'na yayılmasında belirleyici bir rol oynayan Efes'te görülebilir ve izlenebilir. Ayasuluk Tepesi'ndeki St. John Bazilikası'nın ve Efes'teki Meryem Ana Kilisesi'nin kapsamlı kalıntıları, şehrin Hristiyanlık için öneminin kanıtıdır. Efes'te 431 ve 449'da Ekümenik Konsül'ün iki önemli toplantısı düzenlenmiş olup, daha önce Artemis ve Anadolu'da Kibele'ye eski saygılarının Hristiyanlık'taki bir yansıması olarak görülebilecek olan Meryem'e saygıyı başlatmıştır. Efes, aynı zamanda Ege'deki ikinci felsefe okulu ile önde gelen siyasi ve entelektüel merkezdi ve Efes, felsefe ve tıp üzerinde büyük bir etkiye sahipti (WHC, 2018).

### **Türkiye, Aphrodisias**

2017 yılında II, III, IV ve VI. kriteri sağlayarak listeye girmeye hak kazanan Aphrodisias, Geç Helenistik Dönem'den Roma ve Bizans dönemlerine kadar süren yoğun bir fikir ve değer alışverişini gözler önüne seren, büyük ölçüde mermerden inşa edilmiş yapıları ve bunlarla ilişkili kabartma ve yazıtları istisnai ölçüde iyi korunmuştur. Aphrodisias'ın zenginliği mermer ocaklarından ve heykeltıraşlarının ürettiği sanat eserlerinden gelmiştir. Bu özelliği sayesinde Roma İmparatorluğu'nun Asya Eyaleti'nde, dönemin mermer sanatı ve mimarisinin tüm yönleriyle araştırılıp anlaşılmasını sağlayan kentlerden biri olmuştur. MS 1.-5. yüzyıllar arasında, başta Roma olmak üzere, İmparatorluğun dört bir yanında imzalarını taşıyan eserleri bulunan heykeltıraşlar yetiştirmiştir. Şehir sokakları, tapınaklar, tiyatro, bir agora ve iki banyo kompleksi de dahil birkaç büyük sivil yapı etrafında düzenlenmiştir. Kente adını veren ve kent kimliğinin gelişiminde önemli rol oynayan Aphrodite kutsal alanının ve kentteki özgün Aphrodite kültürünün de Akdeniz Havzasında geniş bir alanı kültürel açıdan etkilediği bilinmektedir (WHC, 2018).

### **Türkiye, Mudurnu Tarihi Ahi Kenti**

2015 yılında II ve IV. kriter ile geçici listeye giren Mudurnu Tarihi Ahi Kenti, VI. kriteri sağladığını savunduğu dosyasını hazırlama sürecinde olduğu için ve somut ve somut olmayan kültürel miras birlikteliğinin önemli yansımalarını içerdiği için çalışma içinde kendine yer bulmuştur. Osmanlı ticaret ve zanaat mirası, hoşgörü ve adil paylaşım felsefesine dayanan Ahilik geleneği, Ahilik ile gelişen ticaret birikiminin yarattığı



zengin anıtsal ve sivil mimarisi, gerek Osmanlı Devletinin gerekse Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluş sürecine katkısı, bu peyzaj bütününe öne çıkan değerleridir. Bir Erken Osmanlı dini felsefesi olarak Ahilik Anadolu'ya özgü bir gelenektir ve Anadolu'da Türk egemenliğinin ve kültürünün gelişme sürecinde kilit rol oynamıştır. 14. yüzyıldan bu yana Mudurnu'nun sosyal ve fiziksel dokusunda yaşamakta olan Ahilik geleneğinin kentsel çevredeki yansımaları açıkça izlenebilmektedir. Ahiliğin sosyal dokudaki en belirgin yansımaları, tarihi çarşıda (Arasta) 700 yıldır devam etmekte olan Esnaf Duası (veya Bereket Duası) geleneği ve Mudurnu'nun köklü kent kültürüdür. Ahiliğin kentin fiziksel dokusundaki yansımaları ise, Mudurnu'nun önemli kervan yollarının kavşağında yer almasına ve Ahi esnafının örgütlenmesine dayalı ticari üretimin yarattığı birikim ile gerçekleşen yapılaşmada izlenmektedir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019).

## **Sonuç**

Kültürel mirasın zaman içinde farklı bakış açıları ile alındığı, hazırlanan sözleşmeler, deklarasyonlar ve tavsiye kararlarından anlaşılmaktadır. Somut kültürel mirasın yanısıra somut olmayan kültürel mirasın da korunması gerekliliği 1972 Dünya Miras Sözleşmesi'nde dile getirilmiş, tartışılmış ancak sözleşmeye dönüşmesi 2003 yılında gerçekleşebilmiştir. Süreç boyunca somut ve somut olmayan kültürel miras gerek içerikleriyle gerek terminolojisiyle tartışılmaya devam etmiştir. Bu çalışma kapsamında ele alınan Dünya Miras Alanları'nda özellikle somut ve somut olmayan değerleri birlikte ele alan VI. kriteri tek başına kullanan 12 alanda mirasın ortak bellek ve paylaşılan deneyim boyutunun öne çıkarıldığı görülmektedir. Bu alanları gelecek nesillere aktarılması gerekli miras yapan özellikleri, özgün fiziksel yaratımlar olmaları değil, yere özgü korunması gerekli değerleri temsil etmeleridir. Bu miras alanları toplumsal değerlerin bir ifadesi olarak önemli hafıza mekanlarıdır. Söz konusu miras alanlarının yapısal niteliği üstün evrensel değere sahip olmak için gerekli kriterleri tek başına karşılamamakta, yapılar (somut kültürel miras) somut olmayan kültürel boyutlarıyla bütüncül şekilde ele alındığında üstün evrensel değerine ulaşmaktadır. Bugün koruma alanında yapılan tarihi doku analizleri fiziksel analizlerin ötesine geçerek korunması gerekli kültür varlığını bağlamı içinde ele almalı ve bütüncül koruma bakış açısını geliştirmelidir. Bu yaklaşım her ölçekte doğru kurgulandığı takdirde koruma eylemi amacına ulaşmış ve tamamlanmış olacaktır.

## Kaynaklar

Akipek, S. (2001). "Dünya Kültürel Ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşmenin Değerlendirilmesi", Ankara Hukuk Fakültesi Dergisi, 50(4), 13-39.

Başlar, K. (2011). "Kırkıncı Yılında Dünya Mirası Sözleşmesi", Uluslararası Hukuk ve Politika Dergisi, 7(27), 25-52.

Gürçayır, S. (2011). "Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi Üzerine Eleştirel Bir Okuma", Milli Folklor Dergisi, 23(92), 5-12.

Kültür ve Turizm Bakanlığı Resmi Sitesi, 02.01.2019.  
[www.kulturvarliklari.gov.tr](http://www.kulturvarliklari.gov.tr).

Metin Basat, E. (2013). "Somut ve Somut Olmayan Kültürel Mirası Birlikte Koruyabilmek", Milli Folklor Dergisi, 25(100), 61-71.

Oğuz, Ö. (2013). "Terim Olarak Somut Olmayan Kültürel Miras", Milli Folklor Dergisi, 25(100), 5-13.

Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme, (1972).  
11.07.2018. <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf>.

Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme, (1972).  
11.07.2018. <http://www.unesco.org.tr/Pages/161/177>.

Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi, (2003).  
11.07.2018. <http://www.unesco.org.tr/Pages/181/177/>.

World Heritage List. 11.07.2018-07.10.2019.  
<http://whc.unesco.org/en/list>.

**SCIENCE AND MATHEMATICS SCIENCES / FEN VE**  
**MATEMATİK BİLİMLERİ**

**BIOCHEMISTRY / BİYOKİMYA**

# BAZI ÇEVRESEL PARAMETRELERİN BEŞ YABANI MAKROFUNGUS MİSELİNİN GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

**Fatih KALYONCU\* & Hilal KUTLUYER\*\***

*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi,  
fatihkalyoncu@hotmail.com*

*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi,  
hilal.kutluy@gmail.com*

**Özet:** Bu çalışmada, ülkemize ait biyolojik kaynaklar arasında yer alan bazı makrofungusların kültürel özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma materyali olarak üniversitemiz makrofungus misel koleksiyonunda yer alan beş farklı türe ait [*Agaricus bresadolanus* Bohus; *Armillaria mellea* P. Kumm.; *Fomes fomentarius* (L.) Fr.; *Inocybe catalaunica* Singer; *Postia stiptica* (Pers.) Jülich] miseller kullanılmıştır. Çalışmamız süresince miseller farklı sıcaklık, pH, karbon kaynağı, tuzluluk ve besiyeri miktarı gibi değişkenler karşısında gelişim düzeyleri açısından incelenmiştir. Misellerin türe göre değişimle birlikte; optimum sıcaklık olarak 20, 25 ve 30°C'de, asidite olarak 5.0; 5.5 ve 6.0 pH'da, karbon kaynağı olarak glikoz, früktoz, galaktoz ve sükroz içeren ortamda, tuzluluk olarak % 1 tuz konsantrasyonunda ve 20 ml besiyeri içeren Petri kaplarında en iyi gelişimleri gösterdikleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fiziyojji, Makrofungus, Misel, Türkiye

## Giriş

Doğadaki organik madde çevriminde ayrıştırıcı rolünü üstlenen fungusların günümüzde tanımlanmış yaklaşık yüz bin türü bulunmaktadır. Bilim insanları dünya üzerinde yaklaşık bir milyon fungus türü olduğuna inanmaktadırlar. Bu da göstermektedir ki daha pek çok fungal organizma keşfedilmeyi beklemektedir. En son literatür bilgisine göre fungus âlemi içinde *Chytridiomycota*, *Blastocladiomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Incertae sedis*, *Microspora*, *Zygomycota*, *Glomeromycota*, *Ascomycota* ve *Basidiomycota* olmak üzere dokuz phylum bulunmaktadır (Blackwell vd., 2006; Hibbett vd., 2007). Tanımlanmış yaklaşık yüz bin türün on bin kadarı ise makrofungus olarak kayıt altına alınmıştır.

Funguslar öncelikle organik artıkları besin zincirinin temelini oluşturan bitkilerin kullanabileceği basit yapılu bileşiklere dönüştürerek yerküre üzerinde yaşamın aksamadan sürmesini sağlarlar. Bunun yanı sıra pek çok gıda maddesinin (ekmek, peynir, vb.) elde edilmesinde de funguslar başrolü oynarlar. Ayrıca bazı endüstriyel enzimler, bitki büyüme hormonları, pek çok antibiyotik, organik asitler ve diğer sayısız ürün

fungusların yardımı ile üretilir ve bu ürünler insanın yaşam standardının artmasına katkıda bulunur (Sarıkürkçü vd., 2008).

Ancak yukarıda sayılan tüm bu faydalı özelliklerinin yanında fungusların her yıl üretilen binlerce ton tarım ürününü kullanılamayacak hale getirmeleri, bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda hastalık oluşturarak ölümlere yol açmaları, insan yaşam alanlarında çoğalarak astım ve alerjik reaksiyonlar yolu ile yaşam kalitesini düşürmeleri gibi özellikleri de bulunmaktadır (Rosa vd., 2005).

Bir organizmadan en iyi şekilde faydalanabilmek için öncelikle onun morfolojik olarak tanımlanması, yaşadığı ve yayılış gösterdiği yaşam alanlarının özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar tamamlandıktan sonra laboratuvar koşullarında fizyolojik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Doğal ortamında bulunan makrofungusun periyodik arazi çalışmaları ile toplanması, ekolojik özelliklerinin belirlenmesi ve herbaryum numunesinin oluşturulması çalışmaların ilk basamağını oluşturur. Doğadan alınan makrofungusun laboratuvar ortamında vakit geçirmeden doku veya spor örneklerinden misel formuna ulaşması çalışmaların ikinci önemli adımıdır. Diğer yandan makrofungusların besin analizi ve biyolojik açıdan aktif maddelerinin ekstraksiyonu gibi diğer çalışmalar da yapılmaktadır (Kalyoncu ve Oskay, 2008).

Bu çalışma ile ülkemizin özellikle Akdeniz bölgesinden toplanan yabani makrofungus örneklerinden elde edilen misel kültürlerinin bazı kültürel özellikleri belirlenmeye çalışılacaktır. Günümüze değin ülkemiz makromantarlarının kültürel özellikleri ile ilgili bu kadar kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Doğadan toplanan şapkalar ile yapılan çalışmaların yenilenme imkânlarının sınırlı olması da çalışmamıza ayrı bir özgünlük ve güvenilirlik katmaktadır. Araştırmamız sonucu elde edilecek verilerin bu türlerin kültüre alınma süreçlerinde, biyolojik mücadele amacı ile kullanımlarında, biyolojik aktivite amaçlı medikal ve klinik araştırmalarda kullanım imkânı bulacağı düşünülmektedir.

## **Yöntem**

Çalışmamızda materyal olarak üniversitemiz Biyoloji Bölümü'nde muhafaza edilen makrofungus misel koleksiyonunda yer alan beş farklı türe ait [*Agaricus bresadolanus* Bohus; *Armillaria mellea* P. Kumm.; *Fomes fomentarius* (L.) Fr.; *Inocybe catalaunica* Singer; *Postia stiptica* (Pers.) Jülich] miseller kullanılmıştır. Bu misellerin koleksiyon kodları ve toplandığı lokasyonlar hakkında bilgi Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Makrofungusların kod numaraları ve lokasyon bilgileri

	<b>Kod Numarası</b>	<b>Lokasyon Bilgisi</b>
<i>Agaricus bresadolanus</i> Bohus	MCC - 28	Mersin
<i>Armillaria mellea</i> P. Kumm	MCC - 20	Osmaniye
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr	MCC - 19	Hatay
<i>Inocybe catalaunica</i> Singer	MCC - 17	Hatay
<i>Postia stiptica</i> (Pers.) Jülich	MCC - 13	Osmaniye

Çalışma kapsamında öncelikle stok kültür olarak saklanan misel örnekleri aktive edilecektir. Bu amaçla misel kültürleri Potato Dekstroz Agar içeren Petri kaplarına aşılacak ve 27<sup>0</sup>C’de 7-10 gün süre ile inkübe edilecektir (Kalmış ve Kalyoncu, 2008). Aktivasyon işleminin ardından misel kültürleri çalışmanın diğer aşamalarında standardizasyonu sağlayabilmek için Minimal Agara aşılacak ve yine benzer koşullarda inkübasyona bırakılacaktır. Misellerin kültürel özelliklerinin belirlenmesinde sırasıyla; farklı sıcaklık (15, 20, 25, 30, 35<sup>0</sup>C), pH (4; 4.5; 5; 5.5; 6) karbon kaynağı kullanımı (glukoz, früktoz, laktoz, maltoz, galaktoz, sükröz, arabinoz, ksiloz), tuzluluk (% 1, 5, 10) ve besiyeri miktarı (10 ml, 15 ml, 20 ml) testleri uygulanacaktır (Kalmış ve Kalyoncu, 2008). Kültürel özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları katı kültürde yapılacaktır. Katı kültür denemelerinde gelişim koloni çapının mm cinsinden ölçülmesi ile belirlenecektir (Kalyoncu vd., 2010). Tüm bu denemeler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilecektir.

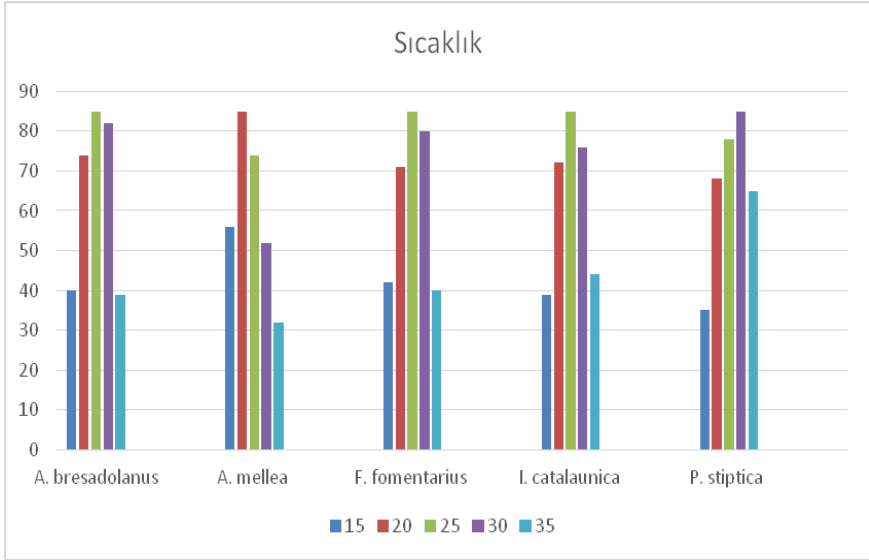
## **Bulgular**

### **Makrofungus Misellerinin Farklı Sıcaklık Değerlerinde Gelişimleri**

Çalışmamız kapsamında kullanılan beş farklı makrofungus suşuna ait misellerin katı besiyerinde, 14. günde, beş farklı sıcaklık değerinde (15, 20, 25, 30, 35<sup>0</sup>C) ölçülen koloni gelişim değerleri Tablo 2 ve Şekil 1.’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Misellerin farklı sıcaklık değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

	<b>15<sup>0</sup>C</b>	<b>20<sup>0</sup>C</b>	<b>25<sup>0</sup>C</b>	<b>30<sup>0</sup>C</b>	<b>35<sup>0</sup>C</b>
<i>A. bresadolanus</i>	40.0	74.0	<b>85.0</b>	82.0	39.0
<i>A. mellea</i>	56.0	<b>85.0</b>	74.0	52.0	32.0
<i>F. fomentarius</i>	42.0	71.0	<b>85.0</b>	80.0	40.0
<i>I. catalaunica</i>	39.0	72.0	<b>85.0</b>	76.0	44.0
<i>P. stiptica</i>	35.0	68.0	78.0	<b>85.0</b>	65.0



**Şekil 1.** Misellerin farklı sıcaklık değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

Farklı sıcaklık değerlerinde gelişim denemelerinde üç makrofungus (*A. bresadolanus*, *F. fomentarius*, *I. catalaunica*) 25°C’de, *A. mellea* 20°C’de ve *P. stiptica* ise 30°C’de en iyi koloni gelişim değerlerini göstermişlerdir.

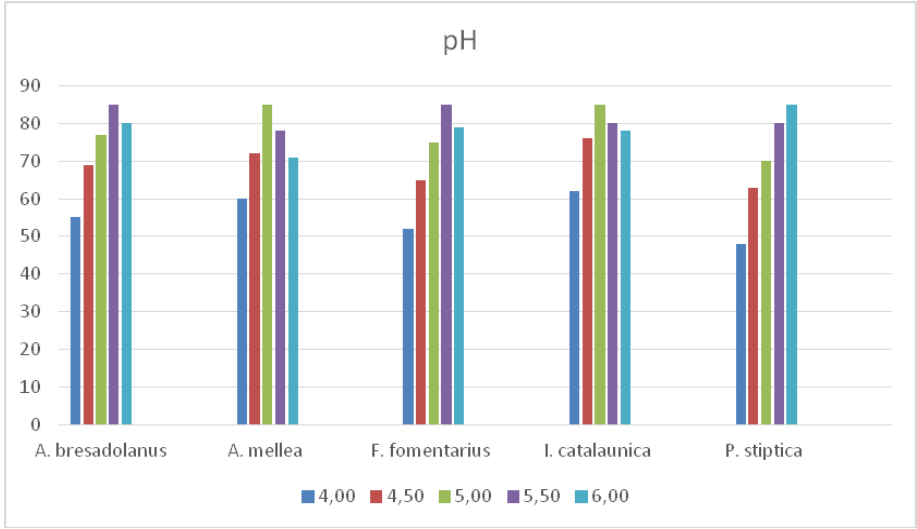
### **Makrofungus Misellerinin Farklı pH Değerlerinde Gelişimleri**

Çalışmamız kapsamında kullanılan beş farklı makrofungus suşuna ait misellerin katı besiyerinde, her biri için önceden belirlenen optimum sıcaklık değerinde, 14. günde, beş farklı pH değerinde (4.0; 4.5; 5.0; 5.5; 6.0) ölçülen koloni gelişim değerleri Tablo 3 ve Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Misellerin farklı pH değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

pH	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
<i>A. bresadolanus</i>	55.0	69.0	77.0	<b>85.0</b>	80.0
<i>A. mellea</i>	60.0	72.0	<b>85.0</b>	78.0	71.0
<i>F. fomentarius</i>	52.0	65.0	75.0	<b>85.0</b>	79.0
<i>I. catalaunica</i>	62.0	76.0	<b>85.0</b>	80.0	78.0
<i>P. stiptica</i>	48.0	63.0	70.0	80.0	<b>85.0</b>





**Şekil 2.** Misellerin farklı pH değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

Farklı pH denemelerinde *A. bresadolanus* ve *F. fomentarius* 5.5 pH'da; *A. mellea* ve *I. catalaunica* 5.0 pH'da ve *P. stiptica* ise 6.0 pH'da en iyi koloni gelişim değerlerini vermişlerdir.

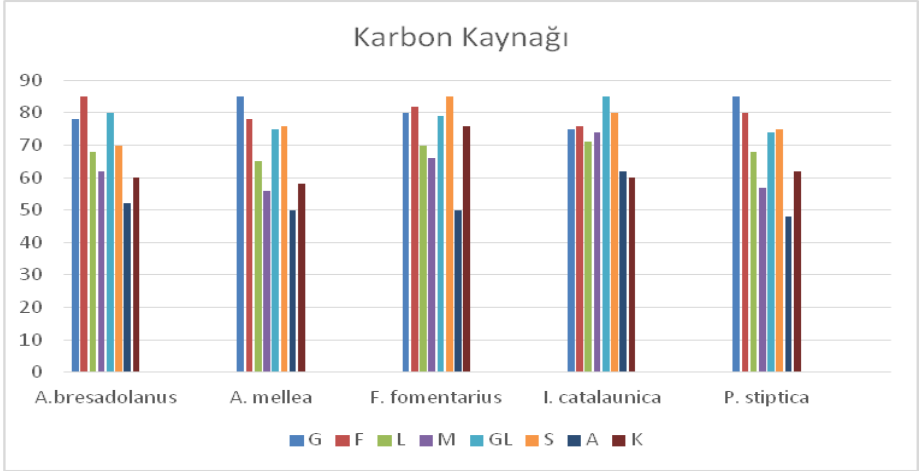
### Makrofungus Misellerinin Farklı C Kaynaklarında Gelişimleri

Çalışmamız kapsamında kullanılan beş farklı makrofungus suşuna ait misellerin her biri için önceden belirlenen optimum sıcaklık ve pH değerinde, 14. günde, sekiz farklı C kaynağını içeren katı besiyerinde (glikoz, früktoz, laktoz, maltoz, galaktoz, sükroz, arabinoz, ksiloz) ölçülen koloni gelişim değerleri Tablo 4'de ve Şekil 3'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Misellerin farklı C kaynaklarındaki gelişim düzeyleri (mm)

	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>GL</b>	<b>S</b>	<b>A</b>	<b>K</b>
<i>A. bresadolanus</i>	78.0	<b>85.0</b>	68.0	62.0	80.0	70.0	52.0	60.0
<i>A. mellea</i>	<b>85.0</b>	78.0	65.0	56.0	75.0	76.0	50.0	58.0
<i>F. fomentarius</i>	80.0	82.0	70.0	66.0	79.0	<b>85.0</b>	50.0	76.0
<i>I. catalaunica</i>	75.0	76.0	71.0	74.0	<b>85.0</b>	80.0	62.0	60.0
<i>P. stiptica</i>	<b>85.0</b>	80.0	68.0	57.0	74.0	75.0	48.0	62.0

G: glikoz; F: früktoz; L: laktoz; M: maltoz; GL: galaktoz; S: sükroz; A: arabinoz; K: ksiloz



**Şekil 3.** Misellerin farklı C kaynaklarındaki gelişim düzeyleri (mm)

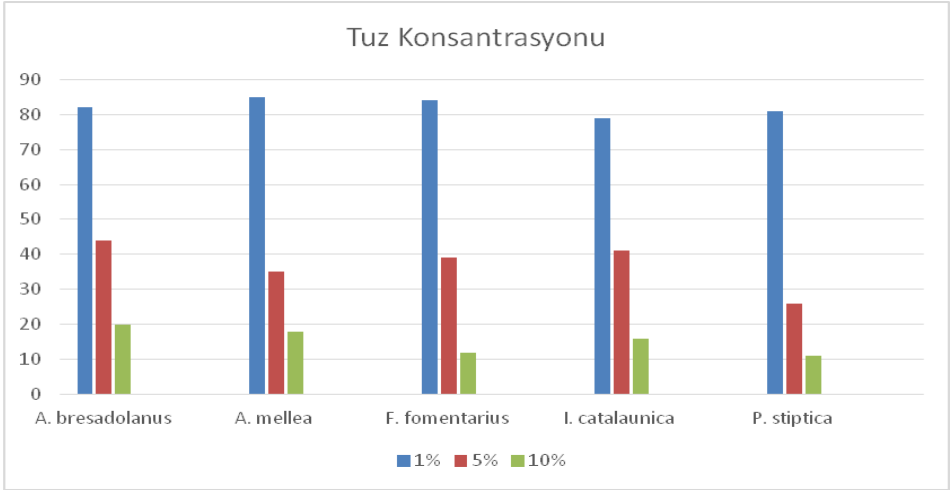
Farklı karbon kaynağı kullanımı denemelerinde *A. bresadolanus* früktoz içeren besiyerinde, *A. mellea* ve *P. stiptica* glikoz içeren besiyerinde, *F. fomentarius* sükroz içeren besiyerinde, *I. catalaunica* ise galaktoz içeren besiyerinde en iyi koloni gelişimi değerlerini göstermişlerdir.

### **Makrofungus Misellerinin Farklı Tuz Oranlarında Gelişimleri**

Çalışmamız kapsamında kullanılan beş farklı makrofungus suşuna ait misellerin her biri için önceden belirlenen optimum sıcaklık ve pH değerinde, 14. günde, üç farklı tuz konsantrasyonunu içeren katı besiyerinde (%1, %5, %10) ölçülen koloni gelişim değerleri Tablo 5’de ve Şekil 4’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Misellerin farklı tuz değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

	<b>%1</b>	<b>%5</b>	<b>%10</b>
<i>A. bresadolanus</i>	82.0	44.0	20.0
<i>A. mellea</i>	85.0	35.0	18.0
<i>F. fomentarius</i>	84.0	39.0	12.0
<i>I. catalaunica</i>	79.0	41.0	16.0
<i>P. stiptica</i>	81.0	26.0	11.0



**Şekil 4.** Misellerin farklı tuz değerlerindeki gelişim düzeyleri (mm)

Farklı tuz konsantrasyonlarındaki koloni gelişimi denemelerinde makrofunguslar % 1 tuz içeren besiyerinde petri kabını doldururken tuz konsantrasyonu arttıkça misel gelişimi belirgin şekilde azalmıştır.

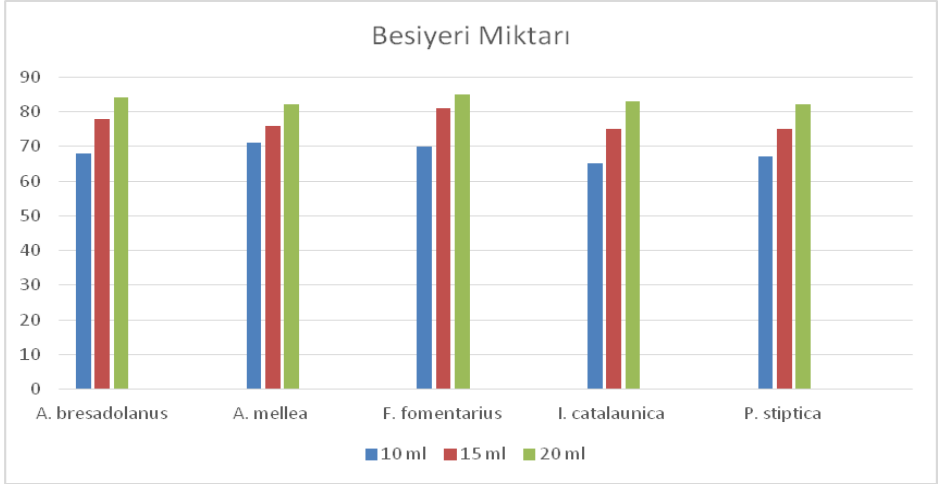
#### **Makrofungus Misellerinin Farklı Besiyeri Miktarlarında Gelişimleri**

Çalışmamız kapsamında kullanılan beş farklı makrofungus suşuna ait misellerin her biri için önceden belirlenen optimum sıcaklık ve pH değerinde, 14. günde, üç farklı besiyeri miktarını içeren Petri kaplarında (10 ml, 15 ml, 20 ml) ölçülen koloni gelişim değerleri Tablo 6'da ve Şekil 5'de verilmiştir.

Farklı besiyeri miktarı içeren Petri kaplarındaki koloni gelişimi denemelerinde makrofunguslar 20 ml besiyeri içeren Petri kabını doldururken besiyeri miktarı azaldıkça misel gelişimi de gerilemiştir.

**Tablo 6.** Misellerin farklı besiyeri miktarlarındaki gelişim düzeyleri(mm)

	10 ml	15 ml	20 ml
<i>A. bresadolanus</i>	68	78	84
<i>A. mellea</i>	71	76	82
<i>F. fomentarius</i>	70	81	85
<i>I. catalaunica</i>	65	75	83
<i>P. stiptica</i>	67	75	82



**Şekil 5.** Misellerin farklı besiyeri miktarlarındaki gelişim düzeyleri (mm)

## Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda kültür koleksiyonunda yer alan beş farklı makrofungus suşuna ait miseller kültürel ve ekolojik özellikleri açısından incelenmişlerdir. Çalışma katı besiyerinde gerçekleşen optimum sıcaklık, pH, tuzluluk, farklı karbon kaynağı kullanımı ve besiyeri miktarı testleri yanında yine katı besiyerinde gerçekleşen makrofungus – mikrofungus etkileşimi testleri olmak üzere iki ana kısımdan oluşmuştur. Misellerin türe göre değişmekle birlikte; optimum sıcaklık olarak 20, 25 ve 30°C’de, asidite olarak 5.0; 5.5 ve 6.0 pH’da, karbon kaynağı olarak glikoz, früktoz, galaktoz ve sükröz içeren ortamda, tuzluluk olarak % 1 tuz konsantrasyonunda ve 20 ml besiyeri içeren Petri kaplarında en iyi gelişimleri gösterdikleri belirlenmiştir.

Çalışmamızda kullanılan miseller türe göre değişmekle birlikte en iyi gelişimlerini 20, 25 ve 30°C’de göstermişlerdir. Farklı sıcaklık değerlerinde gelişim denemelerinde üç makrofungus (*A. bresadolanus*, *F. fomentarius*, *I. catalaunica*) 25°C’de, *A. mellea* 20°C’de ve *P. stiptica* ise 30°C’de en iyi koloni gelişim değerlerini göstermişlerdir. 20°C’nin altındaki ve 30°C’nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde misel gelişiminin yavaşladığı tespit edilmiştir.

Çalışmamızla benzer bir şekilde Ogawa (1978) Afrika ve güney Avrupa’dan toplanan *Tricholoma caligatum* örneklerinin misellerinin en iyi gelişim düzeyini 25°C’de gösterdiklerini ve 30°C ve üzerinde misel gelişiminin yavaşladığını ve hatta durduğunu rapor etmiştir. Bir fungusun büyümesi veya fungusa ait bir metabolitin oluşması optimum sıcaklık

değerine sahip birçok enzimler ile kontrol edilen işlemler arasındaki ilişkilerin bir sonucudur. Bu yüzden bir fungusun en iyi gelişme gösterdiği çevresel parametrelerin bilinmesi fungus yetiştiriciliğinde ve fungal ürün eldesinde hayati rol oynamaktadır.

Önceki bir başka çalışmada Winder (2006) *Morchella elata*'nın iki straininden JB4'ün en iyi gelişim gösterdiği sıcaklık değerinin 16°C, diğer strain DE4' ün ise 20°C olduğunu rapor etmiştir. Kim vd., (2002) bir askomiset olan *Paelomyces sinclairii* için optimum sıcaklık değerinin 25°C olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir. Bae vd., (2000) ise *Paecilomyces japonica* için en iyi misel gelişim sıcaklığının yine 25°C olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda kullanılan tüm karbon kaynaklarını içeren besiyerleri üzerinde misel gelişimleri gözlenmiştir. Ancak, fruktoz, glukoz ve sükroz diğer karbon kaynaklarına göre misel gelişimi üzerinde daha etkili olmuştur. Chou ve Grace (1988) ve Bending vd., (2002) çalışmalarında *Suillus luteus* ve *S. grevillei*'nin mannoz ve sellobioz kullanımları arasında dikkate değer farklılıklar olduğunu rapor etmişlerdir.

Çalışmamız kapsamında üzerinde optimum gelişim koşulları denemeleri yapılan makrofungus misellerinden *A. bresadolanus* ve *F. fomentarius* 5.5 pH'da; *A. mellea* ve *I. catalaunica* 5.0 pH'da ve *P. stiptica* ise 6.0 pH'da en iyi koloni gelişim değerlerini vermişlerdir. Bae vd., (2000) ise *Paecilomyces japonica* için optimum pH değerinin 5.0 olduğunu rapor etmişlerdir. Kim vd., (2002) ise *Paecilomyces sinclairii* için optimal pH'nin 6.0 olduğunu çalışmalarında tespit etmişlerdir.

Matsuda vd., (2006) çalışmalarında bazı ektomikorizal fungusların gelişimi üzerinde tuzluluğun etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada 100mM NaCl'nin *Pisolithus tinctorius*'us misel gelişimini diğer konsantrasyonlara göre belirgin bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir. Bu araştırmacılar ayrıca *Cenococcum geophilum* ve *Suillus luteus* makrofunguslarına ait misellerin gelişimlerinin tuz konsantrasyonunun artışı ile ters orantılı olarak yavaşladığını da rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise *Pleurotus tuberregium*'a ait misellerin en iyi gelişimlerini hiç tuz içermeyen ortamlarda gerçekleştirdikleri bildirilmiştir (Ayodele ve Ojogoro, 2007). Miselin geliştiği ortamdaki tuz konsantrasyonunun artması ile miselde gelişimin durması veya yavaşlamasına ozmotik veya iyonik etkilerin tek tek veya birlikte neden olabileceği önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Kamkar vd., 2004). Bu etkide miselin gelişimi için hayati rolü olan suyun tuz molekülleri tarafından tutulmasının önemli olduğu da ayrıca belirtilmiştir.

Çalışmamız ile üzerlerinde benzer bir çalışma yapılmamış olan ülkemize ait beş makrofungusun optimum gelişim koşulları belirlenmeye

çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen verilerin ileride yapılacak araştırmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

## **Kaynaklar**

- Ayodele, S.M., Ojogoro, O.J. (2007). Salt stress effects on the vegetative growth of *Pleurotus tuberregium* (FR) Sing. *J. Biol. Sci.*, 7 (7), 1278–1281.
- Bae JT, Sinha J, Park JP, Song CH, Yun JW. (2000). Optimization of submerged culture conditions for exo-biopolymer production by *Paecilomyces japonica*. *J Microbiol Biotechnol.* 10 (4), 482–487.
- Bending GD, Poole EJ, Whipps JM, Read DJ. (2002). Characterisation of bacteria from *Pinus sylvestris* – *Suillus luteus* mycorrhizas and their effects on root-fungus interactions and plant growth. *FEMS Microbiol Ecol.* 39, 219–227.
- Blackwell, M., Hibbett, D.S., Taylor, J.W., Spatafora, J.W. (2006). Research coordination Networks: a phylogeny for kingdom Fungi (deep hypha), *Mycologia*, 98 (6), 829–837.
- Chu-Chou M, Grace LJ. (1988). Mycorrhizal fungi of radiata pine in different forests of the north and south islands in New Zealand. *Soil Biol Biochem.* 20 (6), 883-886.
- Hibbett, D.S., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi, *Mycological Research*, 111, 509–547.
- Kalmış, E., Kalyoncu, F. (2008). The effects of some environmental parameters on mycelial growth of two ectomycorrhizal fungi, *Tricholoma caligatum* and *Morchella angusticeps*, *Mycologia Balcanica*, 5, 115–118.
- Kalyoncu, F., Oskay, M. (2008). Antimicrobial activities of four wild mushroom species collected from Turkey. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products.* 31–35, Bonn, Germany.
- Kalyoncu, F., Oskay, M., Sağlam, H., Erdoğan, T.F., Tamer, A.Ü. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of mycelia of 10 wild mushroom species. *Journal of Medicinal Food.* 13(2), 415 – 419.
- Kamkar B, Kafi M, Makahati MN. (2004). Determination of the most sensitive developmental period of wheat (*Triticum aestivum*) to salt stress to optimise saline water utilization. *Proceeding of the 4th International Crop Science*, Brisbane, Australia.

- Kim SW, Hwang HJ, Xu CP, Na YS, Song SK, Yun JW. (2002). Influence of nutritional conditions on the mycelial growth and exopolysaccharide production in *Paecilomyces sinclairii*. *Lett Appl Microbiol.* 34, 389–393.
- Matsuda, Y., Sugiyama, F., Nakanishi, K., Ito, S. (2006). Effects of sodium chloride on growth of ectomycorrhizal fungal isolates in culture. *Mycoscience*, 47, 212–217.
- Ogawa M. (1978). *The biology of matsutake*. Tsukijishokan, Tokyo.
- Rosa, L.H., Cota, B.B., Machado, K.M.G., Rosa, A.C., Zani, C.L. (2005). Antifungal and other biological activities from *Oudemansiella canarii* (Basidiomycota), *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21, 983-987.
- Sarıkürkçü, C., Tepe, B., Yamaç, M. (2008). Evaluation of the antioxidant activity of four edible mushrooms from the Central Anatolia, Eskisehir – Turkey: *Lactarius deterrimus*, *Suillus collitinus*, *Boletus edulis*, *Xerocomus chrysenteron*, *Bioresource Technology*, 99 (14), 6651–6655.
- Winder RS. (2006). Cultural studies of *Morchella elata*. *Mycol Res.* 110, 612–623.

# YABANI MAKROFUNGUS TÜRLERİNE AİT MİSELLERİN ENZİM ÜRETİM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

**Fatih KALYONCU\* & Gökçe Canan ALTAYLI\*\***

*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Ed. Fakültesi, Biyoloji Bölümü,  
fatihkalyoncu@hotmail.com*

*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Ed. Fakültesi, Biyoloji Bölümü,  
gkccananaltayli@hotmail.com*

**Özet:** Araştırma Akdeniz Bölgesi'nden toplanan 14 yabancı makrofungusun (*Fomes fomentarius*, *Postia stiptica*, *Stropharia inuncta*, *Pleurotus ostreatus*, *Inocybe leiocephala*, *Meripilus giganteus*, *Tricholoma caligatum*, *Ganoderma lucidum*, *Stropharia inuncta*, *Armillaria mellea*, *Paxillus involutus*, *Russula fellea*, *Pleurotus eryngii*, *Inocybe flocculosa* var. *crocifolia*) misellerinin amilaz ve proteaz üretim potansiyellerini belirlemeyi amaçlamıştır. Makrofungus miselleri enzim üretim yetenekleri açısından katı ortamda yapılan tarama testi ve sıvı ortamda yapılan miktar belirlenme testine tabi tutulmuşlardır. Tarama testinde amilaz için üç, proteaz için sekiz strain pozitif olarak değerlendirilmiştir. Sıvı ortam testlerinde *Armillaria mellea* 22.50 U/ml amilaz, *Meripilus giganteus* 37.69 U/ml proteaz üretim değerlerini vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye, Enzim, Proteaz, Amilaz, Makrofungus,

## Giriş

Mikroorganizmalar günümüzde birçok endüstri için üretim kaynağı olarak değerlendirilmekte ve üzerlerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Funguslar bu alanda önemli bir canlı grubu olarak dikkat çekmektedir (Karaca ve Güven, 2004). Funguslar heterotrofik, saprofit, parazit veya patojen olarak yaşayan canlılardır. Organik maddenin yıkımı ve geri dönüşümünden sorumlu olan fungusların ürettikleri enzimler, organik asitler, antibiyotikler pek çok alanda kullanılırken, canlılarda enfeksiyon oluşturmaları, gıda bozulması yapmaları ve toksin oluşturmaları istenmeyen özellikleridir.

Enzim terimi 1878'de biyolojik reaksiyonları hızlandıran ve "hücrede bulunan" anlamında kullanılmıştır. Enzimler tıp, eczacılık, ziraat gibi alanlarda araştırılmaktadır (Balkan, 2008). Bir enzimden bir alanda yararlanılması genellikle ekonomik kriterler ile alakalıdır. Enzimler canlılardan elde edilirler ve izolasyon, saflaştırma gibi işlemlerden dolayı pahalı materyallerdir. Enzimin yaygın kullanılması için mikrobiyal kaynaklardan üretilmesi ve tasarlanan işlemler için yeterli saflıkta olması gereklidir. Endüstriyel enzim pazarının 1.4 milyar Amerikan Doları seviyesinde olması ve yıllık %5'lik talep yükselmesi sonucu enzimler



yaygın tüketim ürünlerinden birisi olmuştur. Endüstriyel enzim üretiminin yaklaşık  $\frac{3}{4}$ 'ü yiyecek, temizlik ve nişasta bazlı şeker üretimi gibi alanlarda (Cowan, 1996).

Bu araştırmada Akdeniz Bölgesi'nden toplanan yabani makrofunguslardan üretilen misel kültürlerinin amilaz ve proteaz üretim potansiyelleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmamızın önceden yapılmış olanlardan ayrılan yönü ülkemize özgü yabani makrofungusların kullanılmış olmasıdır. Bu organizmaların daha önce benzeri bir araştırmada kullanılmamış olması çalışmamıza özgünlük ve enzim üretim potansiyeli olan kültürlerin belirlenmesi durumunda da ekonomik açıdan bir üstünlük kazandıracaktır.

## Yöntem

Çalışmamızda kültür koleksiyonumuzda saklanan 14 makrofungus straininin miselleri enzim üretim potansiyelleri açısından incelenmiştir. Kullanılan strainlere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Makrofungus Strainlerine Ait Bilgiler

Sayı	Strain	Koleksiyon No
1	<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.	MCC-19
2	<i>Russula fellea</i> (Fr.) Fr.	MCC-43
3	<i>Inocybe leiocephala</i> D.E. Stuntz	MCC-17
4	<i>Meripilus giganteus</i> (Pers.) P. Karst.	MCC-08
5	<i>Pleurotus eryngii</i> (DC.) Quel	MCC-50
6	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm	MCC-41
7	<i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.	MCC-52
8	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl.) P. Kumm.	MCC-20
9	<i>Stropharia inuncta</i> (Fr.) Quel.	MCC-59
10	<i>Inocybe flocculosa</i> var. <i>crocifolia</i> (Herink)	MCC-35
11	<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	MCC-52
12	<i>Postia stiptica</i> (Pers.) Jülich	MCC-13
13	<i>Stropharia inuncta</i> (Fr.) Quel.	MCC-14
14	<i>Tricholoma caligatum</i> (Viv.) Ricken	MCC-11

Bu fungusların enzim üretim kabiliyetleri iki enzim için (amilaz ve proteaz) belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada ilk olarak uzun süredir +4°C'de saklanan miseller aktive edilmiştir. Aktivasyon işleminden sonra tüm kültürler çalışılan enzimler açısından tarama testine alınmışlardır. Tarama testleri katı besiyerinde gerçekleştirilmiştir. Katı ve sıvı besiyerlerine aşılama; Kirk's bazal ortamında üretilmiş misellerden aseptik koşullarda çıkarılan 6 mm çapında diskler kullanılmıştır (Kalyoncu vd., 2010). Tüm tarama testleri üç paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

### **Amilaz Denemeleri**

Aktive edilen organizmalar % 0.5 pepton, % 0.3 yeast ekstrakt, % 1.0 çözümlü nişasta, % 0.3 NaCl, % 0.1 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, % 0.02 MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O ve % 1.5 agar içeren katı ortama aşılanmıştır. Aşılanan Petrilere 27°C'de 7 gün inkübe edilmiştir. İnkübasyon bitiminde fungusların geliştiği Petrilere 0.1 N Lugol aktarılmıştır. Amilaz üreten funguslar ortamdaki nişastayı parçalayarak koloni çevresinde boyanmayan şeffaf zonlar oluşturmuştur. Nişasta bulunan bölgeler ise koyu mavi – siyah olarak görünmüştür. Şeffaf zon oluşturan funguslar amilaz pozitif olarak sıvı kültür denemeleri için ayrılmıştır (Silambarasan ve Abraham, 2013).

Çalışmamızda amilaz için; öncelikle kolorimetrik ölçüm için kullanılacak nitrofenol standartları hazırlanmıştır. Bu işlemde 2mM nitrofenol standardı sırasıyla 0, 2, 4, 6, 8 ve 10 µl olacak şekilde 96 kuyucuklu plakaya eklenmiştir ve üzerlerine (50 µl)'a tamamlayacak şekilde steril saf su konularak 0 (kör), 4, 8, 12, 16 ve 20 nmol standartlar elde edilmiştir. Daha sonra plakaya süpernatant aktarılmış ve kuyucukları 50 µl'ye tamamlamak için amilaz analiz tamponu kullanılmıştır. 5 µl amilaz pozitif kontrol solüsyonu da bir kuyucuğa aktarılarak üzerine tampon ilave edilmiştir. Amilaz analiz tamponu ve amilaz substrat karışımını aynı miktarda ihtiva eden temel reaksiyon karışımı hazırlanmıştır. Plakadaki her kuyucuğa 100 µl bu karışımdan konularak çalkalayıcıda karıştırılmıştır. 3 dakika süren bu işlem sonrasında 405 nm'de karışımın absorbans değeri ölçülmüştür. Başlangıç değeri olarak bu değer kullanılmıştır. Plaka 25°C'de ve karanlıkta inkübe edilmiş ve absorbans ölçümü her 5 dakikada bir 405 nm'de yapılmıştır. En aktif örneğin absorbans değerinin 20 nmol'lük standardın ölçüm değerini aştığı ana kadar ölçüme devam edilmiştir. Final değeri olarak en son ölçülen absorbans değeri alınmıştır. Amilaz aktivite miktarları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Cui vd., 2007).

B x Örnek dilüsyon faktörü

Amilaz aktivitesi : ----- = U/ml

Reaksiyon süresi x V

V: kuyucuğa eklenen örnek miktarı (µl)

Reaksiyon süresi: Final ve başlangıç absorbans değerleri arasındaki süre (dakika)

B: Başlangıç ve final absorbans değerleri arasındaki (nmol) nitrofenol farkı

Bir ünite amilaz; 7.2 pH ve 25<sup>0</sup>C’de, 1 dakika sürede ethylidene-pNP-G7 den 1.0 µmol nitrofenol oluşturan amilaz miktarı olarak hesaplanmıştır.

### **Proteaz Denemeleri**

Proteaz aktivitesi için tarama testleri bileşiminde (litrede) 0.2 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.12 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.1 g MgCl<sub>2</sub>, 0.12 g CaCl<sub>2</sub>, 0.12 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0.36 g glikoz, 15 g agar ve 10 g kazein içeren bazal ortamda yapılmıştır. Bu besiyerine inoküle edilen miseller inkübasyon süresi sonunda incelenmiştir. Koloni etrafında açık zon görülmesi ile kültür proteaz açısından pozitif olarak değerlendirilmiştir. Bu miseller sıvı ortam denemeleri için işaretlenmiştir (Gole vd., 2001).

Tarama testlerinde enzim ürettiği saptanan tüm kültürler sıvı ortamda enzim miktar belirlenmesi testlerine alınmıştır. Sıvı ortam denemeleri 500 ml’lik erlenlerde 200 ml besiyeri ile yapılmıştır. Tarama testi sıcaklığında ve dönüş hızı 150 rpm’e ayarlı orbital-horizontal çalkalayıcı üzerinde inkübasyon yapılmıştır. Denemeler boyunca aseptik koşullarda alınan örnekler ile 24 saatlik periyotlarda enzim miktar tayinleri yapılmıştır. Alınan besiyeri örneğinin santrifüjlenmesi sonucu oluşan süpernatant enzim kaynağı olarak kullanılmıştır (Kathiresan ve Maniyannan, 2006).

Süpernatandaki enzim miktar ölçümü spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tripsin kullanılarak hazırlanan standartların proteaz aktivitesi hesaplanmıştır. Tripsin, analiz tamponu içinde 50 mg/ml olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu solüsyondan 0.5 mg/ml’den başlayarak farklı dilüsyonlar yine analiz tamponu içinde hazırlanıp tripsin standartları elde edilmiştir. Bu standartlar 450 nm de ölçülerek standart grafiği elde edilmiştir. Daha sonra, 100 µl süksinlenmiş kazein solüsyonu kuyucuklara eklenmiştir. Analiz tamponu da 100 µl olarak kuyucuklara aktarılmıştır. 50 µl süpernatant örneği hem kazein solüsyonu üzerine hem de analiz tamponu üzerine aktarılmıştır. Plakalar 20 dakika boyunca oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Daha sonra her bir kuyucuğa 50 µl TNBSA çalışma solüsyonu eklenmiştir. 20 dakika daha oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kuyucuklardaki örneklerin absorbans değerleri 450 nm de ölçülmüştür. Kazein içeren ve içermeyen kuyucuklarda ki ölçüm değerleri tripsin standardı ile hazırlanan ölçüm değerleri ile karşılaştırılarak örneklerin proteaz aktivite değerleri hesaplanmıştır (Pandey vd., 2000).

## Bulgular

Çalışmamız kapsamında kullanılan 14 adet makrofungus strainine ait misellerden üç tanesi katı besiyerinde amilaz enzimi için pozitif olarak belirlenmiştir. Bu üç makrofungus straininin isimleri ve katı besiyerinde oluşturdukları zon çapları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Amilaz Aktivitesi Gösteren Strainler ve Zon Çapları

Strain	Zon Çapı (mm)
<i>Armillaria mellea</i>	25.0
<i>Russula fellea</i>	20.0
<i>Postia stiptica</i>	3.0

Amilaz enzimi için yapılan katı ortam testlerinde *Armillaria mellea* 25 mm ile en yüksek zon çapını göstermiştir. Bu fungusu 20 mm zon çapı ile *Russula fellea* takip etmiştir (Tablo 2).

## Makrofungusların Katı Ortamda Proteaz Aktivitesi Açısından Değerlendirilmesi

Araştırma kapsamında kullanılan 14 adet makrofungus strainine ait misellerden sekiz tanesi katı ortamda proteaz için pozitif olarak belirlenmiştir. Bu sekiz makrofungusun adları ve oluşturdukları zon çapları Tablo 3’de verilmiştir.

*Meripilus giganteus* 25 mm ile proteaz için yapılan tarama testlerinde maksimum zon çapını vermiştir. *Paxillus involutus* 24 mm zon çapı ile ikinci ve 18 mm zon çapı ile *Armillaria mellea* üçüncü sırada yer almıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Proteaz Enzim Aktivitesi Gösteren Türler ve Zon Çapları Gösterimi

TÜR ADI	ZON ÇAPI (mm)
<i>Meripilus giganteus</i>	25.0
<i>Paxillus involutus</i>	24.0
<i>Armillaria mellea</i>	18.0
<i>Pleurotus eryngii</i>	15.0
<i>Stropharia inuncta</i>	10.0
<i>Pleurotus ostreatus</i>	10.0
<i>Inocybe leicocephala</i>	10.0
<i>Postia stiptica</i>	3.0

## Makrofungusların Sıvı Ortamda Amilaz Aktivitesi Ölçümü

Sıvı ortamda gerçekleştirilen ve üretilen amilaz miktarının saptanmasına yönelik testlerin 6. gününde elde edilen değerler ise Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Makrofungus Misellerinin Amilaz Enzimi Üretim Değerleri

<b>Makrofungus Türü</b>	<b>Amilaz Miktarı (U/ml)</b>
<i>Armillaria mellea</i>	<b>22.50</b>
<i>Postia stiptica</i>	11.69
<i>Russula fellea</i>	9.58

Bu sonuçlara göre; tarama testlerinde maksimum zon çapını veren *Armillaria mellea* sıvı ortamda da 22.50 U/ml ile maksimum üretim değerine sahip olarak saptanmıştır. *Postia stiptica* 11.69 U/ml ile ikinci ve *Russula fellea* 9.58 U/ml ile üçüncü sırada yer almışlardır (Tablo 4). Bu iki makrofungusun enzim üretim değerleri tarama testleri ile benzerlik göstermemiştir. Bu da tarama testlerinin tek başına enzim üreten organizma belirlenmesi için yeterli olmadığı ve sıvı ortam denemelerinin tamamlayıcı testler olarak yapılması gerektiğini göstermiştir.

## Makrofungusların Sıvı Ortamda Proteaz Aktivitesi Ölçümü

Proteaz enzim miktarının belirlenmesine yönelik olarak sıvı ortamda yapılan testlerin 6. gününde belirlenen değerler Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Strainlerin Proteaz Üretim Değerleri

<b>Strain</b>	<b>Proteaz Miktarı (U/ml)</b>
<i>Meripilus giganteus</i>	<b>37.69</b>
<i>Paxillus involutus</i>	29.30
<i>Pleurotus eryngii</i>	18.70
<i>Pleurotus ostreatus</i>	16.50
<i>Armillaria mellea</i>	12.45
<i>Stropharia inuncta</i>	11.53
<i>Inocybe leicocephala</i>	9.91
<i>Postia stiptica</i>	7.13

Bu değerlere göre; tarama testlerinde maksimum zon çapı veren *Meripilus giganteus* sıvı ortam denemelerinde de 37.69 U/ml ile maksimum enzim

üretim değerine sahip olarak saptanmıştır. *Paxillus involutus* ise 29.30 U/ml ile ikinci sırada yer almıştır (Tablo 5).

## Sonuç ve Öneriler

Araştırmamızda 14 farklı makrofungus strainine ait miseller amilaz ve proteaz enzimlerinin üretimi açısından değerlendirilmiştir. Çalışma katı ortamda yapılan enzim tarama testi ve sıvı ortamda yapılan enzim miktarı belirlenmesi testi olarak iki kısımdan oluşmuştur. Katı ortam testlerinde amilaz için üç, proteaz için sekiz fungus pozitif olarak belirlenmiştir. Sıvı ortam testlerinde amilaz için *Armillaria mellea*, proteaz için ise *Meripilus giganteus* en yüksek üretim değerlerini vermişlerdir.

Jonathan ve Richard (2011) çalışmalarında on farklı makrofungus strainini iki enzim açısından incelemişlerdir. Bu çalışmada amilaz açısından en iyi üreticinin *Agaricus sp.* straini olduğu ortaya çıkarılmıştır. *Agaricus sp.*'nin farklı C, sıcaklık ve pH isteklerine göre yaptıkları denemelerde 25°C sıcaklık, 5.8 pH ve glikozlu ortamda maksimum misel gelişimi olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmamızda ise amilaz enzimi için yüksek aktivite gösteren *Armillaria mellea*'nın 25°C sıcaklık, 5.5 pH ve sükrözlu ortamda maksimum misel gelişimi olduğu anlaşılmıştır.

Krupodorova vd., (2014) araştırmalarında 30 makrofungus straininin beş farklı enzim açısından üretim değerlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada incelenen tüm makrofungusların amilaz ürettiği, ancak sadece altı makrofungusun proteaz için pozitif olarak değerlendirildiği belirtilmiştir. Bu araştırma ile çalışmamız altı makrofungus türü açısından benzerlik göstermektedir. Benzerlik gösteren türler *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum*, *P. eryngii*, *P. djamor*, ve *Fomes fomentarius*'tur. Her iki çalışmada da *L. edodes* proteaz ve amilaz üreticisi olarak belirlenmiştir.

Balaes vd., (2017) yayınladıkları raporda ligninaz üreticisi strainleri değerlendirmişlerdir. Bu yayında fungal enzimlere ilişkin 101 çalışmayı inceleyen araştırmacılar bizim de enzim üreticisi olarak belirlediğimiz *Lentinula edodes*, *Meripilus giganteus*, *Armillaria mellea*, *Pleurotus ostreatus*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma lucidum* ve *Postia stiptica*'nın farklı enzimleri üretebilen makrofunguslar olarak saptandığını belirtmişlerdir.

Funguslar ekolojik rollerinden dolayı farklı enzimleri üretme yeteneği gösterirler. İnsan hayatını kolaylaştırıcı olmaları sebebi ile enzimlere olan talep ve dolayısı ile de maliyet giderek artmaktadır. Farklı endüstriyel alanlarda kullanılan enzimlere ulaşmada dışa bağımlılığı azaltabilmek için yerel kaynaklar kullanıma alınmalıdır. Ülkemize ait gen kaynaklarının bu amaçla araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu araştırma ile ülkemiz

makrofunguslarına ait misellerin sık kullanılan iki enzim açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan denemeler sonucunda enzimler açısından yüksek kapasitesi olan sahip funguslar belirlenmiştir. Çalışmamızda ülkemiz kaynaklarının kullanılmalrı ve korunmaları amacıyla yapılacak başka araştırmalara zemin hazırlamak da hedeflenmiştir. Bu amaç için alınan sonuçların gelecekteki çalışmalara yol göstereceği düşünölmektedir.

## Kaynaklar

- Balaes, T., Petre, C.V., Ungureanu,C., Mardarı, C., Tanase, C. (2017). Ligninolytic enzyme system in ecological adaptation of lignicolous macrofungi. Applied Ecology and Enviromental Research. 15(1), 207-224.
- Balkan, B. (2008). Katı substrat fermentasyonu ile ham nişastayı parçalayan yeni bir fungal amilaz üretimi, saflaştırılması ve biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji ABD, Doktora Tezi, Edirne.
- Cowan, D. (1996).Industrial enzyme technology. Trends in Biotechnology. 14(6), 177 – 178.
- Cui, L., Liu, Q.H., Wang, H.X., Ng, T.B. (2007). An alkaline protease from fresh fruiting bodies of the edible mushroom *Pleurotus citrinopileatus*. Applied Microbiology and Biotechnology. 75(1), 81 – 85.
- Gole, A., Dash, C., Soman, C., Sainkar, S.R., Rao, M., Sastry, M. (2001). On the preparation, characterization and enzymatic activity of fungal protease. Bioconjugate Chemistry. 12(5), 684 – 690.
- Jonathan Adeoyo, S., Richard, O. (2011). Effect of environmental and nutritional factors on mycelial biomass yield of ten wild Nigerian mushrooms during cellulase and amylase production. Ejeafche. 10(9), 2891-2899.
- Kalyoncu, F., Oskay, M., Sağlam, H., Erdoğan, T.F., Tamer, A.Ü. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of mycelia of 10 wild mushroom species. Journal of Medicinal Food. 13(2), 415 – 419.
- Karaca, O.B., Güven, M. (2004). Mikrobiyolojik kaynaklı proteolitik ve lipolitik enzim kullanımının beyaz peynirlerin özellikleri ve olgunlaşma hızları üzerine etkileri. Gıda Dergisi. 29 (3), 239–248.
- Kathiresan, K., Manivannan, S. (2006).  $\alpha$ -amylase production by *Penicillium fellutanum* isolated from mangrove rhizosphere soil. African Journal of Biotechnology. 5(10), 829 – 832.

- Krupodorova, T., Ivanova, T., Barshteyn, V. (2014). Screening of extracellular enzymatic activity of macrofungi. Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine. 3(4), 315-318.
- Pandey, A., Nigam, P., Soccol, C.R., Soccol, V.T., Singh, D., Mohan, R. (2000). Advances in microbial amylases. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 135 – 152.
- Silambarasan, S., Abraham, J. (2013). Comparative analysis on immobilized cells of *Aspergillus oryzae* and *Bacillus cereus* in production of amylase by solid state and submerged fermentation. *European Journal of Experimental Biology*. 3(3), 178 – 183.



# SU EKOSİSTEMİNDE AZALAN SU SEVİYESİNE BAĞLI OLARAK BAĞLI KURBAĞA VE BALIK TÜRLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER

**Hilal ÇAVUŞ\* & Müge GİDİŞ\*\***

*\*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Anabilim Dalı, hilal.cavus@ogr.dpu.edu.tr*

*\*\*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya Bölümü, müge.gidis@dpu.edu.tr*

**Özet:** Sucul ekosistemde yaşayan canlılar, ekolojik dengeyi sağlamaktadır. Sulardaki kirlilik, iklim değişikliği, su seviyesinin azalması, su ekosistemindeki bazı parametrelerdeki değişiklikler suya bağımlı yaşayan türler için yaşamsal tehdit oluşturarak türlerin yok olmasına sebep olmaktadır. Kurbağaların (amfibilerin) derileri yaşadıkları habitattaki maddelere karşı oldukça geçirgen olup meydana gelen değişikliklere oldukça hassastırlar ve bundan dolayı buldukları ortamın indikatörleri olarak rol oynarlar. Göl suyunun azalması durumunda bazı amfibi türlerinde görülen su kaybı, metabolik değişiklikler meydana getirmekte, balık türlerinde ise ölüme sebebiyet vermektedir. Göl ekosistemindeki bazı dalgalanmaların yaşanmasından dolayı yaşayan balık türleri giderek yok olmaktadır. Yaşam alanlarının kısıtlanması ile zamanla suya bağlı yaşayan türlerin de yok olmasına neden olacaktır. Bugüne kadar sucul yaşam alanlarındaki suyun azalması ve azalmasına neden olan etmenler ile sonucunda ortaya çıkan veriler bu çalışmada incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Azalan su seviyesi, Amfibiler, Balıklar

## Giriş

Küresel iklim değişikliği ve su sıcaklığının artmasıyla buharlaşma başlar ve göller gibi su ekosistemlerinde su kaybı meydana gelmektedir. Su kaybı oranları arttıkça dehidrasyon meydana gelir ki bu da bazı canlıların metabolizmalarında olumsuz bir etki oluşturmaktadır (McClanahan, 1967; Hillman, 1987). Dünyada ve ülkemizde sayısız tatlı su balıkları, amfibiler ve diğer suya bağlı türlerin yaşamları tehdit altındadır.

Su habitatların korunması ekolojik denge için çok önemlidir. Günümüzde göller, artan kirlilik, tarım alanlarını yanlış kullanımı nedeniyle suların kurumaya başlaması, taban suyunun çekilmesi ile göller, akarsular ve bataklıklar doğal sınırlarını kaybetmiştir (Aksungur, 2008).

Sucul ekosistemler, biyolojik çeşitliliğin en zengin bölümünü oluştururlar. Bir ülkenin sahip olduğu biyolojik çeşitlilik, o ülkenin biyolojik zenginliğini ortaya koyması bakımından önem taşır. Doğal kaynaklar

içerisinde yer alan biyolojik zenginlikler ise, ülke ekonomisine yön veren önemli unsurlardandır (Kışlalıoğlu ve Berkes, 1987). Sulak araziler dünya üzerinde önemli ekosistemlerdir. Karbonifer devri dönemindeki bataklıklar göz önüne alınacak olunursa, bu sulak arazilerin şu an içinde bulunduğumuz yüzyılda kullandığımız petrol, kömür gibi fosil kaynaklı yakacakların temelini oluşturduğunu görmekteyiz (Mitsch ve ark, 2000). Göl, nehir, deniz ve okyanuslar insanlar tarafından uzun süre görmezden gelinerek sınırsız kapasitedeki atık bölgeleri olarak görülmüş ve bunun sonucu olarak da sahil ve iç kesimlerde su ortamlarının kirliliği hızla artmıştır (Taylan ve Özkoç, 2007). Kirleticilere ek olarak su alanlarının azalması canlıları direk ya da dolaylı bir şekilde etkilemektedir.

Amphibiler yaşamlarının bir bölümünü suda bir bölümünü karada geçirdikleri için, sudaki kirletici maddeler, ağır metaller ve yaşam alanlarındaki su miktarının azalması bu canlıları doğrudan ya da direkt etkilemektedir. Balıklar ise tüm yaşamlarını suya bağımlı geçirdikleri için yaşam alanlarının azalmasından direk olarak etkilenmektedirler. Bu çalışmada, dünya üzerindeki sulara, su seviyesinin azalmasına bağlı olarak amfibi ve balık türlerinde oluşan bazı fizyolojik ve metabolik değişimleri ortaya koyan çalışmalar incelenmiştir.

## **Materyal ve Metod**

Amfibiler yüksek geçirgenlikli bir deri yapısına sahip olduklarından dolayı içinde buldukları sucul habitattaki değişim, örneğin pH, suyun rengi, bulanıklığı, bitki örtüsü üreme alanı tercihini değiştirebilir (Thorson ve Svihla 1943; Evans ve ark., 1996). Bundan dolayı sucul ekosistemde yaşayan canlıların devamlılığı için metabolizmalarında bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişikliklerden bazıları amfibilerde, kilo kaybı, derilerinin altındaki lipid katmanının kompozisyonunun değişmesi, dolaşım sistemi bozuklukları gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Balık türlerinde su kaybı oranlarının artması ile dehidrasyon ve ölüme yol açmaktadır.

Sıcaklığın artması ile buharlaşmanın en yüksek düzeye ulaşması göller ve bataklıklardaki suların azalması ile kurbağaların yaşadıkları ortamdaki suyun kontrolü kurbağa türünü göre değişmektedir. Thorson ve Svihla (1943) yaptıkları deneyde, laboratuvar ortamında farklı kurbağa türlerinde vücutta su kaybına karşı hayatta kalma süreleri ve meydana gelen değişimleri gözlemlemişlerdir. Bunun sonucunda su yokluğunda bazı türlerde kilo kaybı gibi önemli sorunlar oluşmuştur. Çalıştıkları tüm türler göz önüne alındığında ise, yaşam alanı ve vücut suyu arasında belirgin bir korelasyon olduğunu ortaya koymuşlardır ve bunun nedenin habitat tahribatından kaynaklığını belirtmişlerdir. Diğer çalışmalarla elde edilen veriler, yüksek sıcaklıklara ve aşırı kuru havaya maruz kalan türlerde, su kaybı artması ile küçük kurbağalar büyük kurbağa türlerine göre daha fazla

kilo kaybetmişlerdir. Yüksek sıcaklığa ve kuru havaya karşı karasal türler sucul türlere göre daha toleranslı olduğunu kanıtlamışlardır (Warburg, 1965). Avustralya'daki ağaç kurbağalarından iki farklı tür üzerinde yapılan su kaybı çalışmalarında %50 ve %20 oranlarında ağırlıklarında azalma görülmüş ve su alımının düzenli olarak gerekli olduğunu göstermişlerdir (Buttemer, 1990).

Bazı çalışmalarda kurbağaların derilerinin lipit içeriği hakkında araştırmalar yapılmıştır ve suyun azalması ve kuru havada bu canlıların derisinin altındaki lipit kompozisyonu değişmiştir (Amey ve Grigg, 1995; Withers ve ark., 1984). Sadece amfibiler değil, kuş türlerinde de iklim değişikliği nedeniyle su kaybı ile derilerindeki lipit kompozisyonun değişmesi küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (William ve ark., 2012).

Örneğin, göllerde ve bataklıklarda yaşayan kurbağaların su seviyesinin azalmasıyla kuruluğa karşı fizyolojik bir tolerans mekanizması vardır ve bu çok fazla anlaşılamayan bir ilişkidir (Thorson, 1955; Thorson ve Svihla, 1943). Bu kuruluğa karşı toleransa dehidrasyonel stres de denir ve kan dolaşımında oksijen taşınması ile ilgilidir. Buna bağlı olarak verilerde, aerobik kapasite ile nefes almada güçlükler yaşamaktadırlar (Hilman, 1987).

Bunlarında dışında bu türlerin su kaybetmesiyle dolaşımdaki ATP, laktat ve glukoz seviyelerini etkilemiştir (Churcill ve Storey, 1994). Amfibiler su emilini arttıran ve su kaybı oranını sınırlandıran davranışlar gibi vücutlarındaki suyun korunmasına yönelik davranışlar sergilemişlerdir (Stille, 1958; Pough ve ark., 1983; Heatwole ve ark., 1969).

Balık türlerinde ise su kaybı genellikle ölümle sonuçlanır fakat bazı türlerde beden boyutu ile balık türünün morfolojisi su kaybına tolerans göstermektedir. Bu türler Cottidae ve Stichaeoids familyasından *Stichaeidae* ve *Pholididae*'dirler ve bu türler ani sıcaklık değişimlerine, yüksek sıcaklıklara karşı toleranslıdırlar (Battaglin ve ark., 2016). Aynı zamanda beş Stichaeidae türü genel intertidal habitatta diğer canlılardan daha fazla yoğun kurumaya tahammül edebilir (Horn ve Riegel, 1981).

### **Sonuç ve Öneriler**

Günümüzde en büyük sorun haline gelen küresel ısınma ve buna bağlı olarak kullanılabilir su miktarındaki azalma tüm canlıları yoğun bir şekilde tehdit etmektedir. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar da bunu açıkça ortaya koymaktadır. Gelişen dünyada artan kirlilik, sıcaklıkların artışı, su kaynaklarının yanlış kullanımı, göller, akarsular ve bataklıklardaki su seviyeleri azalmaktadır. Su seviyesinin azalması ve canlıların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu sucul ekosistemde yaşayan kurbağaların metabolizmalarında olumsuz etkilere yol açmaktadır ve bazı

balık türlerinin ise yaşamları tehdit altına girmektedir. Amfibiler, memeliler ve kuşlara göre daha yüksek bir oranda doğada yok oluş göstermektedir (Stuart ve ark., 2004). Habitatlarının azalması, doğada yok oluşlarına neden olan etmenlerden biridir (Wake, 1998). Birçok amfibi türünün koruma statüsü göz önüne alındığında, habitatlarının nasıl etkilediğini anlamak için daha geniş bir veri tabanı oluşturmak önemlidir. Sulak alanlar ve çevresindeki karasal ekosistemler arasındaki biyolojik bağlantıyı kullanmak için amfibiler önemli bir rol oynamaktadır. Sulak alanlardaki habitat kaybı yetişkin amfibi populasyonlarının büyük bir bölümünü etkileyecektir. Habitatlarda meydana gelecek değişikliklerin derecesinin tahmin edilmesi suya bağımlı yaşayan canlıların devamlılığı için önemli bir öngörü olacaktır (Trenham and Shaffer 2005). Habitat kaybı sulak alan biyoçeşitliliğinin sürekliliğini tehdit etmektedir (Stuart ve ark., 2004; Comer ve Goodwin 2006).

İklim değişikliği, yeryüzündeki sucul ekosistemi değiştirirken, su habitatlarının korunması için önlemler alınmalı ve suyun ekonomik kullanımı konusunda daha bilinçli davranılmalıdır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki sucul ekosistemlerde meydana gelen değişimler, dolaylı ya da direkt olarak sucul canlıları etkileyerek yaşamları için tehdit oluşturmaktadır.

## **Kaynaklar**

- Aksungur, N. (2008). *Su Kaynaklarının Kullanımı ve Sürdürülebilirlik*. 3.
- Amey, A. P., & Grigg, G. C. (1995). Lipid-reduced evaporative water loss in two arboreal hylid frogs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 111(2), 283–291.
- Battaglin, W. A., Smalling, K. L., Anderson, C., Calhoun, D., Chestnut, T., & Muths, E. (2016). Potential interactions among disease, pesticides, water quality and adjacent land cover in amphibian habitats in the United States. *Science of The Total Environment*, 566–567, 320–332.
- Churchill, T. A., & Storey, K. B. (1994). Effects of dehydration on organ metabolism in the frog *Pseudacris crucifer*: Hyperglycemic responses to dehydration mimic freezing-induced cryoprotectant production. *Journal of Comparative Physiology B*, 164(6), 492–498.
- Comer, P., & Goodin, K. (2006). Biodiversity at risk in isolated wetlands. *National Wetlands Newsletter* 28:6–8.
- Evans, M., Yáber, C., & Hero, J.-M. (1996). Factors Influencing Choice of Breeding Site by *Bufo marinus* in Its Natural Habitat. *Copeia*, 1996(4), 904–912.

- Heatwole, H., Torres, F., Blasini De Austin, S., & Heatwole, A. (1969). Studies on anuran water balance—I. Dynamics of evaporative water loss by the coquí, *eleutherodactylus portoricensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 28(1), 245–269.
- Hillman, S. S. (1987). Dehydrational Effects on Cardiovascular and Metabolic Capacity in Two Amphibians. *Physiological Zoology*, 60(5), 608–613.
- Horn, M. H., & Riegler, K. C. (1981). Evaporative water loss and intertidal vertical distribution in relation to body size and morphology of stichaeoid fishes from California. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 50(2–3), 273–288.
- Kışlalıoğlu, M., Berkes, F., (1987). Biyolojik Çeşitlilik. *Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını*, Önder Matbaası. 122 s.
- Mcclanahan, L. (1967). Adaptations of the spadefoot toad, *Scaphiopus couchi* to desert environments. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 20, 73–99.
- Mitsch, W. J & Gosselink, J. M. (2000). *Wetlands*, Third edition, p. 920. John Wiley & Sons, Inc., New York, U. S. A.
- Pough, F. H., Taigen, T. L., Stewart, M. M., & Brussard, P. F. (1983). Behavioral Modification of Evaporative Water Loss by a Puerto Rican Frog. *Ecology*, 64(2), 244–252.
- Stille, W. T. (1958). The water absorption response of an anuran. *Copeia* 1958: 217-218.
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L., & Waller, R. W. (2004). Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. *Science*, 306(5702), 1783–1786.
- Taylan, Z. S., & Özkoç, H. B. (2016). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 17–33.
- Thorson, T. B. (1955). The Relationship of Water Economy to Terrestrialism in Amphibians. *Ecology*, 36(1), 100–116.
- Thorson, T., & Svihla, A. (1943). Correlation of the Habitats of Amphibians with Their Ability to Survive the Loss of Body Water. *Ecology*, 24(3), 374–381.
- Trenham, P. C., & Shaffer, H. B. (2005). Amphibian Upland Habitat Use and Its Consequences for Population Viability. *Ecological Applications*, 15(4), 1158–1168.

Wake, D. B. (1998). Action on amphibians. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(10), 379–380.

Warburg, M. R. (1965). Studies on the water economy of some Australian frogs. *Australian Journal of Zoology*, 13(2), 317–330.

Williams, J. B., Munoz-Garcia, A., & Champagne, A. (2012). Climate change and cutaneous water loss of birds. *Journal of Experimental Biology*, 215(7), 1053–1060.

Withers, P. C., Hillman, S. S., & Drewes, R. C. (1984). Evaporative water loss and skin lipids of anuran amphibians. *Journal of Experimental Zoology*, 232(1), 11–17.

# STUDY OF WI-FI WAVES EFFECTS ON GENETIC VARIATIONS OF *Providencia stuartii* BACTERIA ISOLATED FROM OTITIS MEDIA INFECTIONS

Rafea Zaidan Al-Sugmiany<sup>1</sup> & Reyam Faris Saleh<sup>2</sup> & Wakas Saadi Mahmood<sup>3</sup> & Shadman Tariq Sadiq\*<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> *Biology Department, college of science, Tikrit University, Tikrit, Iraq*

*Correspondence author: shadmantsm@tu.edu.iq*

## Abstract

1. **Objective:** The aimed of this study is to evaluate the effect of 2.4 GHz electromagnetic fields on the phenotypic and genetic characteristics of bacterial *Providencia stuartii* by exposing these bacterial to the field of Wi-Fi waves at different distances from the source, depending on the basis of the frequency vector stabilization, to determine the effect of these waves on the DNA through the resulting mutations compared to the control sample.

2. **Materials and methods:** The *Providencia stuartii* isolates were collected from patient that suffering from otitis media infection. After identification bacteria, DNA extraction and RAPD-PCR technique were doing for isolated bacteria before and after Wi-Fi waves exposes at different distances.

3. **Results and discussion:** The results of RAPD-PCR markers showed high wavelengths on DNA of *Providencia stuartii* at all distances with significant differences. Compared to the eye of these, 63 were unique and 40 were absent bands, the highest effect because it obtained a number of distinctive mutant bands (44) distinctive band divided into two types of bands were (17) absent bands was originally present in the control sample disappeared after the treatment and (27) unique bands found after the treatment did not originally present in the control sample. Followed by the second transaction M2, which is away from the source of the router 5 meters, which had (36) distinctive bands were divided into (13) absent bands and (23) unique bands. Followed by the first transaction M1, which is 0.5 meters from the source of the wave, which had the lowest number of mutant beams amounted to (23) bands divided between (10) absent bands and (13) unique bands the distance showed 5,10 meters more effect on DNA from the distance of 0.5 meters and by increasing the number of mutations resulting.

4. **Conclusion:** The results of these study shown the significant effect of Wi-Fi waves that emitted from the Wi-Fi instruments on genetic traits of bacterial cells, and therefore, the presence of this source inside homes and institutions is an impact on the health of the people inside, especially children and newborns because the cells of their bodies are very high growth.

## Introduction

*Providencia stuartii* Gram-negative bacteria is a member of the *Providencia* genus which member of Enterobacteriaceae family, It is an uncommon cause of infections, unlike many other bacteria in this family but it is an opportunistic pathogen cause nosocomial infections, it is found in 4 of 100,000 hospital admissions of the general population, in the case of urinary tract infections it causes 9% of catheter-associated infections of patients under long-term catheterization ( Wie, 2015 and O'Hara *et al.*, 2000). Especially multidrug resistant (MDR) strains of *P. stuartii*, In such cases, mortality rate of *P. stuartii* Infections may reach 30% (De Vecchi *et al.* ,2013). In addition to it causing chronic supportive otitis media (Molla *et al.* ,2019).

Today, greater use telecommunication technologies such as local networks include Bluetooth, wireless persona and Wi-Fi led to increase the exposure of Living organisms to frequency waves of electromagnetic fields from different sources (Hardell and Sage., 2008). Wi-Fi waves are part of the non-ionizing radiation of the electromagnetic spectrum (Ng., 2003), Electromagnetic irradiations include Wi-Fi affected on bacterial growth and the bacteria are able to respond to the environmental stressors (Potenza *et al.*, 2004 and Strasak *et al.*, 2005). Several studies have showed that EMFs can play role in changes of bacteria (Inhan-Garip *et al.* ,2011), growth rate, antibiotic sensitivity, and DNA repair (Tessaro *et al.* ,2015, Taheri *et al.* ,2015 and Phillips *et al.* ,2009).

Electromagnetic radiation has the potential to affect bacteria by boosting (Torgomyan., *et al* 2011) or inhibiting bacterial growth (Tadevosyan *et al.* ,2008), Extremely low-frequency electromagnetic fields can cause intracellular accumulation of minerals, including calcium ions (Ca<sup>2+</sup>) ( Ming-Yan *et al.* ,2009), which are essential for bacterial membrane action by activating ATPases activity that provides energy for flow pumps and ion transfer channels for the membrane (Martins *et al.* ,2011).

The use of RAPD-PCR technology in molecular diagnostics is one of the modern methods, which possesses this method in adsorbing the mutations that occur in the genome of bacteria. The method of prior knowledge of the bacterial genome (Psifidi *et al.* , 2015). The study aimed to detect the effect of radio frequency of electromagnetic waves emitted by the Wi-Fi router on the phenotypic traits by antimicrobial resistance and on genetic traits by identifying the resulting mutations using RAPD-PCR technology.



## Materials and Methods

### Bacterial strains

The bacterial isolate *Providencia stuartii* were collected from patients with otitis media attending Tikrit Teaching Hospital, bacterial isolates characterized by conventional methods including morphological ,biochemical tests according to (Alfred, 2007) and confirmed using by Vitek 2 compact system.

### Wi-Fi Router

The effects of radio frequency of Wi-Fi exposure bacterial DNA were also investigated, it Conducted according to Taher *et al* .,2017 with some modification, the bacterial suspension of *Providencia stuartii* inoculated in the 4 tubes containing 5 ml of nutrient broth and distributed the tubes to four groups, The first sample included bacterial isolates without treatment (control) and incubated in the incubator while The second sample was placed at a distance of 0.5 meters from the Wi-Fi Router device, While the third sample placed at a distance of 5 meters from the device and the fourth sample of set tubes placed on a distance 10 meters from the wireless router, all tubes incubated at 37°C for 18 h,the radiofrequency (RF) simulator exposed samples which used 2.4 GHz Wi-Fi router.

### DNA Extraction Analysis

Genomic DNA was extracted for *Providencia stuartii* under study before and after exposure to Wi-Fi waves as reported in method Onasanya *et al* ., 2003 and Hamzah *et al.*, 2018. After modulation, DNA was confirmed by deportation on the agarose gel electrophoresis device (Sambrok., 2001and Al-Sugmany, 2017).

### RAPD-PCR reactions

RAPD-PCR reactions were performed based on (Williams *et al.*, 1990) on the control sample and the three coefficients for *Providencia stuartii* using (8) primers prepared by Operon Technologies, U.S.A. As described in Table (1), Mixed solution (Master Reaction) was prepared by mixing the reaction components into sterile Eppendorf tube (2ml), then centrifuged in Microfuge for 3-5 sec. This work was done inside a sterilized hood. The solutions and materials used are shown in table (2).

Table (1) primers used in the RAPD-PCR study.

Primer name	Primer Relay-	Primer name	Primer Relay-
P-1	GTGTGCCCCA	P5	GATGACCGCC
P-2	GTCGCCGTCA	P6	ACTGGGACTC
P-3	GTTGCGATCC	P7	GACAGGAGGT
P-4	AACGGTGACC	P8	GGAGGGTGTT

Table (2) solutions used in the RAPD markers

C	Components	Volume
1	Green Master mix	12.5 $\mu$ l
2	Primer	2 $\mu$ l
3	Nuclease free water	8.5 $\mu$ l
4	DNA template	2 $\mu$ l
5	Total Volume	25 $\mu$ l

RAPD-PCR program performed by the following: first denaturation 1 cycle at 94 °C for 5 min, 40 cycle (denaturation 93 °C for 30 sec; annealing 36 °C for 45 sec; extension 72 °C for 1.5 min) and final extension 1 cycle at 72 °C for 10 min. After the PCR amplifications program was finished, 4 $\mu$ L of PCR products were separated using gel electrophoresis in a concentration of 1.5% with DNA marker, after migration the gel stained by ethidium bromide for 60 min and visualized under UV-transilluminator.

Diagnosis of mutations:

The variation in genetic material DNA which can be obtained from RAPD-PCR markers can be adopted to identify mutations in treatments compared with control, and that is done by converting the bands which appeared in the gel to description table, by putting 1 when there is unique band and 0 at the absence of the band, that is, the band which appears in the treatment and dew varieties.

## Results and Discussion

Molecular results - Results of RAPD-PCR markers

In this study , 8 primers were used as shown in Table (1) of the studied models using RAPD-PCR markers. All the primers found binding sites on the genome and produced different bands detected on the glucose gel in the presence of DNA ladder 100bp DNA Marker. These bands in the production of general bands Main Bands / Monomorphic bands and

differentiated Polymorphic band. The results of the bands shown in Table (5) and shown in the pictures below showed different types of bands. The total number of loci identified by the bands on the sample genotype was 75, of which (20) were general for all samples and (55) were differentiated. The highest number of productive loci reached (12). The total number of bands produced from these loci was (186) total band, of which (80) general band (Main band) and (106) differentiated polymorphic band. The primer P-2 produced the highest number of produced bands (33). Variation Ratio General for the produced primers 74%, the phenomenon of variance of the three coefficients compared to control samples is an indication of the effect on the genome of bacterial isolates, whenever the high variation after treatment indicates the effect of treatment (Blair W.M., *et al* 2009 and Fregel, R., V., *et al* 2008). The bands varied in the size of the resulting bands. Their sizes ranged from (100-3350bp), the lowest molecular size (100 bp) in the P-1 primer and the highest molecular size (3350bp) in the P-5 primer.

Table (3) Number loci and types, number produced bands number and type of special bands

C	Primer	Loci number	Monomorphic loci	Polymorphic loci number	Bands number	Monomorphic bands	Polymorphic band	Unique bands	Absent bands	Variation Ratio
1	P-1	8	3	5	21	12	9	8	3	62
2	P-2	11	5	6	33	20	13	3	1	54
3	P-3	9	2	7	18	8	10	6	12	77
4	P-4	12	4	8	29	16	13	7	9	93
5	P-5	5	-	5	13	-	13	13	-	66
6	P-6	10	5	5	32	20	12	9	1	50
7	P-7	8	1	7	23	4	19	6	3	87
8	P-8	12	-	12	17	-	17	9	15	100
sumation		75	20	55	186	80	106	61	44	74 %

Most of the coefficients as shown in Tables (3 and 4) marked by the shares in the pictures (1-8) were characterized by distinctive bands (unique band,

absent band). Characteristic compared to the control sample, of which (61) unique band and (44) absent band, the primer P-5 produced the highest number of unique band reached (13) bands while the absent bands produced the primer P-8 the largest number of absent bands (15) As for the *P. stuartii*, obtained a percentage of the characteristic mutant bundles which reached (103) bands of which (63) unique bands and (40) Absent bands. These bands are discriminatory and their diagnosis of these treatments indicates that the wavelengths affect the genetic material of DNA because the emergence of different bands between treatments is caused by the different type of isolation and its genetic structure and its ability to repair damage in the genetic material and that the increase of mutant bands is caused by an increase in The effect of the waves, which may reach the degree of total killing of bacteria and inferred from the occurrence of a mutation in a particular site led to the identification of the initiator and the emergence of the unique band, but for the absent bands as well as a mutation in the site only know the initiator in that treatment, which led to the elimination of this identification and concealed War package that is compatible with many former researchers, the results of (Cowell *et al.* ,2003, Lmhof and Schlotterer., 2001 and Minarini and Darini ., 2012).

Table (4): Characteristic mutations of *P. stuartii* treated with Wi – Fi

primer	Molecular weight bp	<i>P. Stuartii</i>											
		M1		M2				M3					
		band	Unique	band	Absent	band	Unique	band	Absent	band	Unique	band	Absent
P1	100bp-3000bp	-		1		2		1		3		1	
P2	150bp-1500bp	2		-		2		-		3		1	
P3	450bp-2250bp	1		3		2		3		3		3	
P4	200bp-3250bp	1		3		3		3		3		3	
P5	350bp-2350bp	3		-		5		-		5		-	

P6	300bp-2000bp	2	-	4	-	3	1
P7	150bp-1500bp	-	-	4	-	3	2
P8	200bp-1800bp	4	3	1	6	4	6
Absent and unique bands for each treatment		13	10	23	13	27	17
Total mutant bands per treatment		23		36		44	
Total mutant bands per bacteria		103					
Total of mutant bands							

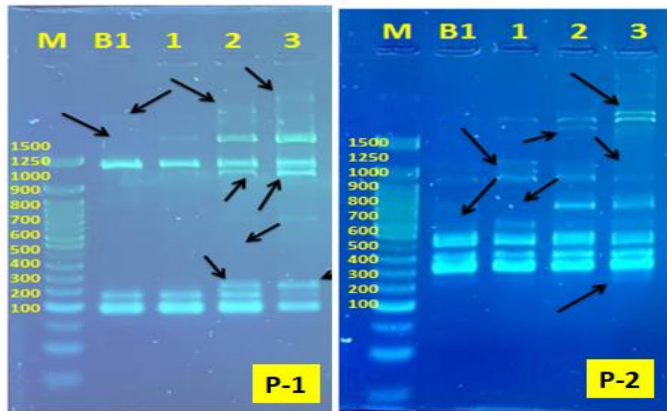


Figure (1,2) the result of doubling the primer P1 and P2 using RAPD-PCR markers on the 1.5% agarose gel *P. Stuartii*

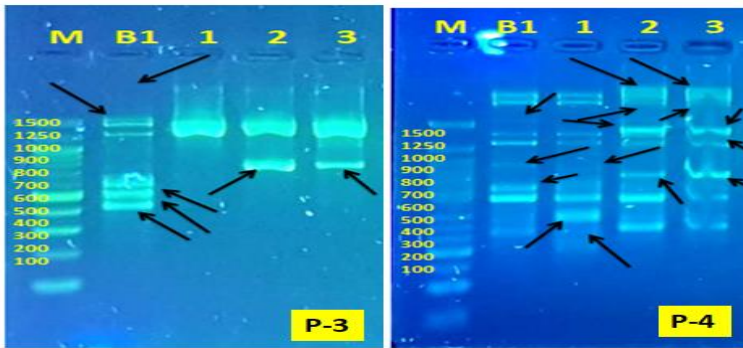


Figure (3,4) the result of doubling the primer P1 and P2 using RAPD-PCR markers on the 1.5% agarose gel *P. Stuartii*

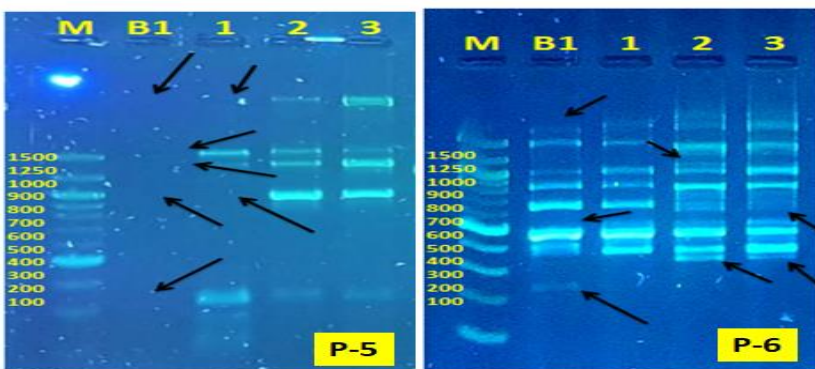


Figure (5,6) the result of doubling the primer P1 and P2 using RAPD-PCR markers on the 1.5% agarose gel *P. Stuartii*

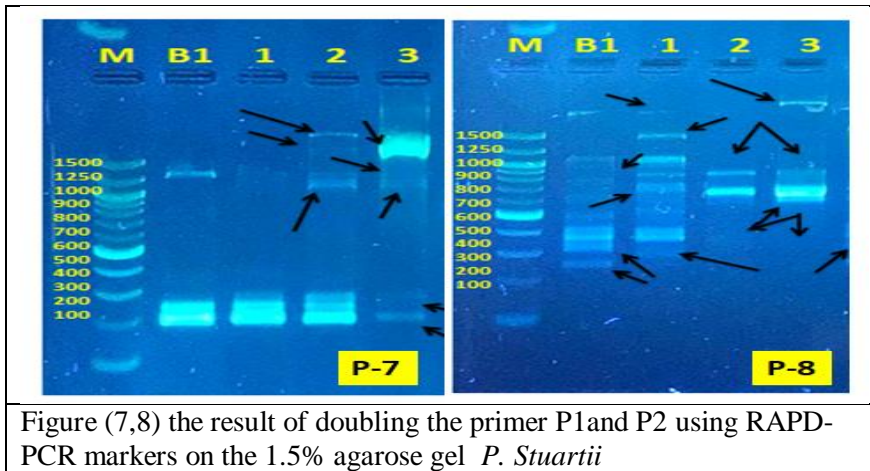


Figure (7,8) the result of doubling the primer P1 and P2 using RAPD-PCR markers on the 1.5% agarose gel *P. stuartii*

The application of this experiment for the first time in Iraq and the Arab world because there is no literature published trend of this research; it has been shown from the results above that the electromagnetic waves have an effect on the genome of bacteria in all its forms have shown the markers of RAPD-PCR high efficiency in the diagnosis of these mutations and a small number of primers produced Transactions showed a difference in the number and quality of mutant bands. The results showed that all treatments have an effect on the genetic material of the *P. stuartii* used, but there are different ratios according to the different treatments where the third treatment showed M3 which is 10 meters away from the source of the waves for the *P. stuartii*, had the highest effect because it obtained a number of distinctive mutant bands (44) distinctive band divided into two types of bands were (17) absent bands was originally present in the control sample disappeared after the treatment and (27) unique bands found after the treatment did not originally present in the control sample. Followed by the second transaction M2, which is away from the source of the router 5 meters, which had (36) distinctive bands were divided into (13) absent bands and (23) unique bands. Followed by the first transaction M1, which is 0.5 meters from the source of the wave, which had the lowest number of mutant beams amounted to (23) bands divided between (10) absent bands and (13) unique bands. In the absence of mutant beams, it was found that all distances had a strong effect on the genome of bacteria and the effect increased with increasing distance, which led to an increase in the destruction of DNA sequences and evidence of the disappearance of the induction site of the initiator originally in the control sample (Cowell *et al* .,2003 and Lmhof and Schlotterer., 2001). On the other hand, the electromagnetic waves and their frequencies have a high effect on the bacteria and the best evidence for this is the large number of absent bands

mutant and this corresponds to the results obtained (Balmori, 2016 ,Strasak *et al* .,2005 and Sambrok., 2001).

Through the molecular results, the effect of the waves on the *P. stuartii* was very high in all treatments. The results of the RAPD-PCR all distances had a significant effect on the genome of bacteria because the average distance of 5 meters had a greater effect and the reason for the incompatibility of sensitivity with molecular that most mutations that occurred in the genome of bacteria in non-coding genes and therefore all these mutations have no effect on the traits The bacterial phenotype of the bacterium does not have a gene expression, and the reason is that the proportion of the non-coding genome of the genes in the bacteria is much higher than the genome encoded and this is consistent with the results of most researchers (Oncul *et al* .,2016, Segatore *et al* .,2012, Blair *et al* .,2009 and Sambrok, 2001).

## **Conclusions**

It is concluded from the above results that the waves of any waves and any positive and negative effects are high and positive on bacterial cells that are undergoing a division lead to high destruction in their genome and many of its genes, including genes resistant to antibiotics as well as Nether in the ability to grow and resist environmental and therapeutic conditions and converted from nurse to non a nurse. As for the negative effects of the waves, all homes, institutions and places where there is a wavy and be charged with waves have a negative impact on human cells in the stage of division, and thus its impact on embryos and newborns and children in the early stages of the high impact may lead to the occurrence of fetal abnormalities And genetic disorders and cause cancer, the farther away the source of waves and any waves of people less harm.

## **References**

- Alfred, E.B.(2007).Bensons microbiological applications in laboratory manual in general microbiology .10<sup>th</sup> ed .McGraw-Hill companies .New York.
- Al-Sugmany, R. Mukhlif (2017). The genetic diversity of a number of beans plant (*Faba Vicia*) genetic compositions and their individual hybrids are loaded using RAPD PCR technology. Journal of the Tikrit University for Agricultural Sciences-Special issue of the Sixth Scientific Conference of Agricultural Sciences.



- Balmori, A., (2016). Radiotelemetry and wildlife: highlighting a gap in the knowledge on radiofrequency radiation effects. *Sci. Total Environ.* 543 (pt A), 662–669.
- Blair W.M., Dize M.L., Buendia F.H. and Duque M.C. (2009). Genetic diversity, seed size associations and population structure of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *Theoretical and Applied Genetics* 119: 955 – 972.
- Cowell , B. A.; Twining, S. S. ; Hobden, J. A.; Kwong, M. S. F. and Fleiszig, S.M. J.(2003). Mutation of *lasA* and *lasB* reduces *Pseudomonas aeruginosa* invasion of epithelial cells. *Microbiology.* 149: 2291–2299.
- De Vecchi, E. Sitia, S. Romanò, C. L. Ricci, C. Mattina, R. and Drago, L. (2013). Aetiology and antibiotic resistance patterns of urinary tract infections in the elderly: a 6-month study. *Journal of Medical Microbiology*, vol. 62, pp. 859–863.
- Fregel, R., V. Rodriguez, and V. M. Cabrera. 2008. Microwave improved *Escherichia coli* transformation. *Letters in Applied Microbiology.* 46: 498-499.
- Hamza, H.M. Reyam, F. S. and Mohammed ,N. M.(2018). *Fusarium mangiferae* as New Cell Factories for Producing Silver Nanoparticles. *J. Microbiol. Biotechnol.* 28(10), 1654–1663.
- Hardell, L. Sage, C.( 2008).Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomed Pharmacother* 62(2):104-109.
- Inhan-Garip A, Aksu B, Akan Z, Akakin D, Ozaydin AN, San T.(2011). Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on growth rate and morphology of bacteria. *Int J Radiat Biol.*87(12):1155–61.
- Lmhof, M. and Schlotterer, C. (2001). Fitness effects of advantageous mutation in evolving *Escherichia coli* populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*98 (3).1112-1128.
- Martins A, Machado L, Costa S, Cerca P, Spengler G, Viveiros M., (2011). Role of calcium in the efflux system of *Escherichia coli*. *Int J Antimicrob Agents.*37(5):410–4.
- Minarini, L.A.R. and Darini ,A.L.C.(2012). Mutations in The Quinolone Resistance- Determining Regions of GYRA and PARC in Enterobacteriaceae Isolates from Brazil. *Brazilian J. Microbiol.*,43(4): 1309-1314.

- Ming-Yan L, Kun S, Xu Z, Imshik L.(2009). Mechanism for Alternating Electric Fields Induced-Effects on Cytosolic Calcium. *Chinese Phys Lett.* 26(1):017102.
- Molla, R. Tiruneh, M. Abebe W. (2019). Bacterial profile and antimicrobial susceptibility patterns in chronic suppurative otitis media at the University of Gondar Comprehensive Specialized Hospital, Northwest Ethiopia. *BMC Research Notes* Vol 12: 414.
- Ng, K.H. (2003). Non-ionizing radiations—sources, biological effects, emissions and exposures. *Proceedings of the international conference on non-ionizing radiation at UNITEN.*:1-16.
- O'Hara, C.M, Brenner, F.W, Miller, J.M.(2000). Classification, identification, and clinical significance of *Proteus*, *Providencia*, and *Morganella*. *Clin Microbiol Rev.* 13:534–546.
- Onasanya A, Mignouna HD, Thottappilly G. (2003). Genetic fingerprinting and phylogenetic diversity of *Staphylococcus aureus* isolates from Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 2: 246-250.
- Oncul, S. Cuce, E.M.Aksu, B. Inhan Garip, A.(2016). Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on bacterial membrane. *Int J Radiat Biol.* 92(1):42-49.
- Phillips, JL, Singh NP, Lai H.(2009). Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology.* 16(2-3):79–88.
- Potenza, L. Ubaldi, L. De Sanctis, R. De Bellis, R. Cucchiarini, L.Dacha, M.(2004). Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in *Escherichia coli*. *Mutat Res.* 561(1-2):53–62.
- Psifidi, A., Dovas, C. I., Bramis, G., Lazou, T., Russel, C. L., Arsenos, G., and Banos, G. (2015). Comparison of Eleven Methods for Genomic DNA Extraction Suitable for Large-Scale Whole-Genome Genotyping and Long-Term DNA Banking Using Blood Samples. *PLoS One.* 2015; 10(1): e0115960.
- Sambrook, J.A. D.W.R. (2001). *Molecular Cloning: A Laboratory Manual.* 3rd Ed.
- Segatore, B., Setacci, D., Bennato, F., Cardigno, R., Amicosante, G, Iorio, R.(2012). Evaluations of the effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on growth and antibiotic susceptibility of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Inter. J. Microb.* ID:587293 (7).

- Strasak L, Vetterl V, Fojt L (2005). Effects of 50 Hz magnetic fields on the viability of different bacterial strains. *Electromagnet Biol Med.*;24(3):293–300.
- Tadevosyan H, Kalantaryan V, Trchounian A.(2008). Extremely high frequency electromagnetic radiation enforces bacterial effects of inhibitors and antibiotics. *Cell Biochem Biophys.*51(2-3):97–103.
- Taheri M, Mortazavi SM, Moradi M, Mansouri S, Hatam GR, Nouri F.(2017). Evaluation of the Effect of Radiofrequency Radiation Emitted From Wi-Fi Router and Mobile Phone Simulator on the Antibacterial Susceptibility of Pathogenic Bacteria *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. *Dose Response.* 15: 155.
- Taheri, M. Mortazavi, S.M. Moradi, M. Mansouri, S. Nouri, F. Mortazavi, S.A. (2015). *Klebsiella pneumoniae*, a Microorganism that Approves the Non Nonlinear Responses to Antibiotics and Window Theory after Exposure to Wi-Fi 2.4 GHz Electromagnetic Radiofrequency Radiation. *J Biomed Phys Eng.* 5(3):115–20.
- Tessaro, L.W. Murugan, N.J. Persinger, M.A.(2015). Bacterial growth rates are influenced by cellular characteristics of individual species when immersed in electromagnetic fields. *Microbiol Res.*172:26–33.
- Torgomyan, H. Kalantaryan V, Trchounian A.(2011). Low intensity electromagnetic irradiation with 70.6 and 73 GHz frequencies affects *Escherichia coli* growth and changes water properties. *Cell Biochem Biophys.*60(3):275–81.
- Wie, S.-H. (2015). Clinical significance of providencia bacteremia or bacteriuria,” *Korean Journal of Internal Medicine*, vol. 30, no. 2, pp. 167–169.
- Williams, J.G.K; A.R., Kubelik K.J., Livak, J.A. Rafalski, and S.V. Tingey, (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Rese.* 18: 6531-6535.

# MANİSA VE YAKIN ÇEVRESİNDE YAŞAYAN ZEHİRLİ YILANLAR VE TEMAS YOLUYLA OLUŞAN ZEHİRLENMELER

Ferdi KURŞUN<sup>1,2</sup> & Murat AFSAR<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ferdikursun@hotmail.com

<sup>2</sup>Manisa İl Sağlık Müdürlüğü, ferdikursun@hotmail.com

<sup>3</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, murat.afsar@cbu.edu.tr

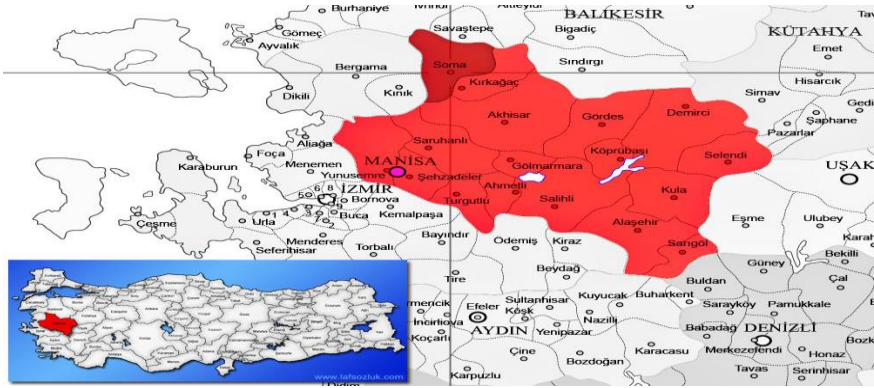
\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Murat AFSAR, murat.afsar@cbu.edu.tr

**Özet:** Yılanlar ülkemizde en az bilinen gruplardan biridir. Pek çok yılan türü ve hatta bacaksız kertenkeleler zehirli oldukları sanılarak görüldükleri yerlerde öldürülürler. Bu çalışmada Manisa ve yakın çevresinde yaşayan zehirli yılan türleri literatür ve arazi gözlemlerine dayanarak belirlenmiş, tanıtılmış ayrıca zehirli ve zehirsiz yılan türleri arasındaki morfolojik farklılıklar belirtilmiştir. Ayrıca 2013-2017 yılları arasında Manisa İli Kamu Hastanelerine (A2, B, C, D rolündeki hastaneler) başvuran yılan ısırma vakaları değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Manisa, Zehirli yılanlar, Zehirlenmeler

## Giriş

Ege Bölgesinde yer alan Manisa yüz ölçümü bakımından Türkiye'nin büyük illerindedir. Gediz çöküntüsü içerisinde yer almakta olup merkezi denizden ortalama 71 metre kadar yüksekliktedir. Kuzey ve güneyi dağlarla kaplı olan Manisa'da dağlar kuzeybatıdan doğuya doğru uzanmaktadır. İlin Kütahya, Balıkesir sınırını ise Demirci Dağları tarafından oluşturulur (Manisa İli Doğa Turizmi Master Planı 2013-2023, 2013). Buradaki Ziyaret Tepe 1800 metredir. Demirci Dağlarının güneybatıya ulaşan uzantısı olan Çomaklı ve Dibek Dağlarının en yüksek yeri Aysekizi Tepesi 1034 metre kadardır. Bölgenin en yüksek dağı olan Bozdağlar ve ilde en çok bilinen Spil ve Yunt Dağıdır. Manisa'da dağlık ve sarp alanların yanında tepelik kesimler ve ovalar da yer alır. Üstelik Gediz Havzası'nın büyük bölümü il sınırları içinde bulunmaktadır (Akdeniz,2018).



Şekil 1. Manisa İli Harita Görüntüsü (“<https://1.bp.blogspot.com/>”, 2019’den değiştirilerek).

Kentin sahip olduğu böylesi topoğrafik yapı çeşitliliği ve coğrafik konumundan dolayı, sürüngen çeşitliliği bakımından da önemli bir ilimizdir. Kumlutaş, Durmuş ve Ilgaz (2000) tarafından Yamanlar Dağı ve Karagöl civarında 20 sürüngen türü tespit edilmiş ve herpetolojik açıdan zengin olduğu bildirilmiştir. Spil Dağında Kumlutaş, Ilgaz ve Durmuş (2001) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise 11 sürüngen türü tespit etmiş ve bölgede yılan popülasyonunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bozdağlarda Kumlutaş, Özdemir, Ilgaz ve Tosunoğlu (2004) tarafından 22 sürüngen türünün yaşadığı bildirilmiştir. Gediz Deltasında yapılan bir çalışmada ise 28 sürüngen türü tespit edilmiştir (Arslan, Oliver, Yaşar, İsmail, Döndüren, Emoul, Beck ve Çiçek, 2018).

Şimdiki çalışmada ilgili literatür ve arazi gözlemlerine dayanarak Manisa ve yakın çevresinde yaşayan zehirli yılan türleri belirlenmiş, zehirli ve zehirsiz yılan türleri arasındaki morfolojik farklılıklar belirtilmiş ve ayrıca Manisa İli Kamu Hastanelerine (A2, B, C, D rolündeki hastaneler) başvuran 2013-2017 yılları arasındaki yılan ısırma vakaları değerlendirilmiştir.

## Yöntem

Manisa İli çalışma alanı toplam yüz ölçümü 13.810 kilometre karedir. 38° 04' - 39° 58' kuzey enlemleri ile 27° 08' - 29° 05' doğu boylamları arasında yer alır (Manisa İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu, 2018). İlin topoğrafik yapısının %54' ü dağlardan geriye kalan % 46 kısmı ise ova ve platolardan oluşmaktadır (Koday, Ehan ve Akbaş, 2016). Öncelikle literatür derlemesi ile Manisa iline ait daha önce yapılmış bilimsel çalışmaların yanında Başoğlu ve Baran (1998)'de yer alan kayıtlar çıkartılmış ayrıca <http://www.herpamura.org> adresinden yararlanılarak zehirli yılan türleri,

ve zehirsiz yılan türleri arasındaki farklar sunulmuştur. Sonra literatür çalışmasında var ise hedef yılan türlerinin Manisa İlinde dağılışı, habitat tercihi, davranışları, yaşam döngüsü ve popülasyon durumu hakkında bilgiler değerlendirilmiştir. Daha sonra 2013-2017 yılları arasında Manisa İli Kamu Hastanesi kayıtları taranarak bu yıllar arasında başvuruların ilçelere, aylara, cinsiyete ve yaşa göre dağılımları ortaya çıkartılmıştır.

## **Bulgular**

Dünya’da 3000 civarında yılan türünün yaşadığı bilinmektedir. Bunlardan ancak 1/3’ü az veya çok zehirlidir. Çok zehirli olanlar ise tüm yılanların %8 ini geçmez (Tok, Çiçek, Afsar ve Alparslan,2015;“Herpamura”, 2019). Ülkemizde yaşayan yılan türleri Leptotyphlopidae 1, Typhlopidae 2, Boidae 1, Colubridae 34, Natricidae 3, Viperidae 15, Elapidae 1 olmak üzere 7 familya da toplanmış 57 türdür. Bunlardan 4 tanesi yarı zehirli, 15 tanesi ise zehirlidir. Bu veriler değerlendirildiğinde Türkiye Yılanlarının %26,32 zehirli olduğu ortaya çıkmaktadır. Manisa’ da ise yarı zehirli çukurbaşı yılan (*Malpolon monspessulanus*), kedi gölü yılan (*Telescopus fallax*) ile sucul yılan (*Natrix tessellata*) türleri ile zehirli şeritli engerek (*Montivipera xanthina*) türü yaşamaktadır. (Baran, Ilgaz, Avcı, Kumlutaş ve Olgun, 2012; “The Reptile Database”, 2019; “Herptil”,2019; “Herpamura”, 2019; “Iucnredlist”,2019).

Zehirli yılanlarda; Vücut genellikle kısa ve kalın yapılıdır. Baş üçgen şeklini andırır. Göz bebekleri dikeydir. Tamamında zehir dişi mevcuttur. Göz ile supralabial plaklar arasında pul sıraları bulunur. Anal plak tek, kuyruk vücuda oranla kısadır (“Herpamura”, 2019).

## **Türlerin Tanıtımı:**

**Sucul Yılan (*Natrix tessellata*):** Türkiye’nin tümünde dağılışı göstermektedir. Tamamen sucul olan bu tür Manisa’da uygun sucul ekosistemlerde görülebilmektedir (Baran, ve diğerleri, 2012).

**Kedi gölü yılan (*Telescopus fallax*):** Türkiye’nin daha çok batı ve güneybatı bölgelerinde dağılışı göstermektedir. Manisa’da güneş alan taşlık eğimli arazileri, yol kenarları ve yıkıntı yapılarında yaşar. Zehri insan için tehlikeli değildir (Baran, ve diğerleri, 2012).

**Çukurbaşı Yılan (*Malpolon insignitus*):** Türkiye’nin Karadeniz sahil bölgesi hariç bütün bölgelerinde dağılışı göstermektedir. Manisa’da az bitkili taşlık ve kuru ortamlarda yaşar. Bahçe ve su kanalı kenarlarında da

görülür. Yarı zehirli olan bu türün zehir dişleri küçük ve arkadadır. Ancak ısırıldığı yeri şişirir ve acı verir. (Baran, ve diğerleri, 2012)

**Şeritli Engerek (*Montivipera xanthina*):** Zehirleri insanlar için tedavi edilmediği durumlarda tehlikeli olabilir. Dağların ormansız ve taşlık kısımlarında yaşar. Bazen orman içi açıklıklarda ve harabelerde görülür. Sıkıştırılmadıkça insanı sokmaz. Orta, Güney ve Batı Türkiye’ de yayılmıştır (Baran, ve diğerleri, 2012).

2013-2017 yıllarında Manisa ilinde hastaneye ulaşan vakalar; 1-Yılan Zehirinin Toksik Etkisi, 2-Sürüngenler Tarafından Isırılma veya Ezilme, Diğer, 3-Zehirli Yılan ve Kertenkelelerle Temas, 4-Zehirli Hayvanlarla Temasın Tanımlanmamış Toksik Etkisi, 5-Zehirli Hayvanlarla Temasın Diğer Toksik Etkisi olmak üzere beş olgu hastane bilgi sistemine girilmiş olup, mevcut olgular taranmıştır. Bunlardan Yılan Zehirinin Toksik Etkisi tanısı üzerinden veriler değerlendirilmiştir.

2013-2017 yılları arasında Manisa İli Kamu Hastanesi kayıtları tarandığında Yılan Zehirinin Toksik Etkisi tanısı vakalarının mayıs-eylül ayları arasında arttığı, sonbahar ve kış aylarında yok denecek kadar azaldığı belirlenmiştir. Ülkemizde yaşayan yılan türlerinin söz konusu dönemleri kış uykusu ile geçirdikleri bilinmektedir (Başoğlu ve Baran, 1998). Yılan türlerinin merkezden periferde doğru gidildikçe azalmasının kırsak kesimde tarım ile uğraşanların yoğun olmasından kaynaklandığı kanısı hakimdir. Bu durum şimdiki çalışmadaki veriler incelendiğinde tespit edilmiştir. Ayrıca veriler değerlendirildiğinde 2014 ile 2016 yılında vaka sayısının nispeten fazla olduğu anlaşılmıştır. 2016 yılı ile diğer yılların dağılımları karşılaştırıldığında söz konusu yılın %25,81 oranla vaka sayısı bakımından en fazla yıl olduğunu görmekteyiz.

Yılan Zehirinin Toksik Etkisi tanısı vakalarının 2013-2017 yılları arasındaki dağılımı değerlendirildiğinde sıklığın kadınlara oranla erkeklerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yaş grubu dağılımı bakımından veriler 2013-2017 yılları arasında genç ve orta yaşlarda daha fazla vakanın başvurduğunu işaret etmekte, Yılan Zehirinin Toksik Etkisi tanısının genel yaş dağılımı incelendiğinde ise 10-19 yaş aralığında %22,59 ile en yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1: Yılan Zehirinin Toksik Etkisi Vakasının 2013-2017 Yılları Arasındaki Bulguları (Manisa İl Sağlık Müdürlüğü, 2018)

<b>2013-2017 Yılları Arasında Yılan Zehirinin Toksik Etkisi Vakasının Bulguları</b>										
<b>Yılan Zehirinin Toksik Etkisi</b>										
	<b>2013</b>		<b>2014</b>		<b>2015</b>		<b>2016</b>		<b>2017</b>	
	<b>n</b>	<b>(%)</b>	<b>n</b>	<b>(%)</b>	<b>n</b>	<b>(%)</b>	<b>n</b>	<b>(%)</b>	<b>n</b>	<b>(%)</b>
<b>Aylar</b>										
Ocak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şubat	1	5,26	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart	-	-	1	4,76	-	-	-	-	-	-
Nisan	1	5,26	2	9,52	-	-	1	4,17	1	7,69
Mayıs	2	10,53	1	4,76	2	12,50	6	25,00	2	15,38
Haziran	5	26,32	7	33,33	3	18,75	6	25,00	3	23,08
Temmuz	5	26,32	3	14,29	5	31,25	6	25,00	3	23,08
Ağustos	4	21,05	5	23,81	1	6,25	4	16,67	3	23,08
Eylül	1	5,26	1	4,76	3	18,75	1	4,17	1	7,69
Ekim	-	-	1	4,76	2	12,50	-	-	-	-
Kasım	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aralık	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Yerleşim Bölgesi</b>										
Merkez	5	26,32	10	47,62	2	12,50	5	20,83	3	23,08
Kırsal	14	73,68	11	52,38	14	87,50	19	79,17	10	76,92
<b>Cinsiyet</b>										
Erkek	13	68,42	12	57,14	8	50,00	17	70,83	7	53,85
Kadın	6	31,58	9	42,86	8	50,00	7	29,17	6	46,15
<b>Yaş Grupları</b>										
9≤	1	5,26	1	4,76	-	-	1	4,17	-	-
10-19	5	26,32	5	23,81	7	43,75	3	12,50	1	7,69
20-29	2	10,53	5	23,81	3	18,75	5	20,83	5	38,46
30-39	2	10,53	4	19,05	1	6,25	6	25,00	1	7,69
40-49	4	21,05	3	14,29	3	18,75	5	20,83	2	15,38
50-59	3	15,79	3	14,29	2	12,50	3	12,50	3	23,08
60-69	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7,69
70≥	2	10,53	-	-	-	-	1	4,17	-	-



Tablo 2: Yıllara göre tüketilen yılan serumu ve ampuldeki doz miktarı, Manisa, 2013-2017 (Manisa İl Sağlık Müdürlüğü, 2018)

Yıl	Ampul/Şişedeki doz	
	sayısı	Açılan
2013	1	40
2014	1	23
2015	1	38
2016	1	16
2017	1	28
Toplam	1	145

### Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde yaklaşık 57 yılan türü yaşamaktadır. Bunlardan Türkiye genelinde yalnız 15 tanesi zehirli, 4 tanesi de yarı zehirlidir. ( Baran, Ilgaz, Avcı, Kumlutaş ve Olgun, 2012; “The Reptilie Database”, 2019; “Herptil”, 2019; “Herpamura”, 2019; “Icnredlist”, 2019). Yarı zehirlilerin zehri insanlar için öldürücü etkiye sahip değildir. Diğer türler besinlerini gece avladıklarından, çoğu gündüz vakitlerinde uygun yerlerde gizlenirler. İnsanlarla ekstrem durumlarda karşılaşır. Bu karşılaşmalarda beslenmek için oldukça önemli olan zehrin savunma amacıyla insana kullanılması ancak onların rahatsız edilmeleri durumunda olur (Başoğlu ve Baran, 1998). Manisa ilinde engerek türlerinden *Montivipera xanthina* yaşamaktadır. Literatürde de bahsedildiği gibi tür ile karşılaşma durumlarında yılanın kızmış veya korkmuş olmasına bağlı olarak temas esnasında ne oranda zehir aktaracağı tamamen yılanın kontrolündedir. Ölümle sonuçlanma yerine yaşam konforunu bozacak olguların daha yaygın olduğu ifade edilmektedir (Başoğlu ve Baran, 1998). Tanı gruplarının tamamı incelendiğinde her vakanın zehirli yılan ile ısırılma vakası olmadığı anlaşılır. Ayrıca bu durum Tablo 2.de verilen tüketilen antiserum miktarı verileri ile de uyumludur. Pek çok yılan türü ve hatta bacaksız kertenkeleler zehirli oldukları sanılarak görüldükleri yerlerde öldürülürler. Oluşturulacak farkındalık ile besin zincirinde önemli bir yerde bulunan sürüngenlerin azalmasının önüne geçilebilir.

Ayrıca Herpetolog işbirliği ile sağlık çalışanlarına yardımcı olması için Manisa ilinde yaygın olan zehirli yılan türlerinin sağlık kurumlarının ilgili birimlerinde fotoğraf veya kataloglarının bulundurulması ısırılma ile ortaya çıkan rahatsızlığın tedavi sürecine katkı sağlayacağı kanısındayız.

## **Teşekkür**

“Manisa ve Yakın Çevresinde Yaşayan Zehirli Yılanlar ve Temas Yoluyla Oluşan Zehirlenmeler” isimli çalışmaya destek sağlayan Manisa İl Sağlık Müdürlüğü, Personel Hizmetleri Başkanlığı (Eğitim ve Arge Birimi), Halk Sağlığı Hizmetleri Başkanlığı (Aşılı Programları, Bulaşıcı Hastalıklar ve Tüberküloz Birimi) ve Kamu Hastaneleri Hizmetleri Başkanlığına (İzleme Değerlendirme ve Raporlama Birimi) teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

Manisa İl Sağlık Müdürlüğü (2018), Kamu Hastaneleri Hizmetleri Başkanlığı, İzleme Değerlendirme ve Raporlama Birimi.

Manisa İl Sağlık Müdürlüğü (2018), Halk Sağlığı Hizmetleri Başkanlığı, Aşılı Programları, Bulaşıcı Hastalıklar ve Tüberküloz Birimi

Manisa İli Doğa Turizmi Master Planı 2013-2023. (2013). Manisa; Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü IV. Bölge Müdürlüğü.

Akdeniz, E. (2018). İlk Tunç Çağı'nda Manisa Yöresi'nde Yerleşim Dokusu. Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(1), 336-359.

Manisa İli Harita Görüntüsü. ( 2019, 1 Kasım). Erişim Adresi: [https://1.bp.blogspot.com/-al1b6uCU3S8/VwvuYXCnijl/AAAAAAAAfO0/zb3NYdz0424vAqrJgC6szJhZcVkbVoHQw/s1600/manisa\\_ili\\_ilceleri.jpg](https://1.bp.blogspot.com/-al1b6uCU3S8/VwvuYXCnijl/AAAAAAAAfO0/zb3NYdz0424vAqrJgC6szJhZcVkbVoHQw/s1600/manisa_ili_ilceleri.jpg)

Kumlutaş, Y., Durmuş, S.H. ve Ilgaz, Ç. (2000). Yamanlar Dağı ve Karagöl Civarındaki Kurbağa Ve Taksonomisi Ve Ekolojisi. Ekoloji Çevre Dergisi, 10(37), 12-16.

Kumlutaş, Y., Ilgaz, Ç. ve Durmuş, S.H. (2001). Spil Dağı (Manisa) ve Civarının Herpetofaunası: Arazi Çalışmalarının Sonuçları. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2 (1), 63-66

Kumlutaş, Y., Özdemir, A., Ilgaz, Ç. and Tosunoğlu, M. (2004). The amphibian and reptile species of Bozdağ (Ödemiş). Turk. J. Zool. 28, 317-319.

Arslan, D., Oliver, A., Yaşar, Ç., İsmail, İ.B., Döndüren, Ö., Emoul, L., Beck, N. and Çiçek, K. (2018). Distribution and current status of

herpetofauna in the Gediz Delta (Western Anatolia, Turkey). Herpetology notes, 11, 1-15.

Manisa İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. (2018). Manisa; Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.

Koday, Z., Erhan, K. ve Akbaş, F. (2016). Manisa İlinin İdari Coğrafya Analizi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (2), 537-558.

Başoğlu, M., Baran, İ. (1980). *Türkiye sürüngenleri kısım II. yılanlar*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar serisi 81. İzmir.

Tok, C.V., Çiçek, K., Afsar, M. ve Alparslan, C. (2015). Artvin İli Hopa Engereği (*Vipera kaznakovi*) Tür Eylem Planı. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 12. Bölge Müdürlüğü-Artvin Şube Müdürlüğü.

Herpamura. (2019, 12 Ekim) Erişim Adresi: <http://www.herpamura.org/>

Baran, İ., Ilgaz, Ç., Avcı, A., Kumlutaş, Y. ve Olgun Kurtuluş. (2012). *Türkiye amfibi ve sürüngenleri* (4. Basım).Tübitak Popüler Kitapları, Ankara

The Reptile Database?. ( 2019, 16 Ekim). Erişim Adresi: <http://www.reptile-database.org/>

Herptil?. ( 2019, 16 Ekim). Erişim Adresi: <http://www.turkherptil.org/default.asp>

Iucn *Natrix tessellata* ? (2019, 16 Ekim). Erişim Adresi: <https://www.iucnredlist.org/species/157256/5062170>

## EVALUATION OF THE GENETIC EFFECTS OF Nd:YAG AND DIODE LASERS on *CANDIDA ALBICANS* USING RAPD MARKERS

Adnan F. AL-Azzawie<sup>\*1</sup>, Awatef Saber Jasem<sup>2</sup>, Maan H. Salih<sup>3</sup>,  
Marwan A. Abd albaqi<sup>4</sup>, shadman tariq sadiq<sup>5</sup>

<sup>\*1,3,5</sup>Iraq / Tikrit University / College of Science / Department of Biology

<sup>2,4</sup>Iraq / Tikrit University / College of Science / Department of Physics

\*Corresponding author: [adnanmolecular1@gmail.com](mailto:adnanmolecular1@gmail.com)

### Abstract:

**Background:** The spread of *Candida albicans* resistant strains strongly encouraged the search for complementary or alternative therapeutic strategies to cure inflamed patients. The biological effects of laser radiation have not been fully elucidated.

**Aim:** To assess the genetic effects of Nd:yag and Diode lasers with different times and energies on cultures of *Candida albicans* fungi using random amplified polymorphic DNA (RAPD) marker.

**Methods:** Sixty samples of skin swabs and nail cuts were collected from patients attended to Salah al-Din General Hospital of both sexes (34 males and 26 females), aged (1-60) years. The samples were cultured and diagnosed as a *Candida albicans* species. Plates of *Candida albicans* were divided into two groups. Six plates of group one exposed to two durations (20 and 30 seconds) of the Nd:yag laser with a wavelength (530) nm and energy (300, 500, 700) mJ in addition to one plate as a control (unexposed). Three plates from group two were irradiated with a low-density diode laser (5 mW) for (10, 20 and 30 seconds) at distance 20 cm and one plate was used as a control without irradiation. Genomic DNA was extracted from all *Candida albicans* samples, then amplified individually by RAPD markers using five random primers.

**Results:** Variations of RAPD profile were included loss of normal bands and appearance of new bands compared with control. The results were revealed to the exposure of *Candida albicans* to the Nd: yag and Diode lasers with different energies and times had different effects on the DNA and caused significant changes in the RAPD patterns compared with the control group. The diode laser has a greater effect on *Candida albicans* than Nd: yag lasers.

**Conclusion:** Using of Nd: yag and Diode lasers can effect on *Candida albicans* and may lead to mutations, therefore can be used in the treatment of skin fungal infections. and the RAPD marker was efficient in detecting the effects of the laser at the molecular level as a simple, fast and inexpensive technique.

**Keywords:** Laser Nd:YAG and Diode, *Candida albicans*, RAPD marker

## Introduction

*Candida albicans* (*C. albicans*) is the most clinically important fungal human pathogen. In healthy individuals, *C. albicans* exists as a commensal microbial flora harmless without causing disease, however, under certain conditions of immune suppression or any disruption to the host environment, *C. albicans* can cause a serious fungal infection, ranging from non-life-threatening mucocutaneous illnesses to invasive processes that may involve virtually any organ [1,2].

The fungal species of *C. albicans* present with high degree of flexibility, being able to grow in extremely different environments regarding to the availability of nutrients, amount of available oxygen, temperature variation, osmolarity, and pH [3] The pathogenesis of *C. albicans* is not well understood, and the rate of infections is rapidly increasing [4] Currently, researchers do not have an ideal antifungal which would be able to eradicate candidiasis due to increasing resistance of *C. albicans* to common antifungal drugs. This phenomenon represents a serious challenge for modern medicine. Therefore, the development of new strategies for management of fungal diseases persists as a major challenge of present-day medicine [5].

Today, the development of laser has provided a various application in medicine capable of damaging pathogenic organisms. Laser therapy is safe, effective, and easy to use and its spectrum of activity covers fungi, bacteria and viruses, [6]. In addition, laser therapy is used to change tissue metabolism, which accelerates wound healing, eradicates infectious organisms, and decreases pain and inflammation [7,8] Generally, studies have found that laser irradiation may enhance, inhibit or have no effect on the function of cells. Many researchers' studies evaluated the efficacy of laser on *C. albicans* at level of growth and phenotypic colony in vitro [9,10,11,12]. while some studies assessed the effect of laser in vivo and vitro [5,14]. The current study used Nd:Yag and Diode lasers to evaluate DNA damage of *C. albicans* in vitro. To detect changes at the DNA levels, DNA markers have been used, random amplified polymorphic DNA (RAPD) is of most important markers that has been commonly.

Many researchers have used the RAPD marker extensively to evaluate the DNA damage, which, is of great importance for its widespread use. It is practically simple, relatively inexpensive, fast and gives a large number of bands of the DNA sample [15]. Change in the RAPD marker pattern after treatment or exposure to mutagenic material represents the change in intensity and the loss or appearance of new bands by comparing the RAPD profile of the non-exposed and treated or exposed samples [16].

The aim of this study is to assess the genetic effects of Nd:YAG and Diode lasers with different times and energies on cultures of *C. albicans* fungi using random amplified polymorphic DNA (RAPD) marker.

## **Materials and Methods.**

### **Isolate and diagnose fungi**

Between October 2017 and January 2018, 60 samples were collected from patients of 1-60 age group who consulted the dermatologists at Salaheddin General Hospital. The initial diagnosis was carried out by the hospital's dermatologists. Samples from superficial infections of the skin, nails and hair were taken to culture on Petri dish containing sterilized medium (Sabouraud dextrose agar cyclohexamide chloromphenicol) and incubated at a temperature (25-28 °C) for a period of (14-20) days, examined and observed every (3-4) days with the continuous purification of isolates and then identified morphologically and microscopically for diagnosis.

### **Irradiated of sample**

Portion of *C. albicans* colony was taken by a 7mm diameter flange hole and placed in a new petri dish, then samples were divided into two groups to be irradiated. Nd: YAG laser was used to irradiate the first group with three levels of energy dose (300,500,700) mJ / cm<sup>2</sup>, and 6Hz frequency, and two periods 20 and 30 sec, while Diode laser was used to irradiate the second group with a power of 5Mw for three periods (10,20,30) sec.

### **Isolation of DNA**

DNA isolation from control and irradiated samples after leaving irradiated *C. albicans* to grow for one generation (14-20) according to the method mentioned [17]. DNA integrity was assessed by using electrophoresis, the purity and concentration of DNA was estimated using Nanodrop. For RAPD-PCR reactions, to obtain a concentration (25ng) per microliter DNA was diluted.

### **Preparation of RAPD reactions**

Reactions of RAPD were prepared according to [18] using five arbitrary primers (Table 1) shows the AccuPower PCR premix Kit prepared by Korean Bioneer and according to the attached instructions.

**Table (1): Names and sequences of arbitrary primers used.**

No.	Primer name	Sequence 5 to 3	No.	Primer name	Sequence 5 to 3
1	OP G-05	CTGAGACGGA	4	OP Q-02	TCTGTCGGTC
2	OP J-01	CCCGGCATAA	5	OP V-20	CAGCATGGTC
3	OP P-04	GTGTCTCAGG			

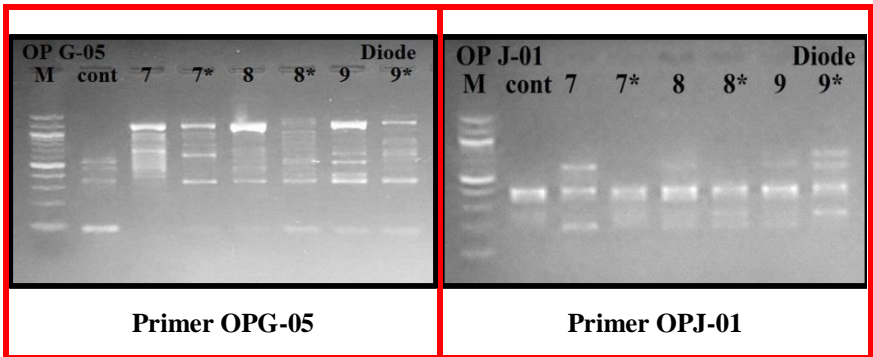
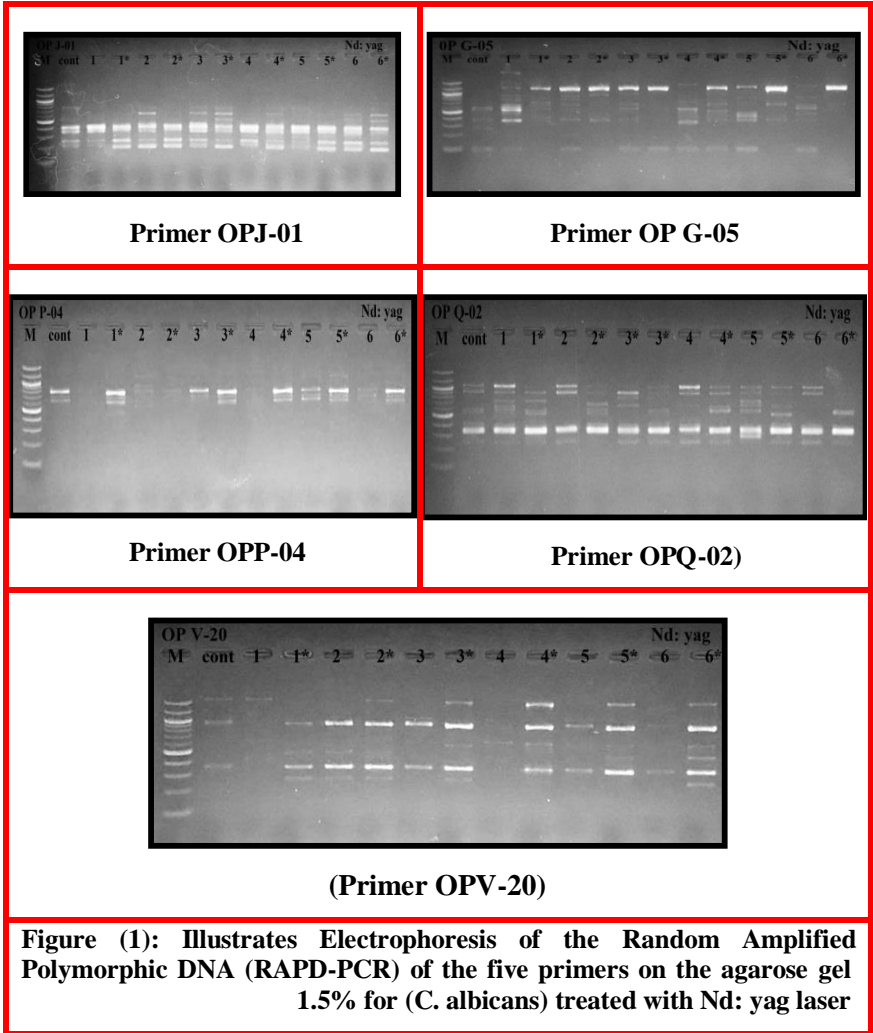
For PCR reaction, the basic components were contained in a test tube of (0.2 ml). Four ul (total 100 ng) of genomic DNA and one ul (10-picomole) of arbitrary primer was added to the tube, the remainder volume was filled up with distilled water to 20 µl, mixing the reaction components well and then put the tubes in the thermocycler. The amplification program begins with a denaturation cycle for 5 minutes at 94°C, followed by 40 cycles, each cycle run at 94°C for 30 seconds, 36°C for 45 seconds and 72°C for 7 minutes; and a final elongation cycle was performed at 72°C for 7 minutes. Agarose gel was prepared with a 2% concentration and then add 5 ul of Red Save dye before pouring the gel. The RADP products were loaded with the DNA Ladder for 90 minutes by 3 volts / cm, then the gel was examined under UV-light and images were obtained using the Gel Documentation System [19].

### Recording RAPD results

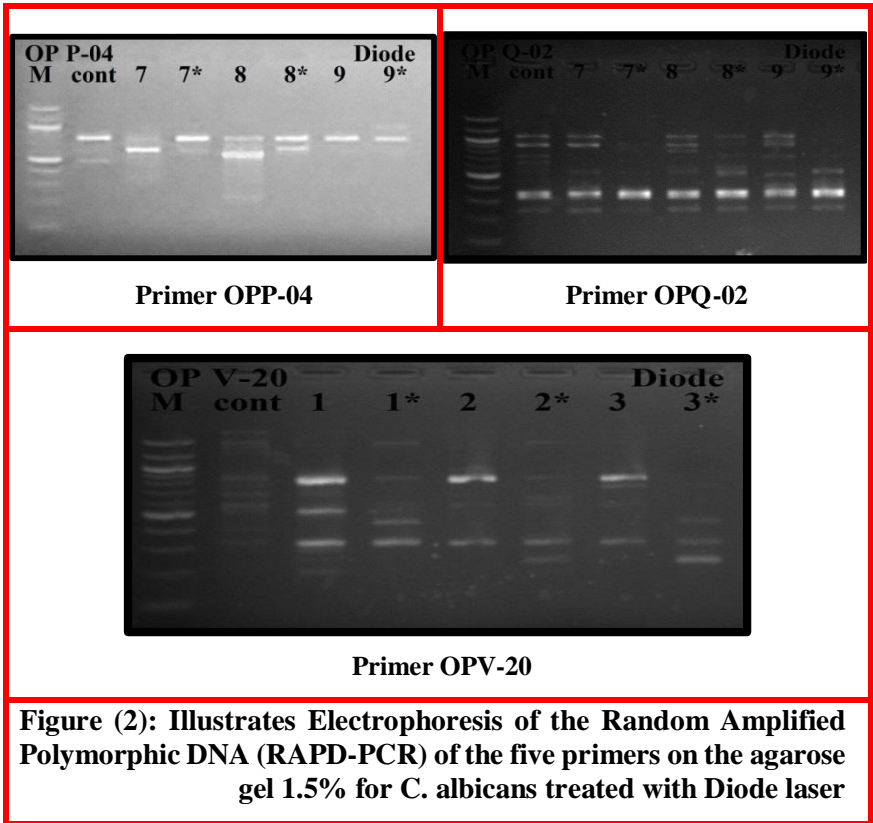
Total bands detail were recorded by examining the images of each primer electrophoresis and recording the all bands details and then comparing the results of the laser treatment samples with the control group based on the appearance of new bands or the disappearance of existing band.in table (2,3).

### Results and discussion

The results of the RAPD obtained from five primers were analyzed separately by comparing the results of irradiated samples with control samples (non-irradiated) based on the disappearance of bands within the control group or the emergence of new bands of laser-exposed fungus resulting from the multiplication of certain sites on the fungus DNA used and on the molecular weight of bands that depend on the number and sites of the sequence of each primer on the template DNA. Figures (1,2) show products of RAPD PCR after electrophoresis in gel arose. In Table (2,3), The mark (+) For the appearance of a new link site (band) and the mark (-) for the absence of a previously existing site.







**Table (2): Show the number and molecular weight of visible and absent bands and the percentage of polymorphism of RAPD pattern for fungus and *C. albicans* exposed to Nd: yag laser cards at different times**

Primer names	Number of sites			No. of sites for control group	Energy and exposure time											
	Total bands	Immediately after exposure	A generation later		T \ 20 sec.		T \ 20 sec.		T \ 20 sec.		T \ 30 sec.		T \ 30 sec.		T \ 30 sec.	
					E\ 300 mj		E\ 500 mj		E\ 700 mj		E\ 300 mj		E\ 500 mj		E\ 700 mj	
					a (+)	d (-)	a (+)	d (-)	a (+)	d (-)	a (+)	d (-)	a (+)	d (-)	a (+)	d (-)
OP G-05	53	30	19	4	1400 , 1100 900 , 800 1100 , 700	270 370 , 100	1100 , 900 800 , 700 1100 , 900	590 , 270 590 , 270 100	1100, 700 600, 1100	370,270 590,370 270	1150 , 800 1100 , 600, 500	270 370 , 270	1100 , 450 350 1100 , 700	590 , 270 590 , 270 100	1100 , 900 450 1100	290 590, 370 270, 100
OP J-01	65	30	30	5	-	790, 210	650	790, 790	650 650 , 550	-	220, 550	790 , 210 790	270	790 790	1000,1100 1000,1100	790 790
OP P-04	20	6	12	2	-	800, 650	1100, 900	650, 650	-	650	-	800, 650	1100, 720	-	-	650
OP Q-02	56	28	23	5	720 720, 250	-	700	570 , 1050 900, 250	800 , 650	1050, 570 1050, 900	-	570	700, 290 500	250 900, 570	-	570, 1050 900, 250
OP V-20	44	13	28	3	500, 290	1000, 390 1220	500, 290 290	1220	600 , 290	1220	620 600	1220, 1000 390	600, 420	1220	600, 420 290	1220, 1000
<b>Total</b>	<b>238</b>	<b>107</b>	<b>112</b>	<b>19</b>	5+6=11	6+4=10	9+4=13	6+8=14	6+5=11	6+5=11	4+5=9	9+3=12	7+6=13	5+6=11	5+6=11	7+7=14
<b>Total of different bands</b>	-	-	-	-	10 , 11		12 , 15		10 , 12		8 , 13		12 , 12		13 , 12	
<b>% Polymorphism</b>	-	-	-	-	57.9%	52.6%	78.8%	63.1%	63.1%	52.6%	68.4%	42.1%	63.1%	63.1%	63.9%	68.4%

The black colored number indicates the location of the band at direct exposure, and the red colored number indicates the band location after a generation. d= disappearance , a= appearance

Table (2) shows a number of sites visible to each individual primer, which includes control sample sites and direct exposure, In addition to a number of identical packets and the ratio of polymorphisms for each transaction, where the largest number of different packets was the treatment time of 20 sec and the card 500 mJ, where the number after direct exposure 15 sites by 78% and 12 sites of samples after a generation of 63.1%.

**Table (3): Show the number and molecular weight of visible and absent bands and the percentage of polymorphism of RAPD pattern for *C. albicans* exposed to laser diode cards at different times**

Primer name	Number of sites			No. of sites for control group	Energy and exposure time					
	Total bands	Immediately after exposure	A generation later		T \ 10 sec. E\ 5 mw.s		T \ 20 sec. E\ 5 mw.s		T \ 30 sec. E\ 5 mw.s	
					a (+)	d (-)	a (+)	d (-)	a (+)	d (-)
OP G-05	35	15	16	4	1100,1000,600 1100,800,700	520, 350, 90 520 , 490 ,90	1100, 600 1100,600,390	520 , 90 490	1100,600,390 1100,800,600	420 490,520
OP J-01	27	13	12	2	650, 200	390	650, 200 250, 200	390	650, 250,200 700, 650, 250	390
OP P-04	13	6	5	2	600	500 500	600, 200 600	500 500	1000	500 500
OP Q-02	29	15	8	6	600	710, 650, 1050 900, 710, 650	800, 520 520	710, 650 650	490 520	650, 1050,900 710, 650
OP V-20	32	12	13	7	500, 200 450	1300,1200,550,400, 1300,650 550, 400	250	1300,1200, 650 400,1300,760 400	650 450, 250	1300,1200,650 400,1300,1200 850,650,550, 400
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>61</b>	<b>54</b>	<b>21</b>	9+4=13	11+12=23	8+8=16	9+7=16	8+10=18	7+14=21
<b>Total of different bands</b>	-	-	-	-	<b>16 , 20</b>		<b>15 , 17</b>		<b>24 , 15</b>	
<b>% Polymorphism</b>	-	-	-	-	<b>95.2%</b>	<b>76.1%</b>	<b>80.9%</b>	<b>71.4%</b>	<b>71.4%</b>	<b>114.2%</b>

The black colored number indicates the location of the band at direct exposure, and the red colored number indicates the band location after a generation. d= disappearance, a= appearance

Table (3) shows a detail results for each primer, which includes control sample sites and direct exposure. the largest number of polymorphic bands was the expose dose 5mW at 30 sec., where the number after direct exposure 15 sites by 71.4% and 24 sites of samples after a generation of 114.2%.

Depending on primer sequence, the results show variation in number of bands ,therefore the primer OP G-05 produce (88) bands, the primer OP J-01 produce (92) bands, the primer OP P-04 produce (33) bands, The primer OP Q-04 produce (85) bands, and the primer OP V-20 produce (76) bands as a total number of samples which were treated directly and indicated in the image (number without the mark (\*)) and the samples after the passage of the generation and the reference (number with the marker (\*)) with control samples for both lasers used in this study as shown in Figure (1) for the Nd: yag and Figure (2) of the Diode laser and in table (2) for the Nd: yag laser and Table (3) for the Diode laser.

In Table (2), A total number of visible and lost bands (red numbers) after expose to Nd: yag laser produce (55) bands was (22) bands appeared and (23) bands disappeared, the highest effect on DNA occurred at (500) mJ and after an exposure time of 20s. while in Table (3) the total number of visible and lost bands (red number) after expose to Diode laser (65) bands was (32) bands appeared and (33) bands disappeared, the highest effect on DNA was at 5 mw and an exposure time of 30 sec. in general. this effect expressed in the disappearance of a specific band after generation that was present only in the control sample or in the control sample and in the directly treated sample.

It can be observed from the results that Diode laser is more effective on the *C.albicans* than of the Nd: yag laser depending on the number of missing bands of the irradiated samples, Which is the desired effect by the transference of the effect of treatment to the next generation taking into account the number of transactions per laser where the number of transactions in the laser Nd: yag (6) parameters and the laser diode (3) transactions. The effect on the *C.albicans* genome after exposure to laser directly and after a generation indicates the efficiency of the laser used to influence the fungus used as shown in previous figures and tables.

The differences in RAPD patterns refer to missing of exist bands and appearance of new bands as compared with the control confirmed that the exposure of the *C.albicans* to the laser resulted in different events of the genome. Many events may be led to lost bands such as: genomic rearrangements or point mutations changes in oligonucleotide priming sites, DNA damage in the primer binding sites; and interactions of DNA polymerase in the test organism with damaged DNA [20]. the appearance

of new bands after laser treatment occurs because some oligonucleotide priming sites could become suitable for the association of primers because some events such as: structural changes or because some changes in the DNA sequence have occurred due to mutations, large deletions, homologous recombination, genomic template instability related to the level of DNA damage, the efficiency of DNA repair and replication [21]. In addition, genetic influence or changes, such as mutation, do not occur only because of a change in the sequence of nucleotides, since chromosome and transposon proteins in DNA can also be inherited [22].

The Laser therapy is a physical episodic factor that separates or dissociates water molecules leads to the formation of singlet oxygen and free radicals that cause oxidation cracking (oxidative damage) [23,24], Free radicals that are liberated, interact with biomolecules and remove electrons from the DNA, resulting in a break down in the structure of DNA. During polymerase chain reaction (PCR) when the polymerase enzyme (Taq polymerase) is met with DNA crusher this will close the link sites, which means that the enzyme cannot bind which means loss of sites existed before exposure to radiation. The other effect of radiation is that it affects in activity of major enzymes, Cell regulation, programmed apoptosis, and DNA and RNA synthesis and cell division [25,26]. This therapy is based on the interaction of a light with a photosensitizer which, in the presence of oxygen, leads to the formation of singlet oxygen and free radicals that are cytotoxic to microorganisms.

In conclusions, using of Nd: yag and Diode lasers can effect on *C. albicans* and may lead to mutations, therefore can be used in the treatment of skin fungal infections. and the RAPD marker was efficient in detecting the effects of the laser at the molecular level as a simple, fast and inexpensive technique.

## References

1. Calderone, R. A., & Clancy, C. J. (Eds.). (2011). *Candida and candidiasis*. American Society for Microbiology Press.
2. Kauffman, C. A. (2006). Fungal infections. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 3(1), 35-40.
3. Paramythiotou, E., Frantzeskaki, F., Flevvari, A., Armaganidis, A., & Dimopoulos, G. (2014). Invasive fungal infections in the ICU: how to approach, how to treat. *Molecules*, 19(1), 1085-1119.
4. de Oliveira Santos, G. C., Vasconcelos, C. C., Lopes, A. J., de Sousa Cartágenes, M. D. S., Allan Filho, K. D. B., do Nascimento, F. R., ... & de Andrade Monteiro, C. (2018). *Candida infections and therapeutic*

- strategies: mechanisms of action for traditional and alternative agents. *Frontiers in microbiology*, 9, 1351.
5. Seyedmousavi, S., Hashemi, S. J., Rezaie, S., Fateh, M., Djavid, G. E., Zibafar, E., ... & Ataie-Fashtami, L. (2014). Effects of low-level laser irradiation on the pathogenicity of *Candida albicans*: in vitro and in vivo study. *Photomedicine and laser surgery*, 32(6), 322-329.
  6. Wainwright, M., Maisch, T., Nonell, S., Plaetzer, K., Almeida, A., Tegos, G. P., & Hamblin, M. R. (2017). Photoantimicrobials—are we afraid of the light?. *The Lancet Infectious Diseases*, 17(2), e49-e55.
  7. Carneiro, V. S. M., Araújo, N. C., de Menezes, R. F., Moreno, L. M., dos Pereira Santos-Neto, A., & Gerbi, M. E. M. (2016, March). Effect of Low-Level Laser therapy on the fungal proliferation of *Candida albicans*. In *Mechanisms of Photobiomodulation Therapy XI* (Vol. 9695, p. 96950P). International Society for Optics and Photonics.
  8. Basso, F. G., Oliveira, C. F., Fontana, A., Kurachi, C., Bagnato, V. S., Spolidório, D. M., ... & Costa, C. A. (2011). In vitro effect of low-level laser therapy on typical oral microbial biofilms. *Brazilian dental journal*, 22(6), 502-510.
  9. Fumes, A. C., Romualdo, P. C., Monteiro, R. M., Watanabe, E., Corona, S. A. M., & Borsatto, M. C. (2018). Influence of pre-irradiation time employed in antimicrobial photodynamic therapy with diode laser. *Lasers in medical science*, 33(1), 67-73.
  10. Najafi, S., Sheykhbahaei, N., & Gholizadeh, N. (2019). The effect of low level laser on number of *Candida albicans* colonies in-vitro: a new finding. *BMC oral health*, 19(1), 104.
  11. Grzech-Leśniak, K., Nowicka, J., Pajęczkowska, M., Matys, J., Szymonowicz, M., Kurocka, P., ... & Dominiak, M. (2019). Effects of Nd: YAG laser irradiation on the growth of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*: in vitro study. *Lasers in medical science*, 34(1), 129-137.
  12. Wiench, R., Skaba, D., Stefanik, N., Kępa, M., Gilowski, Ł., Cieślak, G., & Kawczyk-Krupka, A. (2019). Assessment of sensitivity of selected *Candida* strains on antimicrobial photodynamic therapy using diode laser 635 nm and toluidine blue—in vitro research. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*.
  13. Kasić, S., Knezović, M., Belder, N., Gabrić, D., Malčić, A. I., & Baraba, A. (2017). Efficacy of three different lasers on eradication of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* biofilms in root canal system. *Photomedicine and laser surgery*, 35(7), 372-377.
  14. Weigand, F., Baum, M., & Udupa, S. (1993). DNA molecular marker techniques. Technical Manual No. 20. ICARDA.
  15. Rai, A. R., Meshram, S. U., & Dongre, A. B. (2009). Optimization of RAPD-PCR for discrimination of different strains of *Bacillus thuringiensis*. *Romanian Biotechnological Letters*, 14(2), 4307-4312.

16. Karthikeyan, V., Patharajan, S., Palani, P., & Spadaro, D. (2010). Modified Simple Protocol for Efficient Fungal DNA Extraction Highly. *Global Journal of Molecular Sciences*, 5(1), 37-42.
17. Williams, J. G., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., & Tingey, S. V. (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic acids research*, 18(22), 6531-6535.
18. Sambrook, J., & Russell, D. W. (2001). *Molecular cloning: A laboratory manual*, the third edition.
19. Liu, W., Li, P. J., Qi, X. M., Zhou, Q. X., Zheng, L., Sun, T. H., & Yang, Y. S. (2005). DNA changes in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings induced by cadmium pollution using RAPD analysis. *Chemosphere*, 61(2), 158-167.
20. Atienzar, F. A., Conradi, M., Evenden, A. J., Jha, A. N., & Depledge, M. H. (1999). Qualitative assessment of genotoxicity using random amplified polymorphic DNA: comparison of genomic template stability with key fitness parameters in *Daphnia magna* exposed to benzo [a] pyrene. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(10), 2275-2282.
21. Martienssen, R. A., & Colot, V. (2001). DNA methylation and epigenetic inheritance in plants and filamentous fungi. *Science*, 293(5532), 1070-1074.
22. Atienzar, F. A., & Jha, A. N. (2006). The random amplified polymorphic DNA (RAPD) assay and related techniques applied to genotoxicity and carcinogenesis studies: a critical review. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 613(2-3), 76-102.
23. Soukos, N. S., & Goodson, J. M. (2011). Photodynamic therapy in the control of oral biofilms. *Periodontology 2000*, 55(1), 143-166.
24. Hadrys, H.; Balick, M. and Schierwater, B. (1992). Applications of random amplified polymorphic DNA (RAPD) in molecular ecology. *Molecular ecology*, 1(1): 55-63.
25. Ahmad, M. Khalila; Ahmad, M. and Alshamali, B. (2010). No significant Cytogenetic Effects in Cultured Human Lymphocytes Exposed to Cell Phones Radiofrequencies (900MHz and 1800MHz). *Jordan Journal of Biological Sciences*. 3(1): 21 – 28.

**CHEMISTRY/ KİMYA**



# TRİS(2-(((E)-FURAN-2-İLMETİLEN)AMİNO)ETİL)AMİN LİGANDININ TEORİK KARAKTERİZASYONU

Gühergül ULUÇAM\* & Saban AKTAS\*\* & Şevket Erol OKAN\*\*\*

\*Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, gulergul@trakya.edu.tr,

\*\*Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, sabana@trakya.edu.tr,

\*\*\*Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, erolokan@trakya.edu.tr

**Özet:** Heterosiklik ligandların biyolojik ve fizyolojik aktiviteleri önemli araştırma alanlarıdır. Bu ligandlar birçok doğal maddenin bileşenleri olduğundan, sentezleri yeni ürünlerin elde edilmesini sağlar. Sentezlenecek ligandların teorik olarak incelenmesi, uygun deney koşullarının belirlenmesi ve olası deneysel hatalara karşı önlem alınması için gereklidir. Dahası, teorik hesaplamalar kararsız molekülleri ve bunların ara hallerini modelleyerek, deneysel olarak gözlemlenemeyen molekülleri ve reaksiyon mekanizmalarını simüle etme olanağı verir. N<sub>4</sub>O<sub>3</sub> verici atomlu yeni bir tripod ligandı, ismen tris(2-(((E)-furan-2-ilmetilen)amino)etil)amin, yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak simüle edildi. Gaussian G09w paket programında temel set olarak B3LYP/6-311G ++ (2d, p) kullanıldı. Ligandın geometrisi minimize edildikten sonra, NMR spektrumu ve FT-IR spektrumu da bulunan yapı üzerinden hesaplandı. Bağ uzunlukları, bağ açıları, ligandın dihedral açıları ile moleküler elektrostatik potansiyel haritası, Mulliken atom yükleri, dipol momentleri, en yüksek işgal edilen moleküler orbital ve en düşük boş moleküler orbital enerjileri belirlendi. Tripod ligandın üç metal iyonuyla koordinasyon bağları oluşturması beklenebilir. Bu nedenle, ligand metal iyon taşıyıcısı veya yakalayıcısı olmak için iyi bir adaydır.

**Anahtar Kelimeler:** Furan, tripod, YFT/B3LYP, Gaussian 09w.

## Giriş

O, N ve S heterohalkalı moleküller ve bunların ligand olarak kullanımları, özellikle bakteri mücadelesinde gösterdikleri biyolojik fonksiyonları nedeniyle önemlidir (Borisova, Reshetova, & Ustynyuk, 2007; Maity, G. B. Drew, F. Godsell, Roy, & Mukhopadhyay, 2009; Pui et al., 2011). Söz konusu moleküller farklı verici atomlara sahip olması nedeniyle birçok geçiş metali ile ligand fonksiyonu görerek kompleksler yapabildiklerinden daha geniş kullanım alanlarına sahip olabilmektedirler (Boghaei & Mohebi, 2002; Mihai, Negoiu, & Bondarev, 2009; Yaul, Pethe, Deshmukh, & Aswar, 2013).

Genel anlamda, bu tür molekül veya ligandların sentezlenmeye geçmeden önce teorik olarak modellenmesi ilgili reaksiyon mekanizmalarının şekillendirilmesi açısından faydalıdır. Molekül kararsız olsa bile teorik olarak şekillendirilebilir. Molekülün oluşumu gerçekleştirilmeden templat

yöntemi kullanıldığında hedeflenen komplekslerin bileşiminde ligand olarak görev alabilirler. Bu durumda teorik olarak molekülün biçimlendirilmesi ve sentezlenmişçesine incelenmesi mümkündür. Öte yandan bir molekülün geometrik yapısının ya da atomlarının birbirlerine göre konumlarının deneysel olarak belirlenmesi ancak kristal oluşumuna gereksinim duyan X-ışını difraksiyon yöntemiyle belirlenebilmektedir. Bir kimyasalın her zaman kristal formunda elde edilemeyeceği göz önüne alındığında molekülün teorik eldesinin faydalı olacağı açıktır. Çünkü teorik olarak elde edilen molekülün hesaplanabilen NMR, FT-IR ve UV spektrumları ile aynı deneysel spektrumlar karşılaştırılarak molekülün doğrulanması mümkün olmaktadır (Al-Otaibi & Al-Wabli, 2015; G. Ulucam & Turkyilmaz, 2018; Uluçam, Okan, Aktaş, & Öğretmen, 2015).

Gaussian hesaplamalar kimya ile ilgili yerleşmiş veya yeni gelişmekte olan ilgi alanlarında araştırma yapmak için kullanılır. Moleküller üzerinde çalışmak ve deneysel olarak incelenmesi imkânsız veya çok zor olan bileşikler de içeren potansiyel reaksiyonları betimlemek için faydalıdır. Bu bağlamda  $N_4O_3$  donör atoma sahip tris(2-(((E)-furan-2-ilmelen)amino)etil)amin olarak isimlendirilebilecek bir tripodal ligandın geometrik yapısı teorik olarak aydınlatılmış ve ayrıca optik, geometrik ve kimyasal özellikleri hesaplanmıştır.

## **Materyal ve Yöntem**

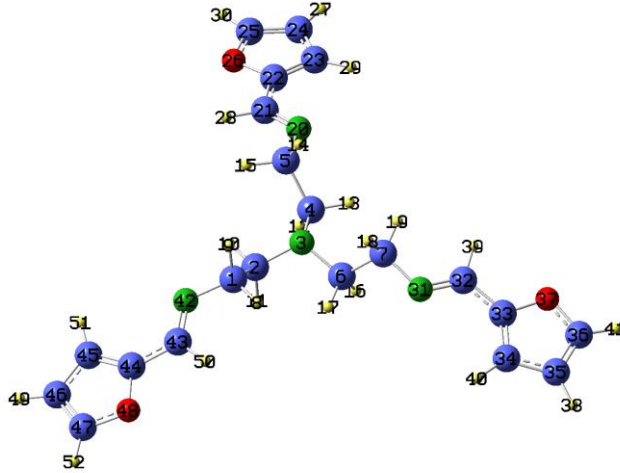
### **Teorik Yöntem**

Tüm hesaplamalar Gaussian G09w paket programında gerçekleştirildi. Becke'nin üç parametrelili hibrid değişen fonksiyoneli ve Lee-Yang-Parr'ın korelasyon fonksiyoneli ile oluşan B3LYP teorisi kullanılarak 6-311G ++ (2d, p) baz seti ile molekül geometrisi ve enerjisinin minimizasyonu yapıldı (Foresman & Frisch, 1996; Turkyilmaz, Uluçam, Aktaş, & Okan, 2017; G. Ulucam & Turkyilmaz, 2018; Zamian & Dockal, 1996). NMR ve FT-IR spektrumları, aynı metot ve baz seti kullanılarak optimize edilmiş geometriler üzerinden hesaplandı. GIAO metodu, teorik  $^1H$ - ve  $^{13}C$ -NMR spektrumlarının elde edilmesinde kullanıldı. FT-IR spektrumu titreşim frekans değerleri, teorik hataları gidermek için 0,9613 değeri ile çarpılarak, düzeltildi (Al-Otaibi & Al-Wabli, 2015). Ligand bağ uzunlukları, bağ açıları, dihedral açıları teorik model üzerinde belirlendi ve HOMO-LUMO enerjileri hesaplandı. Ayrıca, moleküler elektrostatik potansiyel haritası (MEP), Mulliken atomik yükleri, moleküler dipol momentleri belirlendi.

## Bulgular

### Moleküler Geometri

Ligandın gaz fazında teorik olarak hesaplanan en düşük enerjiye sahip minimize yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir. Ligandın toplam enerjisi - 1259,59811731 au hesaplanırken dipol momenti 1,2290 Debye bulunmaktadır. Molekülün simetrisi yüksek bir simetriye sahip C3 grubu olarak belirlenmektedir.



Şekil 1. Ligandın teorik olarak hesaplanan en düşük enerjiye sahip uygun yapısı...

Ligandın atomları arasındaki bağ uzunlukları Tablo 1, önemli bağ açıları ve dihedral açıları ise Tablo 2 ile gösterilmektedir. Ligand, simetrik bir yapıya sahip olduğundan, bu simetrinin tek bir ayağına ait veriler söz konusu tablolarda yer almaktadır.

**Tablo 1.** Ligandın atomlar arası bağ uzunlukları

Bağ uzunlukları (Å)	Bağ uzunlukları (Å)
N3-C2	1,464
C2-C1	1,533
C1-N42	1,450
N42-C43	1,269
C43-C44	1,447
C44-C45	1,365
C45-C46	1,423
C46-C47	1,360
C47-O48	1,355
O48-C44	1,373

**Tablo 2.** Ligandın atomları arasındaki bağ açıları ve dihedral açılar

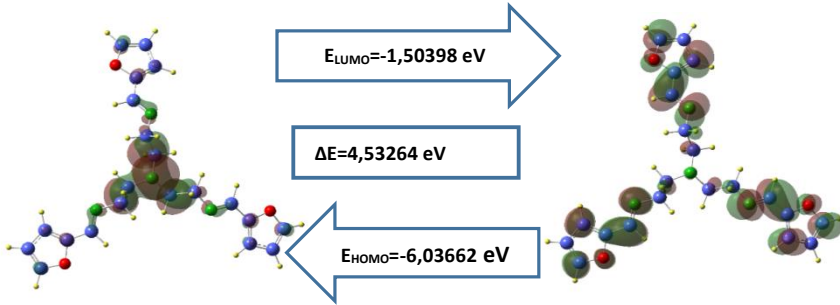
Bağ Açıları (°)		Dihedral Açılar (°)	
N3-C2-C1	112,48	N3-C2-C1-N42	176,23
C2-C1-N42	110,10	C2-C1-N42-C43	124,41
C1-N42-C43	118,25	C1-N42-C43-C44	179,97
N42-C43-C44	122,44	N42-C43-C44-O48	-179,98
C43-C44-O48	116,04	C43-C44-O48-C47	-179,94

Liganttaki N42-C43 imin bağı uzunluğu olan 1,269 Å, daha önce N,N'-(etan-1,2-diilbis(4,1-fenilene))bis(1-(tiyofen-2-il)metanimin) molekülünde hesaplanan 1,276 Å imin bağı uzunluğu değeriyle uyumludur (Guhergul Ulucam & Yenturk, 2019). Beşli halkadaki 1,360 Å çift bağı karbon-karbon uzunluğu ile 1,423 Å tek bağı uzunluğu adı geçen son çalışmadaki sırasıyla 1,375 Å ve 1,416 Å uzunlukları ile eşdeğerdir.

Aynı şekilde 1,533 Å olarak belirlenen alifatik karbon-karbon bağı uzunluğu 1,3-bis(asetamit)imidazol-3-ium bromit molekülünde XRD sonucu olan 1,537 Å ile aynıdır (Uluçam et al., 2015). Dihedral açıları liganda düzlemsel olmaktan çok bir çanak anten biçimi kazandırmaktadır.

### Moleküler Yörünge Analizleri ve Elektronik Özellikler

HOMO ve LUMO olarak kısaltılan öncü moleküler orbital enerjileri bir molekülün elektronik ve optik özelliklerinin saptanmasında büyük bir rol oynar. HOMO-LUMO düzeyleri arasındaki enerji farkı moleküler yörünge dağılımları ile birlikte Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu iki moleküler orbital arasındaki enerji farkı ne kadar az ise molekül o kadar polarizedir. Enerji farkının büyük olması molekülün reaksiyon verme yeteneğinin düşük olduğunun göstergesidir.

**Şekil 2.** HOMO ve LUMO üç boyutlu gösterimleri ve enerji değerleri...

Molekülün elektron verme yeteneğini ifade eden HOMO enerjisi - 6.03662 eV, elektron çekme yetisini temsil eden LUMO enerjisi -1,50398 eV iken, bu verilere göre enerji aralığı 4,53264 eV bulunmaktadır. Enerji aralığının küçük olması molekülün formasyonunu kolaylaştırıcı olmasını sağlamaktadır (Singaravelan, Chandramohan, Madhankumar, Enoch, & Vinitha, 2019).

HOMO ve LUMO enerjileri ile ilişkili olarak, molekülün elektronik özellikleri iyonizasyon potansiyeli IP, elektron afinitesi EA, ligandın elektronegativitesi  $\chi$ , kimyasal potansiyel  $\mu$ , kimyasal sertlik  $\eta$ , kimyasal yumuşaklık  $\sigma$  ve elektrofilisite indisi  $\omega$  elde edilerek Tablo 3’ de listelenmiştir (Altürk, Avcı, Tamer, & Atalay, 2018).

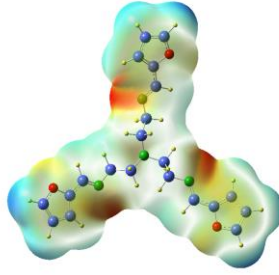
**Tablo 3.** Ligandın elektronik yapı değerleri

IP (eV)	6,03662
EA (eV)	1,50398
$\chi$ (eV)	3,7703
$\mu$ (eV)	-3,7703
$\eta$ (eV)	2,26632
$\sigma$ (eV <sup>-1</sup> )	0,22061
$\omega$ (eV)	3,13617

Tablo 3’de verilen sonuçlar kristal formda elde edilen 1, 3, 5-trifenilbenzen molekülü için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında Manikandan vd., (2019) çok farklı moleküller olmasına rağmen elektronik özellikler tris(2-((E)-furan-2-ilmetlen)amino)etilamin ile sayısal olarak birbirine çok yakındır. Ancak, biyolojik aktiviteyi gösteren  $\omega=3,13617$  eV değeri elektrofilisite indisi  $\omega=2,931$  eV olan 1, 3, 5-trifenilbenzene göre daha büyüktür. Aynı durum kimyasal reaktivitenin bir ölçüsü olan kimyasal yumuşaklık  $\sigma$  parametresi için de geçerlidir.

### Moleküler Elektrostatik Potansiyel Yüzeyi

Moleküler elektrostatik potansiyel harita (MEP) ligandlara ait pozitif ve negatif bölgelerinin belirlenmesinde kullanılır. Ligandın MEP haritası Şekil 3’de gösterilmektedir. Haritada kırmızı bölgeler kısmi negatif yükü, mavi bölgeler ise kısmi pozitif yükü ifade eder. Az elektron içeren bölgeler sarı ile gösterilirken nötral bölgeler yeşil ile gösterilir.

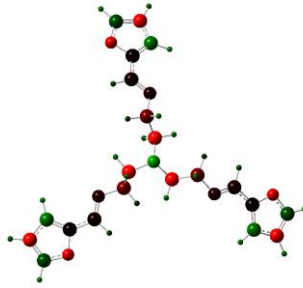


**Şekil 3.** Ligandın moleküler elektrostatik potansiyel haritası.

Ligandın yukarıda gösterilen MEP haritasında elektronik potansiyel yüzeylerinin renk kodları  $-3,534 e^{-2}$  (kırmızı) ile  $3,534 e^{-2}$  (mavi) arasında değişmektedir. Buna göre metallerle etkileşmelerde bağlanmanın geometrik yeri ve enerjisi kırmızı bölgeler tarafından belirlenmektedir.

#### **Mulliken Atomik Yük Dağılımı**

Bir moleküldeki elektron dağılımı Mulliken atomik yük dağılımı tarafından da belirlenir. İncelenen molekülün Mulliken dağılımı Şekil 4 de gösterilmektedir. Renk kodlarına kırmızı renk en büyük negatif yük olan  $-0,440$  gösterirken, yeşil renk  $0,440$  pozitif yükü kodlamaktadır. Yapılanma da azotlarla bağlı olan karbon atomları azotlarla en negatif merkezler olarak görülmektedir.

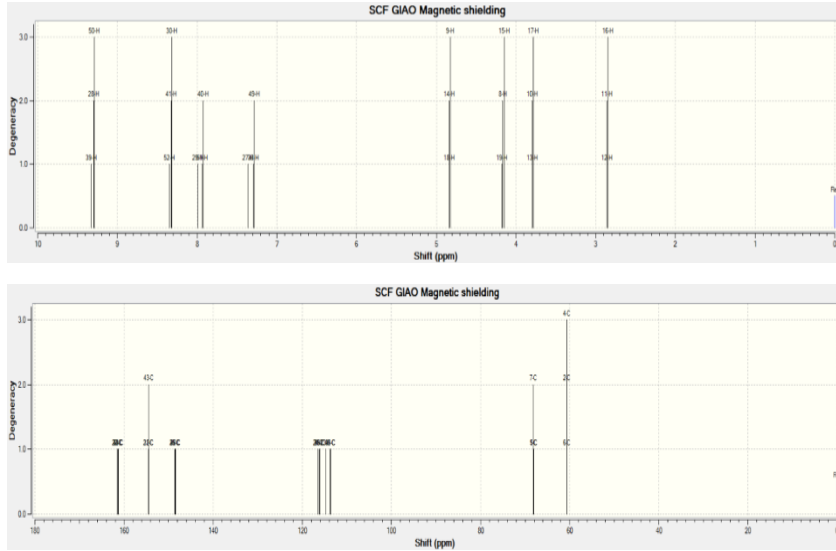


**Şekil 4.** Ligandın Mulliken atomik yükleri

#### **$^{13}\text{C}$ -NMR ve $^1\text{H}$ -NMR Spektrumları**

GIAO metodu, teorik  $^1\text{H}$ - ve  $^{13}\text{C}$ -NMR kimyasal kaymalarının elde edilmesinde kullanıldı. Ligand için  $^1\text{H}$ - ve  $^{13}\text{C}$ -NMR spektrumları sırasıyla Şekil 5a ve Şekil 5b de, hesaplanan kimyasal kayma değerleri

ise Tablo 4. de gösterildi. Ligand, simetrik bir yapıya sahip olduğundan, bu simetrimin tek bir parçasına ait veriler tablolarda yer almaktadır.



Şekil 5. Ligand için  $^1\text{H}$ - ve  $^{13}\text{C}$ -NMR spektrumları

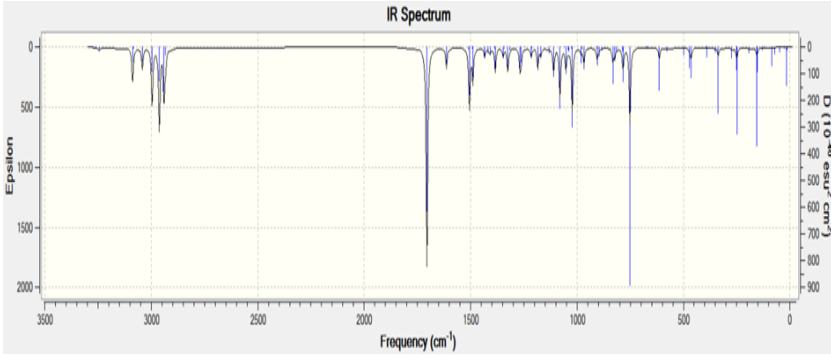
**Table 4.**  $^1\text{H}$ - ve  $^{13}\text{C}$ -NMR kimyasal kayma değerleri (TMS  $\delta/\text{ppm}$ )

Karbon		Proton	
2C	60.665	50H	8.584
1C	68.178	52H	7.603
45C	113.720	51H	7.223
46C	116.071	49H	6.570
47C	148.539	9H, 8H	4.111, 3.433
43C	154.408	10H, 11H	3.077, 2.141
44C	161.345		

Ligand için HCN'e ait kimyasal kayma değeri 8,584 ppm de, halkadaki protonlar sırasıyla 7,603, 7,223 ve 6,570 ppm de,  $\text{CH}_2$  ye ait protonlar ise 2,141-4,111 ppm de hesaplanmıştır.  $\text{CH}_2$  ye ait karbonların kimyasal kayma değerleri 60,665 ve 68,178 ppm de, halkadaki karbonların kimyasal kayma değerleri 113,720-148,539 ppm arasında, halkadaki tersiyer karbonun kimyasal kayma değeri 161,345 ppm de, CH karbonunun kimyasal kayma değeri 154,408 ppm de bulunmuştur. Ulucam & Yentürk (2019) literatürü ile karşılaştırıldığında kimyasal kayma değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir (Guhergul Ulucam & Yentürk, 2019).

## Teorik Titreşim Frekansları, Spektrumları

İncelenen molekülün kızılötesi spektrumu Şekil 6’da, hesaplanan titreşim frekansları ve atandıkları modlar Tablo 5’te sunulmaktadır. Bilindiği gibi YFT seviyesi gibi kuantum kimyasal metodlarda hesaplanan titreşim frekansları ile deneysel titreşim frekansları arasında küçükte olsa sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar, deneysel ölçümlerdeki harmonik olmayan ve band örtüşme etkilerinden kaynaklanmaktadır (Hriday vd., 2013). Teorik olarak hesaplanan frekanslar 6-311G ++ (2d, p) temel setine uygun skala faktörü olan 0.9613 ile çarpılarak bu sapma en az değere indirilmektedir.



Şekil 6. FT-IR spektrumu

**Tablo 5.** Seçilmiş FT-IR titreşim frekansları ve modları...

$\nu$  gerilme,  $\delta$  düzlem içi bükülmeleri,  $\gamma$  ise düzlem dışı bükülmeleri temsil eder.

Mod	Fre.(cm <sup>-1</sup> )	Atomlar
$\nu$ CH	3147	47C - 52H
	3135	45C - 51H
	3118	46C - 40H
	2967	2C - 10H
	2922	1C - 9H
	2880	43C - 50H
	2847	1C - 8H
	2826	2C - 11H
	$\nu$ C=N	1639
$\nu$ C=C	1550	44C - 45C, 46C - 47C
$\delta$ CH <sub>2</sub>	1450	2C - 10H - 11H, 1C - 8H - 9H
	1431	2C - 10H - 11H, 1C - 8H - 9H
$\delta$ CH	1378	43C - 50H
$\gamma$ CH <sub>2</sub>	1362	2C - 10H - 11H, 1C - 8H - 9H



$\delta$ CH, $\nu$ CC	1330	46C - 45C, 43C - 50H
$\nu$ CO	1167	44C - 48O
	1066	47C - 48O
$\nu$ CC, $\nu$ C-N	1038	1C- 2C, 2C- 3N
$\nu$ C-N	999	1C - 42N
$\gamma$ CH	943	43C - 50H

FT-IR spektrumuna göre tüm  $\nu$  CH gerilim pikleri 3147 - 2826  $\text{cm}^{-1}$  arasında,  $\nu$  CN gerilim piki 1639  $\text{cm}^{-1}$  de,  $\nu$  C=C gerilim piki 1550  $\text{cm}^{-1}$  de,  $\nu$  CO gerilim pikleri 1167 ve 1066  $\text{cm}^{-1}$  de,  $\nu$  CC ve  $\nu$  C-N gerilim piki 1038  $\text{cm}^{-1}$  de,  $\nu$  C-N gerilim piki 999  $\text{cm}^{-1}$  de hesaplanmıştır. Düzlem içi bükülmeleri ve düzlem dışı bükülmelerine bağlı titreşimleri ise 1450-943  $\text{cm}^{-1}$  aralığında bulunmuştur. Ulucam & Yentürk (2019) literatürü ile karşılaştırıldığında titreşim değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir (Guhergul Ulucam & Yenturk, 2019).

### Sonuç ve Öneriler

Tris(2-(((E)-furan-2-ilmetlen)amino)etil)amin ligandının enerjisi gaz fazında minimize edilerek, geometrik parametreleri olan atomlar arası bağ uzunlukları, bağ açıları ve dihedral açıları bulunmuştur. NMR ve FT-IR spektrumları minimize edilen geometri kullanılarak hesaplanmıştır ve literatür verileri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. HOMO-LUMO enerjileri kullanılarak ligandın, elektronegatifliği, kimyasal potansiyeli, kimyasal yumuşaklığı ve sertliği hesaplanmıştır. Ligandın, azotlarının bulunduğu bölgelerin nükleofilik davranış sergileyeceği MEP haritasından saptanmıştır. Gerçekleştirilen teorik molekül incelemesi önceden bileşiğin özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak ve sonraki sentez aşamasına katkı sağlamak amacıyla kullanılabilir.

### Kaynaklar

- Al-Otaibi, J. S., & Al-Wabli, R. I. (2015). Vibrational spectroscopic investigation (FT-IR and FT-Raman) using ab initio (HF) and DFT (B3LYP) calculations of 3-ethoxymethyl-1,4-dihydroquinolin-4-one. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 137, 7-15. doi:10.1016/j.saa.2014.08.013
- Altürk, S., Avcı, D., Tamer, Ö., & Atalay, Y. (2018). 1H-pyrazole-3-carboxylic acid: Experimental and computational study. *Journal of Molecular Structure*, 1164, 28-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.03.032>
- Boghaei, D. M., & Mohebi, S. (2002). Non-symmetrical tetradentate vanadyl Schiff base complexes derived from 1,2-phenylene diamine

- and 1,3-naphthalene diamine as catalysts for the oxidation of cyclohexene. *Tetrahedron*, 58(26), 5357-5366. doi:[https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(02\)00481-7](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(02)00481-7)
- Borisova, N. E., Reshetova, M. D., & Ustynyuk, Y. A. (2007). Metal-Free Methods in the Synthesis of Macrocyclic Schiff Bases. *Chemical Reviews*, 107(1), 46-79. doi:10.1021/cr0683616
- Foresman, J. B., & Frisch, A. E. (1996). *Exploring chemistry with electronic structure methods* (2 ed.). Wallingford, CT: Gaussian, Inc.
- Maity, D., G. B. Drew, M., F. Godsell, J., Roy, S., & Mukhopadhyay, G. (2009). Synthesis and characterization of Cu(II) complexes of tetradentate and tridentate symmetrical Schiff base ligands involving o-phenelenediamine, salicylaldehyde and diacetylmonoxime. *Transition Metal Chemistry*, 35, 197-204. doi:10.1007/s11243-009-9314-9
- Mihai, S., Negoiu, M., & Bondarev, A. (2009). Synthesis, Characterization and Biological Activity of Some Novel Metal Complexes of Schiff Base Derived from p-phenyldiamine and 2-thiophene Carboxaldehyde. *Rev. Chim. (Bucuresti)*, 60, 778-782.
- Pui, A., Malutan, T., Tataru, L., Malutan, C., Humelnicu, D., & Carja, G. (2011). New complexes of lanthanide Ln(III), (Ln=La, Sm, Gd, Er) with Schiff bases derived from 2-furaldehyde and phenylenediamines. *Polyhedron*, 30(12), 2127-2131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.poly.2011.05.029>
- Singaravelan, K., Chandramohan, A., Madhankumar, S., Enoch, M. V., & Vinitha, G. (2019). Structural characterization, computational and biological studies of a new third order NLO (1:1) organic adduct: 2-Aminopyrimidine: 3-nitrophthalic acid. *Journal of Molecular Structure*, 1194, 57-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.05.028>
- Turkyilmaz, M., Uluçam, G., Aktaş, Ş., & Okan, S. E. (2017). Synthesis and characterization of new N-heterocyclic carbene ligands: 1,3-Bis(acetamide)imidazol-3-ium bromide and 3-(acetamide)-1-(3-aminopropyl)-1H-imidazol-3-ium bromide. *Journal of Molecular Structure*, 1136, 263-270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.02.022>
- Uluçam, G., & Turkyilmaz, M. (2018). Synthesis, Structural Analysis, and Biological Activities of Some Imidazolium Salts. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2018, 12. doi:10.1155/2018/1439810
- Uluçam, G., & Yenturk, B. (2019). Experimental and theoretical analysis of n,n'-(ethane-1,2-diylbis(4,1-phenylene)) bis(1-(thiophen-2-yl)methanimine) and n,n'-(ethane-1,2-diylbis(4,1-phenylene))bis(1-(4-methylthiophen-2-yl)methanimine) schiff base ligands. 2019, 64(1).
- Uluçam, G., Okan, S. E., Aktaş, Ş., & Öğretmen, G. P. (2015). Characterization of dinaphthosulfoxide molecule. *Journal of*

*Molecular Structure*, 1102, 146-152.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2015.08.051>

Yaul, A., Pethe, G., Deshmukh, R., & Aswar, A. (2013). Vanadium complexes with quadridentate Schiff bases. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113(2), 745-752. doi:10.1007/s10973-012-2745-0

Zamian, J. R., & Dockal, E. R. (1996). Tetradentate Schiff base oxovanadium(IV) complexes. *Transition Metal Chemistry*, 21(4), 370-376. doi:10.1007/bf00139036

# SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COPPER (II) AND CADMIUM (II) SUPRAMOLECULAR COMPOUNDS WITH 2,2-DIMETHYLGLUTARATE AND IMIDAZOLE DERIVATE LIGANDS

Pelin KÖSE YAMAN\* & Hakan ERER\*\* & Okan Zafer YEŞİLEL\*\*

\*Dokuz Eylül University, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, 35390, İzmir, Turkey

\*\*Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, 26480, Eskişehir, Turkey

Corresponding author e-mail: pelin.kose@deu.edu.tr

**Abstract:** In this study, dimeric  $\{[\text{Cu}(\mu\text{-dmg})(2\text{-eim})_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}\}_2$  (**1**) and polymeric  $\{[\text{Cd}(\mu\text{-dmg})(\text{emim})_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}\}_n$  (**2**) two novel copper/cadmium complexes have been synthesized by using 2,2-dimethylglutarate (**dmg**) and 2-ethylimidazole (**2-eim**) for **1** and 2-ethyl-4methylimidazole (**emim**) for **2** as ligands. These complexes have been characterized with elemental analysis, IR spectroscopy and single-crystal X-ray diffraction. Moreover, thermal properties of complexes have been studied. Complex **1** was found to form a 16 membered dimeric  $[\text{Cu}_2(\mu\text{-dmg})_2]$  unit. These dimeric units are enlarged to 3D supramolecular structure thanks to molecular interaction such as hydrogen bonds, C–H $\cdots\pi$  and  $\pi\cdots\pi$  interactions. In complex **2**, the dmg ligand bridge cadmium centres to form zig-zag 1D polymeric structure which 1D zig-zag polymeric chains are further extended into a 3D supramolecular network by hydrogen bonds interactions.

**Keywords:** 2,2-Dimethylglutarate; 2-Ethylimidazole; 2-ethyl-4-methylimidazole, Supramolecular structures.

## Introduction

Recently, the design of supramolecular compounds is an especially attracting investigate area in materials chemistry, inorganic and also crystal engineering (Awaleh, Badia, & Brisse, 2006). Among the greatest diversity of supramolecular and coordination networks reported to date, those assembled from metal and organic ligand building blocks represent the most typical examples (Jaremko, Kirillov, Smoleński, & Pombeiro, 2009). Interestingly, the molecular interactions such as hydrogen bonding and various kinds of  $\pi$ – $\pi$  stacking interactions have a significant role in the assembly of these type compounds into supramolecular structures (Amani,

Derikvand, Dusek, Eigner, & Azadbakht, 2018; Sengupta et al., 2011).

In this report, Cu (II) / Cd (II) ions were reacted with dmg selected as organic binder and imidazole-type ligands (2-eim and emim) selected as auxiliary ligand in distilled water by the conventional method. The resulting dimeric 3D supramolecular structure  $\{[\text{Cu}(\mu\text{-dmg})(2\text{-eim})_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}\}_2$  (**1**), one-dimensional 3D supramolecular coordination polymer,  $\{[\text{Cd}(\mu\text{-dmg})(\text{emim})_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}\}_n$  (**2**), were characterized by spectroscopic techniques.

## Experimental

All chemicals were purchased commercially. Elemental analyses (C, H and N) were carried out on a PerkinElmer 2400C Elemental Analyzer. FT-IR spectra were recorded on a Perkin-Elmer FT-IR 100 spectrometer with samples prepared as KBr pellets in the 4000–400  $\text{cm}^{-1}$  range, Thermogravimetric analyses were recorded from 30°C to 1000°C on a Perkin Elmer Diamond TG/DTA system.

## Materials and measurements

Single crystal X-ray diffraction data for **1** and **2** were collected on a Bruker APEX-II diffractometer equipped with a graphite-monochromatic Mo-K $\alpha$  radiation. The complexes synthesized were solved by direct methods using the programs OLEX2 (Dolomanov, Bourhis, Gildea, Howard, & Puschmann, 2009) and SHELXT-2015 (Sheldrick, 2015) with anisotropic thermal parameters for all non-hydrogen atoms. All non-hydrogen atoms were refined anisotropically by full-matrix least-squares methods using SHELXL-2015 (Sheldrick, 2007), and structural figures were obtained using MERCURY (Macrae et al., 2006). Crystal data and structure refinement parameters for complexes are presented in Table 1.

## Synthesis of **1** and **2**

### $\{[\text{Cu}(\mu\text{-dmg})(2\text{-eim})_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}\}_2$ (**1**)

A solution of dmg (0.80 g, 5 mmol) in water (50 mL) was added dropwise with stirring at 80 °C to a solution of  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  (0.99 g, 5 mmol) in distilled water (25 mL). The solution was stirred for 10 h at 60 °C. Then 2-eim (1.92 g, 20 mmol) in water (25 mL) was added dropwise to this suspension. The mixture was filtered and then the clear solution was stirred for 2 h at 60 °C. After that the solution was leave slow evaporation. The blue crystal was obtained and washed with 10 mL of water and dried in air. Anal. Calc. for complex **1**  $\text{C}_{34}\text{H}_{64}\text{Cu}_2\text{N}_8\text{O}_{14}$ : C, 43.63; H, 6.89; N, 11.97%. Found: C, 43.01; H, 6.26; N, 11.53%.

## **$\{[\text{Cd}(\mu\text{-dmg})(\text{emim})_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}\}_n$ (**2**)**

Similar synthetic procedure as for **1** was used except that  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  and 2-eim were replaced by  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (1.33 g, 5 mmol) and emim (2.20 g, 20 mmol), respectively. Yellow crystals of **2** were washed with water, then dried in air. Anal. Calc. for complex **2**  $\text{C}_{19}\text{H}_{34}\text{CdN}_4\text{O}_6$ : C, 43.31; H, 6.50; N, 10.63%. Found: C, 43.01; H, 6.26; N, 10.53%.

## **Results and discussion**

### **IR spectra**

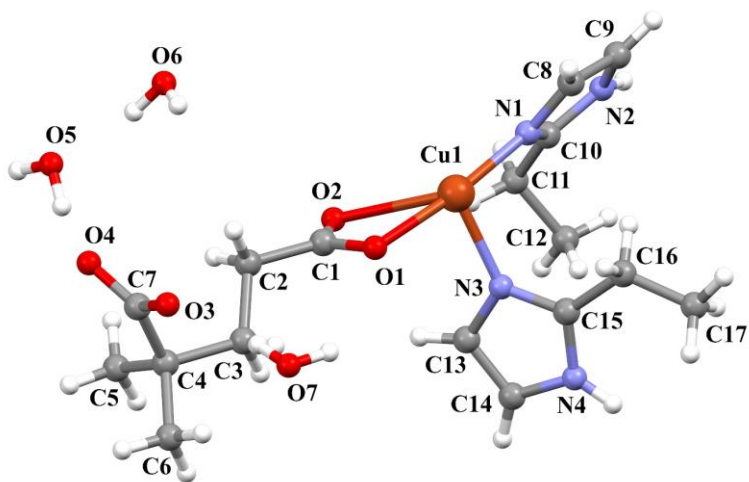
IR spectra of novel complexes showed the bands in the  $2934\text{-}2952\text{ cm}^{-1}$  range are owing to  $\nu(\text{C-H})$  stretching and the  $\nu(\text{N-H})$  stretching vibrations appear at  $3152\text{-}3163\text{ cm}^{-1}$  for **1** and **2**, respectively. The new complexes display a strong and broad band in the  $1526\text{-}1532\text{ cm}^{-1}$  and  $1414\text{-}1401\text{ cm}^{-1}$  regions are attributed to the asymmetric ( $\nu_{\text{as}}\text{COO}^-$ ) and symmetric stretching ( $\nu_{\text{s}}\text{COO}^-$ ) frequencies of the coordinated carboxylate groups of dmg ligand, respectively.

### **X-Ray crystallographic analysis**

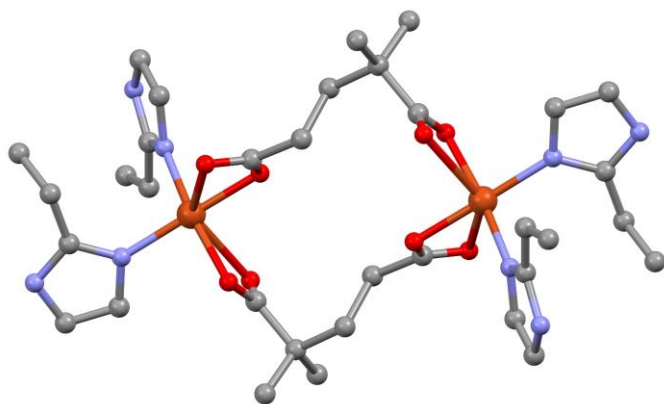
$\{[\text{Cu}(\mu\text{-dmg})(2\text{-eim})_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}\}_2$  (**1**). The molecular structure of complex **1** consists of dimeric  $[\text{Cu}_2(\mu\text{-dmg})_2(2\text{-eim})_4]$  units. The complex has the triclinic crystal system with the *P*-1 space group (Table 1.). According to single crystal X-ray structural analysis, the asymmetric unit of the complex **1** contains one copper ion, one dmg ligand, two 2-eim moieties and three uncoordinated crystal water molecules (Fig. 1). Each copper ion in **1** is coordinated by O atoms of carboxylates from the chelating two different dmg ligands, N atoms of imidazole rings from the monodentate two 2-eim molecules in distorted octahedral arrangement.  $\text{Cu}\cdots\text{Cu}$  separation of  $7.527\text{ \AA}$  indicates the very weak interaction between two copper centers (Fig. 2). The dmg ligands forms a bridge between the Cu(II) ions by means of the four carboxylate atoms of each dmg to form a 16 membered dimeric  $[\text{Cu}_2(\mu\text{-dmg})_2]$  unit. These dimeric units are extended to 3D supramolecular structure with intra- and intermolecular hydrogen bonds,  $\text{C-H}\cdots\pi$  and  $\pi\cdots\pi$  interactions (Fig. 3).

**Table 1.** Crystal data and structural refinement parameters for complex **1** and **2**

	<b>1</b>	<b>2</b>
Empirical formula	C <sub>34</sub> H <sub>64</sub> N <sub>8</sub> O <sub>14</sub> Cu <sub>2</sub>	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Cd
Formula weight (gmol <sup>-1</sup> )	936.01	526.90
Crystal system	Triclinic	Monoclinic
Space group	<i>P</i> -1	<i>P</i> 2 <sub>1</sub> / <i>n</i>
<i>a</i> (Å)	9.124 (9)	12.9736 (15)
<i>b</i> (Å)	12.233 (13)	14.5305 (17)
<i>c</i> (Å)	12.602 (13)	14.0769 (15)
$\alpha$ (°)	63.259 (3)	63.259 (3)
$\beta$ (°)	84.305 (3)	111.778 (4)
$\gamma$ (°)	68.942 (3)	68.942 (3)
<i>V</i> (Å <sup>3</sup> )	1169.0 (2)	2464.3 (5)
<i>Z</i>	1	4
<i>D</i> <sub>c</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	1.330	1.420
$\mu$ (mm <sup>-1</sup> )	0.98	0.98
$\theta$ range (°)	3.2–28.4	3.2–28.1
Measured refls.	54870	43196
Independent refls.	5821	5545
<i>R</i> <sub>int</sub>	0.036	0.079
<i>S</i>	1.16	1.17
R1/wR2	0.049/0.123	0.109/0.223
$\Delta\rho_{\max}/\Delta\rho_{\min}$ (eÅ <sup>-3</sup> )	0.70/-0.71	2.31/-1.01

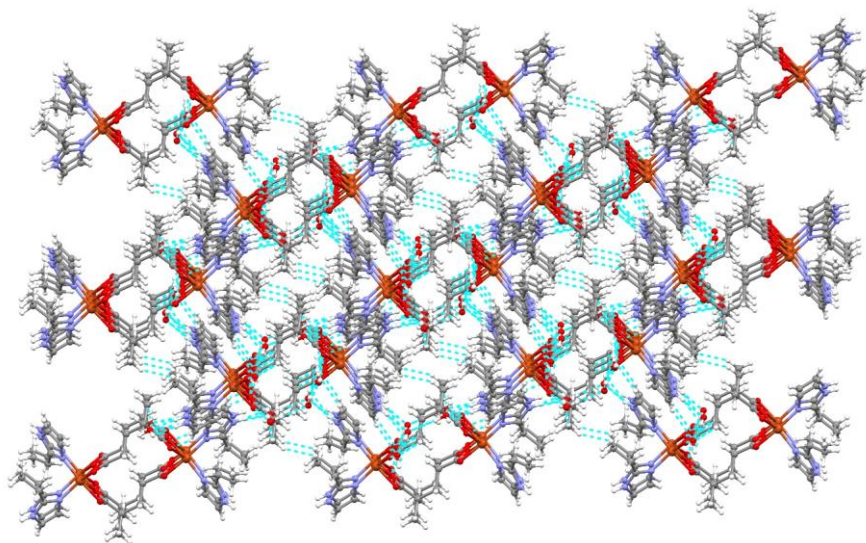


**Figure 1.** The asymmetric unit of **1** with the atom numbering scheme.



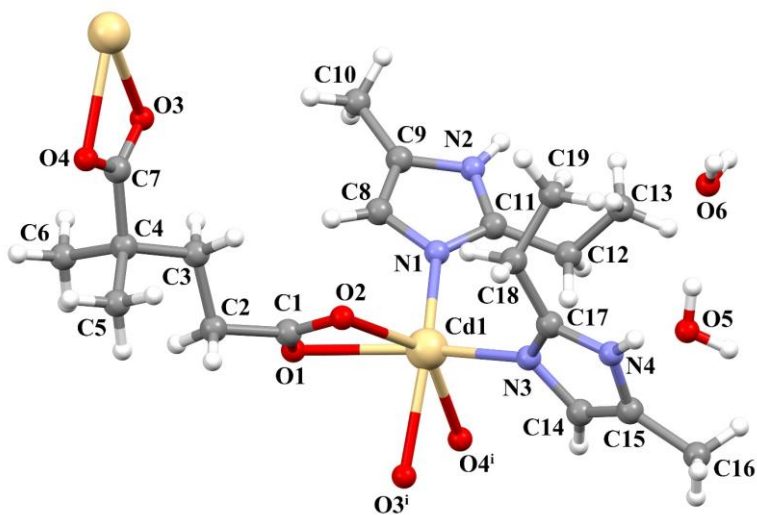
**Figure 2.** The dimeric molecular structure of complex **1**. Crystal water molecules and hydrogen atoms have been omitted for clarity.



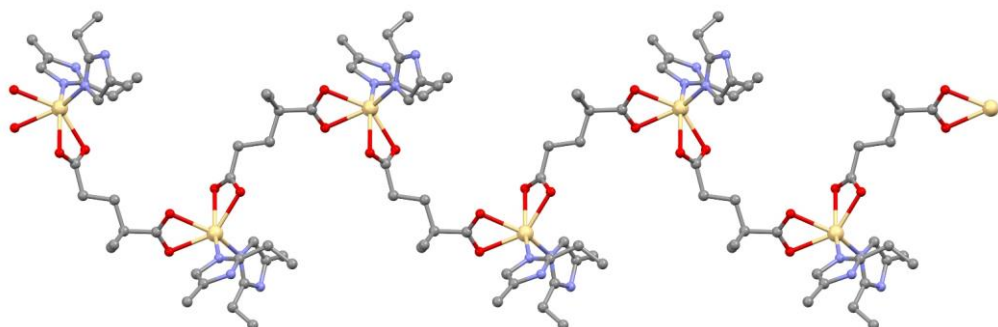


**Figure 3.** 3D supramolecular structure of **1** generated by hydrogen bonds and C–H⋯ $\pi$  and  $\pi$ ⋯ $\pi$  interactions.

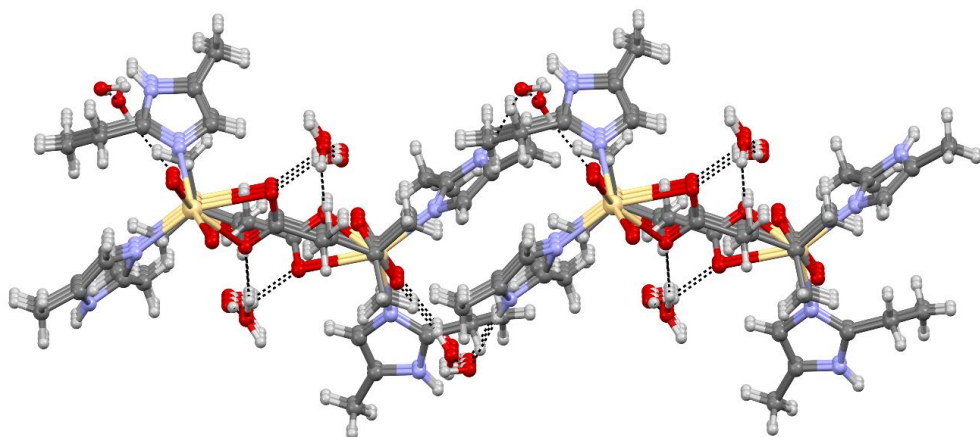
**$\{[\text{Cd}(\mu\text{-dmg})(\text{emim})_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}\}_n$  (**2**).** The molecular structure of complex **2** consists of one dimensional polymeric  $[\text{Cd}(\mu\text{-dmg})(\text{emim})_2]$  units. The complex has the monoclinic crystal system with the  $P2_1/n$  space group (Table 1.). According to single crystal X-ray structural analysis, the asymmetric unit of the complex **2** contains one cadmium ion, one dmg ligand, two emim moieties and two uncoordinated crystal water molecules (Fig. 4). Each cadmium ion in **1** is coordinated by O atoms of carboxylates from the chelating two different dmg ligands, N atoms of imidazole rings from the monodentate two emim ligands in distorted octahedral arrangement. The dmg ligand with  $\mu\text{-}\eta^1:\eta^1:\eta^1:\eta^1$  coordination mode bridge cadmium centres to form zig-zag 1D polymeric structure (Fig. 5). Moreover, 1D zig-zag polymeric chains are further extended into a 3D supramolecular network by O–H⋯O and N–H⋯O hydrogen bonds interactions (Fig. 6)



**Figure 4.** The asymmetric unit of **2** with the atom numbering scheme.



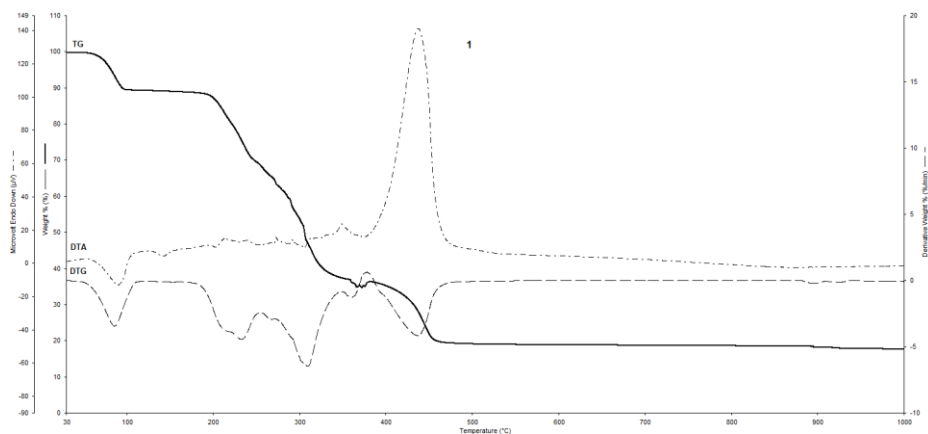
**Figure 5.** The one dimensional zig-zag polymeric structure of complex **2**. Crystal water molecules and hydrogen atoms have been omitted for clarity.



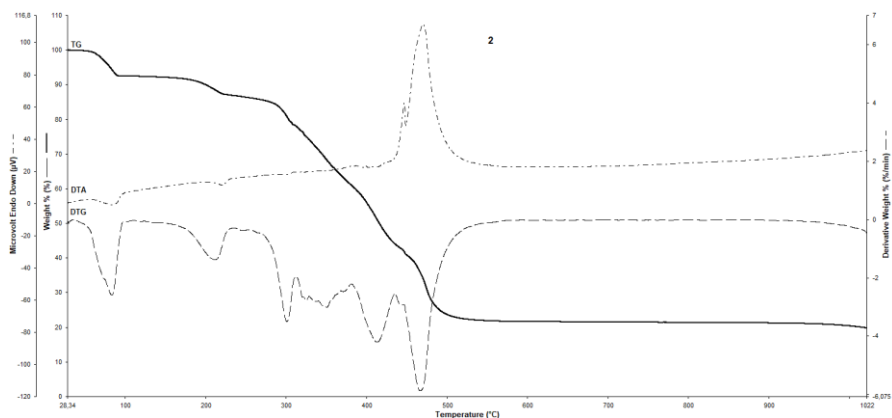
**Figure 6.** 3D supramolecular structure of **2** generated by hydrogen bonds interactions.

### Thermogravimetric analyses

Complex **1** shows three stages decomposition process (Fig.7). The first stage starts at about 38°C with the release of the three water molecules and ends at 128°C (found 10.18%; calcd 11.53 %) . The second step occurs between 159 and 378 °C which corresponds to the release of one 2-eim and one dmg (found 57.69%; calcd 54.51%). The following stage between 378 and 484° C involves the decay of one dmg molecule. Also the highest exothermic mass loss occurs at this step. The final decomposition product is CuO (found: 17.81%; calcd 16.99%). Complex **2** is stable up to 50 °C and exhibits a three-thermal decomposition stage. The first stage in the temperature range of 50-101°C two uncoordinated water are separated from structure (found 6.73%, calcd. value 6.83%) (Fig.8). In the following step take place at range 172-237°C. This weight loss is attributed some part of emim ligand (found 5.03%, calcd. 5.08%). The third decay step takes place in the temperature range of 273-500°C that is attributed to dmg and the remaining emim ligand (found 67.40%, calcd. 66.52%). The final solid product is CdO for **2** (found 22.97%, calcd. 24.29%)



**Figure 7.** Thermal analysis curves of (1)



**Figure 8.** Thermal analysis curves of (2)

## Conclusion

In summary, two new copper/cadmium supramolecular coordination compounds have been synthesis by two different substituted imidazole type and dmg ligands. The first structure is dimeric, whereas the last compound is polymeric. In complex **1**, the dimeric units are extended to 3D supramolecular structure with intra- and intermolecular hydrogen bonds, C–H $\cdots$  $\pi$  and  $\pi\cdots\pi$  interactions. In complex **2**, polymeric 1D zig-zag units are further extended into a 3D supramolecular network by O–H $\cdots$ O and N–H $\cdots$ O hydrogen bonds interactions.

## References

Amani, A., Derikvand, Z., Dusek, M., Eigner, V., & Azadbakht, A. (2018). A new one-dimensional 3D supramolecular coordination polymer of CdIIbased on pyrazine and 3-nitrophthalic acid:

- Synthesis, characterization, crystal structure, thermal analysis. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 48(1), 74–79. <https://doi.org/10.1080/24701556.2017.1357634>
- Awaleh, M. O., Badia, A., & Brisse, F. (2006). Influence of the anion on the structure of bis(methylthio)methane supramolecular coordination complexes. *Crystal Growth and Design*, 6(12), 2674–2685. <https://doi.org/10.1021/cg060148f>
- Dolomanov, O. V., Bourhis, L. J., Gildea, R. J., Howard, J. A. K., & Puschmann, H. (2009). OLEX2: A complete structure solution, refinement and analysis program. *Journal of Applied Crystallography*, 42(2), 339–341. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
- Jaremko, Ł., Kirillov, A. M., Smoleński, P., & Pompeiro, A. J. L. (2009). Engineering coordination and supramolecular copper-organic networks by aqueous medium self-assembly with 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane (PTA). *Crystal Growth and Design*, 9(7), 3006–3010. <https://doi.org/10.1021/cg900334w>
- Macrae, C. F., Edgington, P. R., McCabe, P., Pidcock, E., Shields, G. P., Taylor, R., ... Van De Streek, J. (2006). Mercury: Visualization and analysis of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography*, 39(3), 453–457. <https://doi.org/10.1107/S002188980600731X>
- Sengupta, S., Goswami, A., Ganguly, S., Bala, S., Bhunia, M. K., & Mondal, R. (2011). Influence of chloro··chloro interaction and  $\pi$ - $\pi$  Stacking in 3D supramolecular framework construction. *CrystEngComm*, 13(20), 6136–6149. <https://doi.org/10.1039/c1ce05345k>
- Sheldrick, G. M. (2007). A short history of SHELX. *Acta Crystallographica Section A: Foundations of Crystallography*, 64(1), 112–122. <https://doi.org/10.1107/S0108767307043930>
- Sheldrick, G. M. (2015). SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 71(1), 3–8. <https://doi.org/10.1107/S2053273314026370>
- Song, J., Duan, B. F., Lu, J. F., Wu, R., & Du, Q. C. (2019). Hydrothermal synthesis of three zinc(II) coordination polymers from 0D to 2D: Synthesis, structure, luminescence properties and effect of auxiliary ligand on their structural architectures. *Journal of Molecular Structure*, 1195, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.05.030>

# Zr(IV) İYONLARININ ÇDSMS TEKNİĞİ İLE EKSTRAKSİYONU

**Fatma TEZCAN\*-Ramazan DONAT\*\***

\*Pamukkale Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi, fatma\_tsc89@hotmail.com

\*\*Pamukkale Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi, rdonat@pau.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, “Çok Damlacıklı Sıvı Membran (ÇDSM)” sistemi kullanılarak, ağır metallerden biri olan zirkonyum iyonlarının donör fazdan organik faza, organik fazdan akseptör faza ekstraksiyonu incelenmiştir. Zr(IV) iyonlarının donör fazdan akseptör faza taşınmasında, kerozen içinde çözünmüş tri oktilamin çözeltisi kullanılarak, ekstraksiyonun reaksiyon mekanizmasını etkileyen parametreler (trioktilamin çözelti derişimi, sıcaklık, donör fazdaki H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve akseptör faz olarak kullanılan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişim etkisi) araştırılmıştır. Donör, akseptör ve organik fazlardaki Zr(IV) iyonlarının zamanla değişimi ve geri alım verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden ekstraksiyonun ard arda birinci mertebeden tersinmez reaksiyonla gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kullandığımız sıvı membran tekniği ile beş farklı sıcaklık aralığında aktivasyon enerji değeri 6.36 kJmol<sup>-1</sup> olarak hesaplanmış olup, Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ilişkin taşınım mekanizmasının difüzyon kontrollü olarak gerçekleştiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ÇDSM sistemi, Zirkonyum, TOA, Ekstraksiyon

## Giriş

Metallerin ayrılması ve geri kazanımı son yıllarda güncel bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bunun nedeni, metallerin insan yaşamının birçok alanında yaygın olarak kullanılması ve çevrede yüksek konsantrasyonlarda bulunmasının endişe verici olmasından kaynaklanmaktadır.

Bazı metaller insan vücudu için gerekli olsa da, yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları canlıların metabolik sistemini bozmaktadır. Bu nedenle, metallerin hem endüstriyel atık sulardan hem de cevher ve maden hurdalarından elde edilen matrikslerden geri kazanılması üzerine araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Hidrometalurjide, ağır metalleri sulu çözeltilerden çıkarmak ve geri kazanmak için çeşitli geleneksel yöntemler kullanılmaktadır.

Bu yöntemler arasında kimyasal çökeltme (Fu ve ark., 2012) , ters ozmoz (Lee, ve ark., 2010), adsorpsiyon (Lakherwar, 2014), iyon değişimi (Nikoloski ve Ang, 2014) ve çözücü ekstraksiyon işlemleri (Xie ve ark., 2014) bulunur. Bu tekniklerin düşük verimlilik, hassas çalışma koşulları, yüksek sermaye ve işletme maliyetlerinin pahalı olması gibi doğal sınırlamaları vardır (Kurniawan ve ark., 2006). Bu nedenle, bu sorunların

üstesinden gelmek için daha verimli ve uygun maliyetli geri kazanma yöntemleri aranmaktadır.

Bu sorunların üstesinden gelmek için sıvı membran tekniğinin kullanımı önerilmektedir. Bu teknik yukarıdaki bahsedilen tekniklerden metal iyonlarının ekstraksiyonu ve geri alımı tek bir adımda birleştirmek ve çok az miktarda çözücü kullanmak gibi özellikleri bakımından daha üstündür. Sıvı membranların avantajları arasında çok düşük sermaye ve işletme maliyetine sahip olması yanında özütleyici olarak taşıyıcı ligantların kullanımı sıvı membranların etkinliğini ve seçiciliğini arttırmaktadır.

Zirkonyum en önemli nükleer maddelerden birisidir. Zirkonyum, mükemmel korozyon direnci ve düşük nötron kesiti nedeniyle nükleer endüstride kullanılmaktadır. Zirkonyum çeşitli endüstrilerde kullanılmasına rağmen, saf metalik formdaki nükleer özelliklerinden ve nükleer uygulamalar için oldukça arzu edilen bir metaldir. Zirkonyumun korozyona dayanıklılığı, düşük termal nötron absorpsiyon kesitine ( $Zr_{\sigma T} = 0.18b$ ) ve yüksek erime noktasına (2128 K) sahip olması gibi özellikleri nedeniyle nükleer kaplama malzemesi ve inert bir yakıt matrisi için ideal kılmaştır (Chadwick ve ark., 2011). Zirkonyumun ticari öneme sahip temel ekonomik kaynağı, bileşikleri ve alaşımları en bol bulunan minerali zirkon olarak bilinen zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ )'dir. Doğada genellikle kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından benzerliği nedeniyle hafniyum (Hf) ile birlikte (Zirkonyum cevheri içinde Hafnium kütlece %2-3 aralığında bulunmaktadır) bulunmasından dolayı zirkonyumun saf olarak ayrılması çok zordur (Abdel-Rehim, 2005; Habashi, 1997).

Nükleer endüstrisinde bu iki elementin birbirinden ayrılması zirkonyum kullanımı için büyük önem taşımaktadır (Beyer ve ark., 1954; Lister ve Hutcheon, 2013). Bazı araştırmacılar tarafından ticari ölçekte zirkonyum ve hafniyumu birbirinden ayırmada iyon değişimi, kısmi kristalleşme, elektroliz ve buhar fazı klorlama gibi bazı alternatif işlemlerin yanında, çözücü ekstraksiyonunu önermektedirler (Trubert ve ark., 1998; Park ve ark., 2013); Poriel ve ark., 2006).

Bu çalışmada, metal iyonlarının ayırma ve geri kazanımında etkili tekniklerinden biri olan Çok Damlacıklı Sıvı Membran (ÇDSM) sistemiyle Zr(IV) iyonlarının sulu çözeltilerden taşıyıcı ligand (TOA) vasıtası ile geri kazanılması, taşınım mekanizmasının aydınlatılması ve ekstraksiyonu etkileyen parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

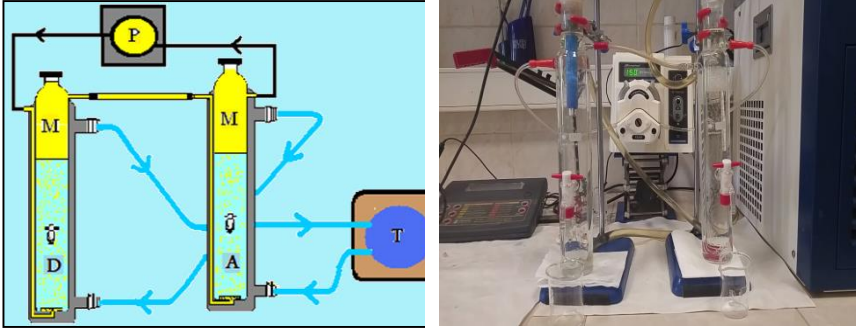
## **Materyal ve Metod**

### **Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar**

DeneySEL çalışmalarda çözücü olarak kullanılan kerozen (gaz yağı) Türk Petrol Rafineleri Şirketinden satın alınmıştır. Analitik saflıkta

ZrOCl<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O, Trioktil amin, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ve Arsenazo III indikatörü Merck firmasından temin edilmiştir.

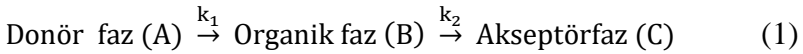
ÇDSM sistemimizdeki donör ve akseptör fazdaki Zr(IV) iyonlarının derişimlerini spektrofotometrik olarak belirlemede Perkin Elmer marka Lambda 25 model spektrofotometre kullanılmıştır ( $\lambda = 670$  nm). Circu-WCR-P8 model kriyostat cihazı ile sistemin sıcaklığı, organik fazın donör ve akseptör fazdan akışını ve basıncını sağlamak için BT30-2J marka peristaltik pompa ile sağlanmıştır. Deneysel çalışmamızda kullanılan ÇDSMS düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan sıvı membran düzeneği (M–organik faz, D–donör faz, A–akseptör faz, P–peristaltik pompa ve T–termostat).

### Kinetik Hesaplamalar

Kullanılan membran sistemimizde gerçekleşen ekstraksiyon (ard arda tepkime) modeli için aşağıda verilmiştir.



Burada A donör, B organik ve C’de akseptör fazdaki Zr(IV) iyonlarının konsantrasyonu,  $k_1$  ve  $k_2$  reaksiyon hız sabitleridir. Çalışılan tüm parametrelerde donör fazdan organik faza zamanla geçen Zr(IV) iyonlarının derişimi için zamana karşı  $\ln(C_o/C_e)$  değişim grafikleri çizilerek, reaksiyon hız sabiti ( $k_1$ ) değerleri aşağıda verilen eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) = kt \quad (2)$$

Bağıntıda  $C_o$ , ve  $C_e$ , başlangıç ve herhangi bir  $t$  anındaki Zr(IV) iyonlarının derişimini simgelemektedir. Donör, organik ve akseptör fazlardaki Zr(IV) iyonlarının zamanla azalan ve artan derişimleri



grafığe geçirilmiş,  $k_2$ ,  $t_B^{mak}$  ve  $C_B^{mak}$  değerleri aşağıda verilen (3), (4) ve (5)'deki bağıntılar yardımı ile hesaplanmıştır.

$$k_2 = \frac{-\ln\left(\frac{C_B^{mak}}{C_o}\right)}{t_B^{mak}} \quad (3)$$

$$t_B^{mak} = \frac{\ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right)}{k_1 - k_2} \quad (4)$$

$$C_B^{mak} = C_o \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{\frac{k_2}{k_1 - k_2}} \quad (5)$$

Yukarıda verilen bağıntılarda  $t_B^{mak}$  ve  $C_B^{mak}$  sırasıyla Zr(IV) iyonlarının organik fazdaki maksimum derişime ulaştığı sūreyi ve maksimum derişimi sembolize etmektedir.

Her bir deney için,  $k_1$  ve  $k_2$  reaksiyon hız sabitlerine bağlı olarak sırasıyla, membran giriş ( $J_d^{mak}$ ) ve membrandan çıkış ( $J_a^{mak}$ ) hızları sırasıyla aşağıdaki (6)-(9) no'lu eşitlikler kullanılmıştır.

$$\left[\frac{dR_d}{dt}\right]_{mak} = -k_1 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{\frac{k_2}{k_1 - k_2}} = J_d^{mak} \quad (6)$$

$$\left[\frac{dR_m}{dt}\right]_{mak} = 0 \quad (7)$$

$$\left[\frac{dR_a}{dt}\right]_{mak} = k_2 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{\frac{k_2}{k_1 - k_2}} = J_a^{mak} \quad (8)$$

$$-\left[\frac{dR_d}{dt}\right]_{mak} = +\left[\frac{dR_a}{dt}\right]_{mak} \Rightarrow -J_d^{mak} = J_a^{mak} \quad (9)$$

Aşağıda verilen eşitlik (10) ve (11) kullanılarak, deneysel çalışmalardan elde edilen verilere gōre aktivasyon enerjisi ve Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyon verim yūzdeleri hesaplanmıştır.

$$\ln(J) = \ln(A) - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T}\right) \quad (10)$$

$$\%Eks. = \frac{[Zr(IV)]_{akseptōr}}{[Zr(IV)]_{donōr}} \times 100 \quad (11)$$

## Bulgular ve Tartışma

### Organik Fazdaki Ligand Taşıyıcısı TOA Derişiminin Etkisi

Zr(IV) iyonlarının taşınmasında farklı TOA derişiminin etkisi incelenmesinde; donōr, akseptōr ve organik faz hacimleri 100 mL, donōr

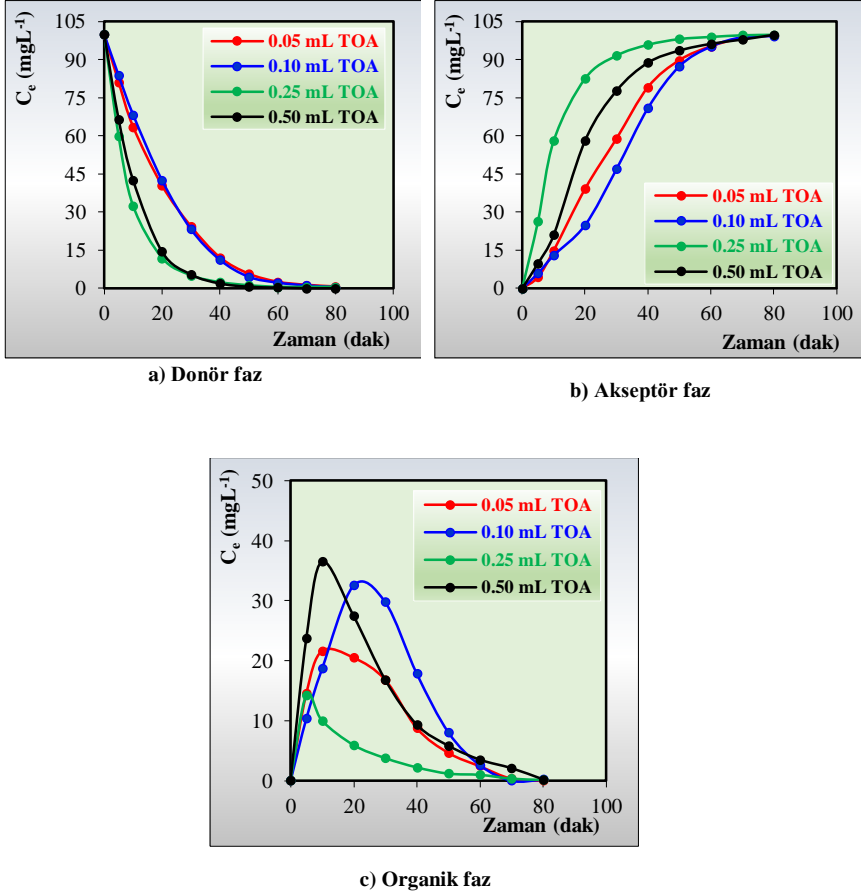
faz başlangıç Zr(IV) iyonu derişimi 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içinde 100 mgL<sup>-1</sup>, akseptör fazdaki Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişimi 0.10 M, organik fazdaki kerozen içinde çözünmüş TOA derişimleri 0.05, 0.10, 0.25, ve 0.50 mL, ortam sıcaklığı 298.15 K ve peristaltik pompanın çözelti aktarım hızı 25 mLdak<sup>-1</sup> olacak şekilde ayarlanarak çalışılmıştır. Farklı TOA derişimleri kullanılarak, gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler Tablo 1’de ve Zr(IV) iyonlarının derişimlerinin zamana karşı oluşturulan grafikleri ise Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Dört farklı TOA derişimi ile donör, organik ve akseptör fazdaki Zr(IV) iyonları derişiminin zamanla değişime ait veriler.

0.05 mL TOA				0.10 mL TOA			
t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )	t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )
0	100	0.00	0.00	0	100	0.00	0.00
5	81.12	14.50	4.39	5	83.78	10.35	5.87
10	63.56	21.60	14.84	10	68.35	18.68	12.97
20	40.37	20.47	39.16	20	42.55	32.54	24.90
30	24.31	16.79	58.90	30	23.30	29.73	46.97
40	12.07	8.76	79.16	40	11.22	17.81	70.97
60	2.39	2.45	95.16	60	2.23	2.60	95.16
70	1.17	0.38	98.45	70	1.12	0.04	98.84
80	0.53	0.05	99.42	80	0.48	0.23	99.29
0.25 mL TOA				0.50 mL TOA			
t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )	t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )
0	100	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00
5	59.87	14.23	26.32	5.00	66.54	23.66	9.80
10	32.39	9.97	58.06	10.00	42.55	36.48	20.96
20	11.85	5.92	82.65	20.00	14.41	27.40	58.19
30	4.99	3.75	91.68	30.00	5.43	16.77	77.80
40	2.28	2.20	95.94	40.00	1.86	9.31	88.83
60	0.42	0.96	99.03	60.00	0.27	3.48	96.25
70	0.42	0.32	99.68	70.00	0.00	2.07	97.93
80	0.42	0.13	99.87	80.00	0.00	0.20	99.80

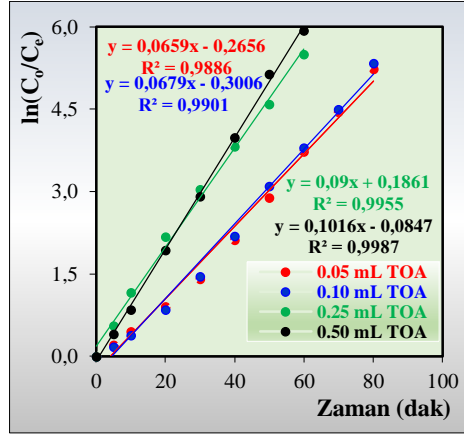
Tablo 1 ve Şekil 2’den görüldüğü üzere çalışılan dört farklı TOA (0.05-0.50 mL) ile akseptör faza Zr(IV) iyonlarının geri alım verimleri sırasıyla 99.42, 99.29, 99.87 ve %99.80 olarak bulunmuştur. Akseptör fazda Zr(IV) iyonlarının dengeye ulaştığı süreye bakıldığında TOA derişimi artıçça dengeye ulaşma süresinin kıaldığı görülmektedir. 0.50 mL TOA ile yapılan çalışmada Zr(IV) iyonlarının organik fazda diğer derişimlere göre daha yüksek olduğu ve akseptör faza geçiş süresinin uzamasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Değişen dört farklı TOA ile Zr(IV) iyonlarının donör fazdan organik faza ekstraksiyonuna ait zamana karşı  $\ln C_0/C_e$  değerleri Şekil 3'de ve kinetik hesaplamalara ilişkin veriler Tablo 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Sürekli ekstraksiyon çalışmalarında, dört farklı TOA derişimi ile üç fazdaki Zr(IV) iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği.

Kerozen içinde çözülmüş TOA miktarı arttıkça donör fazdan organik faza ekstraksiyonda reaksiyon hız sabitlerinin ( $k_1$ ) değeri artmaktadır. Şekil 3'den  $R^2$  değerlerinin bire yakın olması elde edilen verilerin birbirine uyumunu göstermektedir. Hesaplanan diğer kinetik verilerde ise düzenli artışın veya azalmanın olmaması ve değişkenlik göstermesi organik fazın akseptör fazdan geçişi sırasında Zr(IV) iyonlarının TOA'dan sıyrılamaması veya Zr(IV) iyonlarının organik fazda birikmesi olabilir.



Şekil 3. Dört farklı TOA derişimi için zamana karşı  $\ln(C_0/C_e)$  grafiği

**Tablo 2.** Dört farklı TOA derişimi ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ait hesaplanan kinetik veriler.

TOA (mL)	$k_1 \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$k_2 \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$t_B^{maks.}$ (dak)	$C_B^{maks}$ (mg/L)	$J_a^{mak} \cdot 10^2$ (dak)	$J_d^{mak} \cdot 10^2$ (dak)
0.05	6.59	14.84	9.84	23.22	3.45	-3.45
0.10	6.79	6.77	14.75	36.84	2.49	-2.49
0.25	9.00	38.97	4.89	14.87	5.80	-5.80
0.50	10.16	8.23	10.92	40.73	3.35	-3.35

Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonunda bir sonraki çalışılacak parametrede kullanılacak TOA derişimi, çalışılan her bir derişimde geri alım verimleri %99'un üzerinde çıkması ve ekonomik olarak daha az TOA kullanımı için 0.10 mL olarak seçilmiştir.

### Sıcaklığın Etkisi

ÇDSMS tekniği ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonunda sıcaklığın etkisinin incelenmesinde; donör, akseptör ve organik faz hacimleri 100 mL, donör faz başlangıç Zr(IV) iyonu derişimi 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içinde 100 mgL<sup>-1</sup>, akseptör fazdaki Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişimi 0.10 M, organik fazdaki kerozen içinde çözünmüş TOA derişimleri 0.10 mL, peristaltik pompanın çözelti aktarım hızı 25 mLdak<sup>-1</sup> olacak şekilde ayarlanmış ve ortam sıcaklığı 288.15 ile 308.15 K sıcaklık aralıklarında çalışılmıştır.

Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler Tablo 3'de ve Zr(IV) iyonlarının derişimlerinin zamana karşı oluşturulan grafikleri ise Şekil 4'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Beş farklı sıcaklık ile donör, organik ve akseptör fazdaki Zr(IV) iyonları derişiminin zamanla değişime ait veriler.

288.15 K				293.15 K			
t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )	t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )
0	100	0.00	0.00	0	100	0.00	0.00
5	90.43	5.19	4.38	5	90.32	4.26	5.42
10	70.21	18.70	11.09	10	73.14	15.06	11.81
20	37.66	36.41	25.93	20	45.21	32.79	22.00
30	21.01	32.29	46.70	30	28.09	26.95	44.97
40	10.53	28.05	61.41	40	17.77	16.43	65.81
60	3.19	19.07	77.74	60	3.99	4.08	91.94
80	1.06	12.36	86.58	70	2.39	0.70	96.90
100	0.48	6.95	92.58	100	0.21	1.59	98.19
120	0.00	2.07	97.93	120	0.05	0.91	99.03

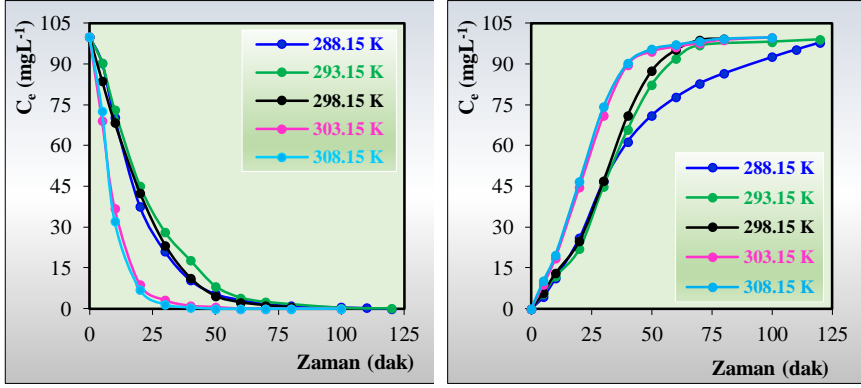
298.15 K				303.15 K			
t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )	t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )
0	100	0.00	0.00	0	100	0.00	0.00
5	83.78	10.35	5.87	5	69.14	21.95	8.90
10	68.35	18.68	12.97	10	36.85	44.56	18.58
20	42.55	32.54	24.90	20	8.82	46.53	44.65
30	23.30	29.73	46.97	30	3.08	25.95	70.97
40	11.22	17.81	70.97	40	1.06	9.27	89.68
50	4.52	8.06	87.42	50	0.58	4.91	94.52
60	2.23	2.60	95.16	60	0.00	3.68	96.32
70	1.12	0.04	98.84	80	0.00	1.16	98.84
80	0.48	0.23	99.29	100	0.00	0.32	99.68

308.15 K			
t (dak)	D (mgL <sup>-1</sup> )	O (mgL <sup>-1</sup> )	A (mgL <sup>-1</sup> )
0	100	0.00	0.00
5	72.60	17.21	10.19
10	32.12	48.20	19.68
20	7.01	46.21	46.77
30	1.54	24.27	74.19
40	0.47	9.21	90.32
50	0.00	4.52	95.48
60	0.00	2.90	97.10
70	0.00	1.61	98.39
80	0.00	0.65	99.35
100	0.00	0.19	99.81

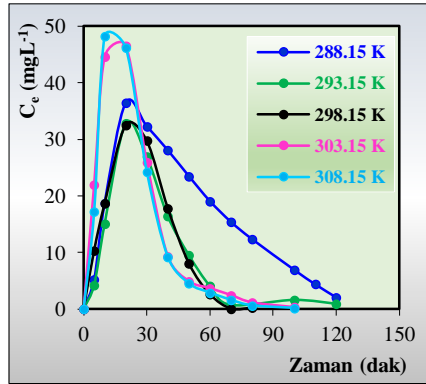
Tablo 3 ve Şekil 4'den Zr(IV) iyonlarının donör fazdan organik faza ve organik fazdan tekrar akseptör faza artan sıcaklığa göre geri alım verimleri sırasıyla 97.93, 99.03, 99.29, 99.68 ve %99.81 olarak bulunmuştur. Zr(IV) iyonlarının akseptör fazda dengeye ulaşma süresi düşük sıcaklıklarda daha uzun sürede yüksek sıcaklıklarda ise daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Organik fazdaki ligand taşıyıcı TOA'nin ile Zr iyonlarının donör ve akseptör fazdan damlacıklar halinde geçişi sırasında düşük ve yüksek

sıcaklığın etkisi ile viskozitesinin değişmesinden, geri alım verimleri yanında dengeye varma sürelerinde değişikliğe neden olabilmektedir.



a) Donör faz

b) Akseptör faz



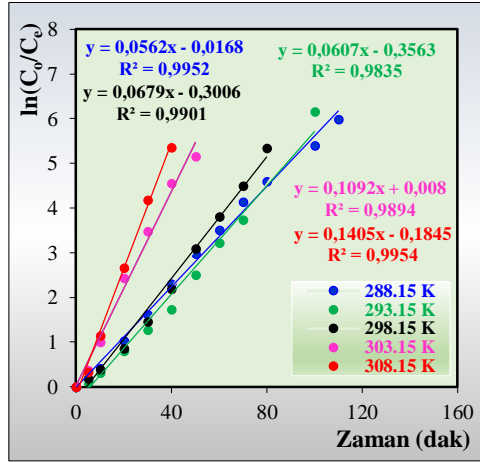
c) Organik faz

Şekil 4. Beş farklı sıcaklık ile üç fazdaki Zr(IV) iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği.

Tablo 3’de elde edilen veriler kullanılarak, Şekil 5’de beş farklı sıcaklık için zamana karşı  $\ln(C_o/C_e)$  grafiği ve Zr(IV) iyonlarına ait hesaplanan kinetik veriler, Tablo 4’de verilmiştir.

Şekil 5’de elde edilen verilere göre donör fazdaki Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ait bulunan  $k_1$  değerleri ( $T= 288.15, 293.15, 298.15, 303.15$  ve  $308.15$  K) için sırasıyla  $5.62 \times 10^{-2}, 6.04 \times 10^{-2}, 6.80 \times 10^{-2}, 10.92 \times 10^{-2}$  ve  $14.05 \times 10^{-2} \text{ dak}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık artıkça reaksiyon hız sabiti,  $k_1$  değerlerinin de arttığı, çalışılan her bir sıcaklık için

$R^2$  değerlerinin de  $>0.98$ 'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da  $R^2$  değerlerinin bire yakın olması elde edilen verilerin uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Beş farklı sıcaklık için zamana karşı  $\ln(C_o/C_e)$  grafiği

**Tablo 4.** Beş farklı sıcaklık aralığı ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonu için hesaplanan kinetik veriler.

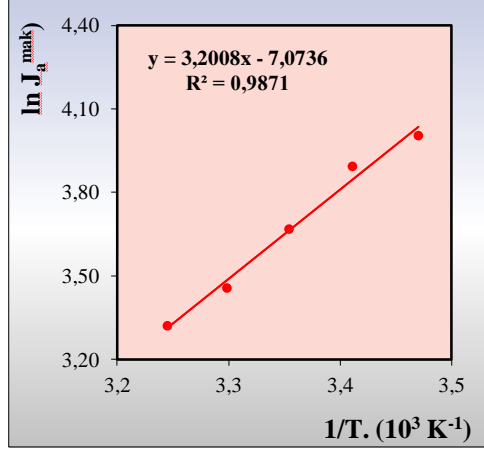
Sıcaklık (K)	$k_1 \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$k_2 \cdot 10^2$ (dak <sup>-1</sup> )	$t_B^{maks.}$ (dak)	$C_B^{maks}$ (mg/L)	$J_a^{mak} \cdot 10^2$ (dak)	$J_d^{mak} \cdot 10^2$ (dak)
288.15	5.62	4.42	19.62	42.02	1.82	-1.82
293.15	6.04	5.10	17.99	39.93	2.04	-2.04
298.15	6.80	7.10	14.39	36.00	2.55	-2.55
303.15	10.92	6.98	11.36	45.26	3.16	-3.16
308.15	14.05	7.35	9.67	49.13	3.61	-3.61

Tablo 4'de Zr(IV) iyonlarının çalışılan beş farklı sıcaklıkta membran giriş ve çıkış sürelerine ( $J_a^{mak}$  ve  $J_d^{mak}$ ) bakıldığında sıcaklık artışı ile birlikte arttığı ve  $t_B^{maks.}$  değerlerinde de azalmanın olduğu görülmektedir.

Beş farklı sıcaklık için  $1/T$  karşı  $\ln J_a^{mak}$  grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

ÇDSMS ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonu için aktivasyon enerji ( $E_a$ ) değerinin hesaplanmasında eşitlik (10) kullanılarak,  $1/T$  değerlerine karşılık maksimum membran çıkış hızları ( $J_a^{mak}$ ) 288.15 ile 308.15 K sıcaklık aralığı için grafiğe geçirilmiş ve elde edilen doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi  $6.36 \text{ kJ mol}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan aktivasyon enerji değeri  $10 \text{ kJ mol}^{-1}$ 'den küçük olması Zr(IV) iyonlarının taşınım mekanizmasının difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir (Lazarova ve Boyadzhiev, 1993).

ÇDSMS tekniği ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonunda sıcaklığın önemli bir parametre olduğu, ısıtma ve soğutma işlemlerinin ek masraflı olması ve sıcaklık kontrolü açısından bir sonraki parametre çalışmalarında sistem için sıcaklık 298.15 K olarak seçilmiştir.



Şekil 6. Beş farklı sıcaklık için  $1/T$  karşı  $\ln J_a^{mak}$  grafiği

### Akseptör Fazda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Çözelti Derişiminin Etkisi

ÇDSM sisteminde donör fazdaki Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonunda akseptör fazda kullanılan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözelti derişiminin etkisini (0.05-0.15 M) incelemek için yapılan çalışmada diğer parametreler (Donör fazın pH'sı, her üç fazın hacmi, sıcaklık, TOA derişimi, organik fazın aktarım hızı) sabit tutulmuş ve akseptör fazın farklı Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişimleri için elde edilen veriler kullanılarak, üç fazdaki Zr(IV) iyonlarının derişimlerinin zamanla değişim verileri Tablo 5'de ve grafiği ise Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 5'de elde edilen deneysel verilere bakıldığında Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisinin düşük ve yüksek derişimlerde akseptör faza Zr(IV) iyonlarının geri alım süreleri 0.10 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>'a göre daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Düşük derişimde Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile çalışıldığında geri alım veriminin (%97.10) düşük olduğu diğer derişimlerde ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Şekil 7'de elde edilen verilere göre donör fazdaki Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ait bulunan  $k_1$  değerleri (0.05, 0.10 ve 0.15 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> için) sırasıyla  $6.43 \times 10^{-2}$ ,  $6.79 \times 10^{-2}$  ve  $7.33 \times 10^{-2} \text{ dak}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Akseptör fazdaki Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişimi arttıkça reaksiyon hız sabiti,  $k_1$  değerlerinin de arttığı, çalışılan her bir derişim için  $R^2$  değerlerinin de



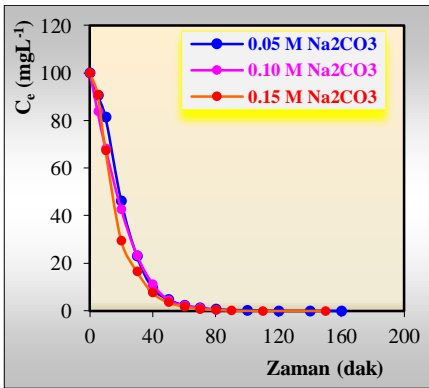
>0.99'dan büyük olduğu olması elde edilen verilerin birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir.

**Tablo 5.** Üç farklı  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  çözeltisi ile donör, organik ve akseptör fazdaki  $\text{Zr(IV)}$  iyonlarının derişiminin zamanla değişimine ait veriler.

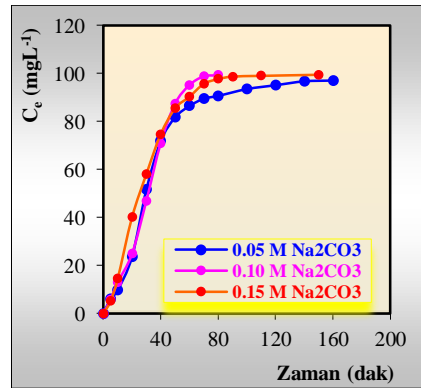
0.05 M $\text{Na}_2\text{CO}_3$				0.10 M $\text{Na}_2\text{CO}_3$			
t (dak)	D ( $\text{mgL}^{-1}$ )	O ( $\text{mgL}^{-1}$ )	A ( $\text{mgL}^{-1}$ )	t (dak)	D ( $\text{mgL}^{-1}$ )	O ( $\text{mgL}^{-1}$ )	A ( $\text{mgL}^{-1}$ )
0	100.00	0.00	0.00	0	100.00	0.00	0.00
5	90.53	3.47	6.00	5	83.78	10.36	5.87
10	81.44	8.76	9.81	10	68.35	18.69	12.96
20	46.17	30.09	23.74	20	42.55	32.55	24.90
40	9.47	18.60	71.94	30	23.30	29.74	46.96
60	2.34	11.14	86.52	40	11.22	17.81	70.96
80	0.64	8.65	90.71	50	4.52	8.06	87.41
100	0.27	6.19	93.55	60	2.23	2.61	95.16
120	0.01	4.83	95.16	70	1.12	0.05	98.83
160	0.00	2.90	97.10	80	0.48	0.24	99.28

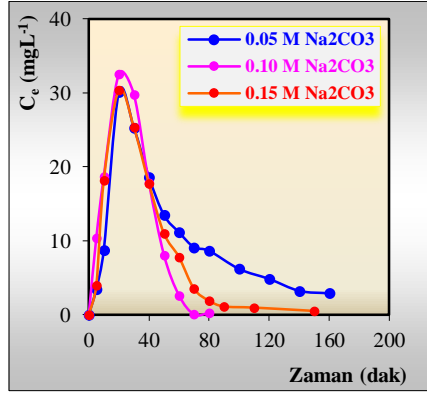
0.15 M $\text{Na}_2\text{CO}_3$			
t (dak)	D ( $\text{mgL}^{-1}$ )	O ( $\text{mgL}^{-1}$ )	A ( $\text{mgL}^{-1}$ )
0	100.00	0.00	0.00
5	90.90	3.94	5.16
10	67.34	18.15	14.51
20	29.52	30.36	40.12
40	7.55	17.74	74.70
60	1.86	7.82	90.32
80	0.43	1.90	97.67
90	0.16	1.13	98.70
110	0.00	0.97	99.03
150	0.00	0.52	99.48



a) Donör faz

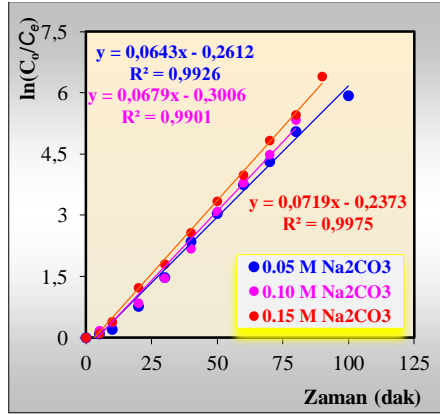


b) Akseptör faz



c) Organik faz

Şekil 7. Üç farklı akseptör fazdaki  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  derişimi ile üç fazdaki Zr(IV) iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği



Şekil 8. Üç farklı  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  derişimi için  $I/T$  karşı  $\ln C_o/C_e$  grafiği

Tablo 6. Üç farklı  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  derişimi ile Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ait hesaplanan kinetik veriler.

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (M)	$k_1 \cdot 10^2$ ( $\text{dak}^{-1}$ )	$k_2 \cdot 10^2$ ( $\text{dak}^{-1}$ )	$t_B^{\text{maks.}}$ (dak)	$C_B^{\text{maks}}$ (mg/L)	$J_a^{\text{mak.}} \cdot 10^2$ (dak)	$J_d^{\text{mak.}} \cdot 10^2$ (dak)
0.05	6.43	7.50	14.39	34.00	2.55	-2.55
0.10	6.79	7.10	14.40	35.97	2.55	-2.55
0.15	7.33	6.10	14.93	40.21	2.45	-2.45

## Sonuçlar

Zr(IV) iyonlarının donör fazdan akseptör faza taşınmasında, kerozen içinde çözülmüş trioktilamin çözeltisi kullanılarak, ekstraksiyonun

reaksiyon mekanizmasını etkileyen parametreler (Trioktil amin çözelti derişimi, sıcaklık, donör fazdaki H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve akseptör faz olarak kullanılan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> derişim etkisi) araştırılmıştır. Donör, akseptör ve organik fazlardaki Zr(IV) iyonlarının zamanla değişimi ve geri alım verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden ekstraksiyonun ard arda birinci mertebeden tersinmez reaksiyonla gerçekteştiği tespit edilmiştir. Kullandığımız sıvı membran tekniği ile beş farklı sıcaklık aralığında aktivasyon enerji değeri 6.36 kJmol<sup>-1</sup> olarak hesaplanmış olup, Zr(IV) iyonlarının ekstraksiyonuna ilişkin taşınım mekanizmasının difüzyon kontrollü olarak gerçekteştiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak; TOA ligandının Zr(IV) iyonlarının taşınım ve geri kazanımında etkili bir taşıyıcı ligand olduğu bulunmuştur. Ayrıca ağır metallerin ayrılması ve saflaştırılması işlemlerinde ÇDSM yönteminin diğer yöntemlere göre daha ekonomik, modüler ve basit sistem olduğu, optimal şartlarda kısa sürede metal iyonlarının geri kazanılmasında kullanılabilir sistem olduğu belirlenmiştir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma; Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından PAÜBAP 2018FBE008 no'lu proje ile desteklenmiştir.

## **Kaynaklar**

- Abdel-rehim, A.M. (2005). A new technique for extracting zirconium form Egyptian zircon concentrate. *Int. J. Miner. Process*, 76, 234-243.
- Beyer, G.H., Spink D.R., West J.B., Wilhelm, H.A. (1954). Caustic treatment of zircon sand. *Chew. Ertg. Prog. Symp. Series*, 50(12), 67-71.
- Chadwick, M.B., Herman, M., ObloSnský, P., Dunn, M.E., Danon, Y., and Kahler, A.C. et al. (2011). ENDF/B-VII.1 Nuclear Data for Science and Technology: Cross Sections, Covariances, Fission Product Yields and Decay Data, *Nuclear Data Sheets*, 112(12), 2887-2996.
- Fu, F., Xie, L., Tang, B., Wang, Q., (2012). Jiang, S. Application of a novel strategy-advanced Fenton-chemical precipitation to the treatment of strong stability chelated heavy metal containing wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 189–190, 283–287.
- Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*. V. III, 1, 2.

- Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Loa, W., Babel, S. (2006). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118, 83–98.
- Lakherwar, D. (2014). Adsorption of heavy metals: A review. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4, 41–48
- Lazarova, Z., Boyadzhiev, L., (1993). Kinetic aspects of copper (II) transport across liquid membrane containing LIX-860 as a carrier. *Journal of Membrane Science*, 78, 3:239–245.
- Lee, K.P., Arnot, T.C., Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane materials for desalination: Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370, 1–22.
- Liter BAJ. and Hutcheon JM. (1962). *Research*, v. 5, p. 291, INAC 2013, Recife, PE, Brazil.
- Nikoloski, A.N., Ang, K. (2014). Review of the application of ion exchange resins for the recovery of platinum-group metals from hydrochloric acid solutions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: An International Journal*, 35, 369–389.
- Park, K.T., Lee, T.H., Jo, N.C. Nersisyan, H.H., Chun, B.S., Lee H.H. and Lee J.H. (2013). Purification of nuclear grade Zr scrap as he high purity dense Zr deposits from Zirlo scrap by electrorefining in LiF-KF-ZrF<sub>4</sub> Molten fluorides, *J. Nucl. Mater.*, 436, 130-138.
- Poriel, L., Favre-Réguillon, A., Pellet-Rostaing, S., and Lemaire, M. (2006). Zirconium and hafnium separation, part 2. Solid/liquid extraction in hydrochloric acid aqueous solution with anion exchange resins. *Sep. Sci. Technol.*, 41(12), 2711-2722.
- Trubert, D., Monroy, Guzman, F., Le Naour, C., Brillard, L., Hussonnois, M. and Constantinescu, O. (1998). : Behaviour of Zr, Hf, Nb, Ta and Pa on macroporous anion exchangers in chloride-fluoride media., *Anal. Chim. Acta*, 374, 149-158.
- Xie, F., Zhang, T.A., Dresinger, D., Doyle, F. (2014). A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions. *Minerals Engineering*, 56, 10–28.

# **N-SİKLOHEKSİLMETAKRİLAMİT (NCMA) MONOMERİ ile D-Limonen MONOMERİNİN KOPOLİMERİZASYONU: YENİ (LİMONEN-co-NCMA) SENTEZİ ve KARAKTERİZASYONU**

**Hülya ELMALI GÜLBAŞ\* & Nevin ÇANKAYA\*\***

*\*Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi Programı,  
[hulya.elmali@usak.edu.tr](mailto:hulya.elmali@usak.edu.tr)*

*\*\*Uşak Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü,  
[nevin.cankaya@usak.edu.tr](mailto:nevin.cankaya@usak.edu.tr)*

## **GİRİŞ**

Son yıllarda artan endüstrileşme ile polimerlerin kullanım alanları artmaktadır. Özellikle endüstriyel alanda ihtiyaç duyulan farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip polimerlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Yeni ürün geliştirmeye yönelik bilimsel çalışmalar son yıllarda artmaktadır [1]. Polimerik malzemelerin düşük yoğunlukta olmaları, zayıf ısı ve elektriksel iletkenliği, yüksek mekanik dayanım ve esnekliğe sahip olmaları ve düşük maliyetleri nedeniyle kullanım alanı oldukça yaygındır [2,3].

Endüstriyel olarak aranan kimyasal fiziksel özelliklere sahip fonksiyonel polimerlerle ilgili yapılan çalışmalar, farklı substitüentlere sahip monomerlerin sentezi ve bunların polimerik özelliklere olan etkisi üzerine yoğunlaşmıştır [4]. Fonksiyonel polimer sentezinde en sık kullanılan monomerlerden bir tanesi akrilat ve metakrilat türevleridir. Metakrilat grubu monomerler optik geçirgenliği, iyi mekanik ve termal dayanımlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler [5-7]. Metakrilat grubu monomerlerin biyolojik aktiviteleri nedeni ile tıp uygulamalarında, ortopedi alanında, diş dolgusu uygulamalarında, ilaç dağıtım sistemlerinde ve biyokimyasal sensör çalışmaları gibi birçok farklı alanda çalışılmaktadır [8-9].

Endüstriyel uygulamaların ihtiyaç duyduğu kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin sentezinde kopolimerizasyon, oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Yapı-özellik ilişkisi kopolimerizasyon çalışmalarında en çok araştırılan konulardandır [10-11]. Polimer malzemelerinin çoğunun petrol kaynaklı olması nedeniyle sürdürülebilir doğaya dost polimer eldesi, önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Sürdürülebilir polimerizasyon çalışmalarında kullanılan en önemli

kaynaklardan birisi, çok farklı kaynaklardan (çeşitli bitkiler, bazı böcekler, mantarlar ve deniz mikroorganizmaları gibi) elde edilebilen, organik bileşikler içerisinde oldukça geniş yer kaplayan isopren türevi olan terpenlerdir. Terpenler sahip oldukları fonksiyonel gruplarıyla ve optikçe aktif olmaları nedeniyle homopolimer ve kopolimer sentezinde ticari önemi olan monomerlerdir. Limonen ise, pek çok turunçgilde bulunan optikçe aktif monosiklik ve bifonksiyonel olan bir terpendir [12-13].

## **DENEYSEL YÖNTEM**

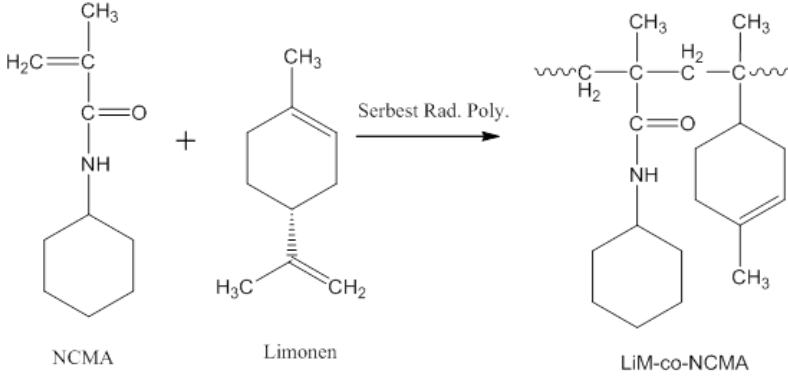
### **1. Kullanılan Malzemeler ve Karakterizasyon Teknikleri**

Bu çalışmada, kopolimer sentezi için kullanılan tüm çözücü ve reaktifler ticari olarak satın alınarak, gerekli saflaştırma işlemlerine tabi tutulduktan sonra kullanılmıştır. N-sikloheksilmetakrilamit (NCMA) monomerinin sentezi için kullanılan kimyasallar sikloheksilamin, metakrioloil klorür, trietilamin ve aseton (Merck), kopolimer sentezinde kullanılan D-Limonen, başlatıcı olarak kullanılan benzoilperoksit (Sigma), 1,4-Dioksan, Etanaol (Merck) ticari olarak satın alınmıştır.

FT-IR (Fourier Dönüşümlü Infrared) spektrumu için; Perkin Elmer Spectrum Two (UATR) IR Spektrometresi, <sup>1</sup>H NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) spektrumu için; CDCl<sub>3</sub>(döterokloroform) çözücüsüyle oda sıcaklığında TMS'nin iç standart olarak kullanıldığı Bruker 400 MHz Spektrometre kullanılmıştır.

### **2. Limonen-co- NCMA Kopolimerinin Sentezi**

Kopolimerizasyon eldesi için öncelikle, NCMA monomeri literatüre göre sikloheksilaminin metakrioloilklorür ile (Et)<sub>3</sub>N varlığında açılma reaksiyonu ile % 85 verimle sentezlenmiştir [14-15]. Kopolimerizasyon reaksiyonu için serbest radikal polimerizasyon yöntemi kullanılmıştır. Kopolimerizasyon reaksiyonu doğal bir monomer olan D-limonen ile sentezlenen NCMA monomerinin molce 1:1 oranında alınarak serbest radikalik başlatıcı olarak benzoilperoksit (BPO) varlığında, 1,4-dioksan çözücüsü ile 70 °C'de gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen limonen-co-NCMA kopolimeri, etanolden iki defa kristallendirilerek saflaştırılmıştır. Literatürde ilk defa sentezlenen limonen-co-NCMA kopolimerinin yapısı, spektroskopik analiz yöntemleri Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FT-IR) ve Proton Nükleer Rezonans Spektroskopisi (<sup>1</sup>H-NMR) ile karakterize edilmiştir. Limonen-co-NCA kopolimerinin sentez şeması Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Limonen-co-NCMA'nın sentez şeması

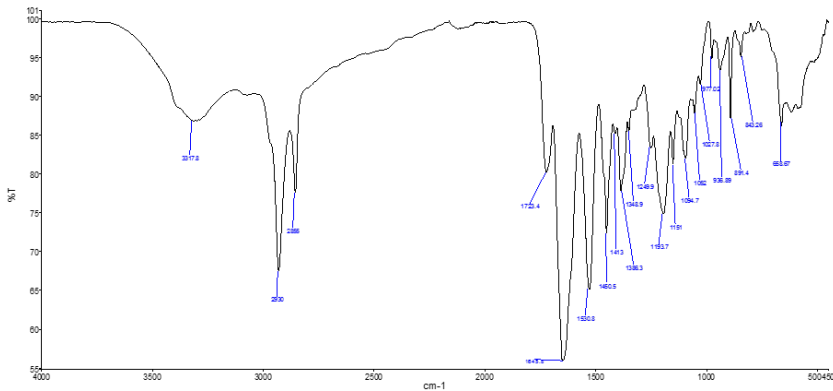
## BULGULAR VE TARTIŞMA

### 1. Sentezlenen Kopolimerin Karakterizasyonu

Sentezlenen limonen-co-NCMA kopolimerinin yapısı, klasik spektroskopik analiz yöntemleri FT-IR ve <sup>1</sup>H-NMR ile karakterize edilmiştir.

#### 1. 1. Kopolimerin FTIR Spektrum Analizi

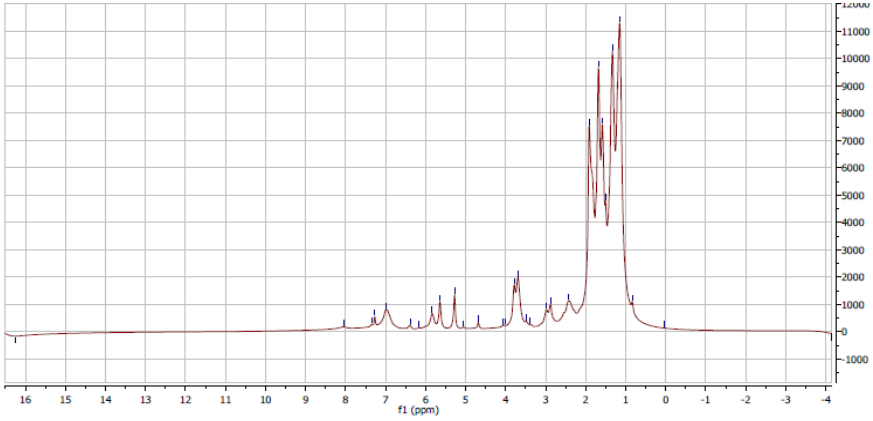
Limonen-co-NCMA'ya ait FT-IR spektrumunu incelendiğinde amit karbonil grubuna ait olan pik 1723 cm<sup>-1</sup>, NH grubuna ait eğilme piki 1530 cm<sup>-1</sup>, NH gerilme piki 3317 cm<sup>-1</sup>'de gözlemlenmiştir. Limonen-co-NCMA'ya ait FT-IR spektrumu Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Limonen-co-NCMA'ya ait FT-IR Spektrumu

## 1. 2. Kopolimerin $^1\text{H-NMR}$ Spektrum Analizi

Limonen-co-NCMA'ya ait  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu incelendiğinde ise, 7.2 ppm'de çözücü piki, -NH grubuna ait pik 8.05 ppm'de, NH grubuna komşu -CH ait pik 3.70 ppm'de, NCMA sikloheksan halkasındaki protonlar 1.68-1.15 ppm'de, Limonen sikloheksan halkasında endosiklik ve exosiklik -CH protonları 5.6-5.3 ppm'de sikloheksan -CH<sub>2</sub> 1.3 ppm'de gözlemlenmiştir. Limonen-co-NCMA'ya ait  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu, Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Limonen-co-NCMA'nın  $^1\text{H-NMR}$  Spektrumu

## SONUÇLAR

Bu çalışmada N-sikloheksilmetakrilamit (NCMA) monomerinin D-limonen doğal monomeriyle kopolimeri, serbest radikal polimerizasyonu sentezlenmiştir. Kopolimerin yapısı klasik spektroskopik yöntemler ile FT-IR,  $^1\text{H-NMR}$  karakterize edilmiştir. Elde edilen spektroskopik analiz verilerine göre literatürde ilk defa sentezlenen, yenilenebilir, farklı alanlarda olası uygulama potansiyeli olan limonen-co-MPAEMA kopolimerinin sentezi başarı gerçekleştirilmiştir.



## KAYNAKLAR

1. İsmail O., Kuyulu, A., Akrilik asit esaslı süper absorban kopolimerlerin sentezi ve bahçe bitkilerine uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3, 33-40, 2003.
2. Zengin H.B., Basan S., Ekberov O.H., Maleik Anhidrit-Stiren Kopolimerinin Amid ve İmid Türevlerinin Sentezi ve Isısal Davranışları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 26(2), 2005.
3. Nie L., Narayan R., Grafting cellulose acetate with styrene maleic anhydride random copolymers for improved dimensional stability of cellulose acetate, Journal of Applied Polymer Science, 54, 601-607, 1994.
4. Barım G., Coşkun M., (2,3-Difenil-1,3-oksazolidin-5-il)metil metakrilat'ın metil metakrilat ile kopolimerlerinin sentezi, karakterizasyonu ve termal özellikleri, Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 75-85, 2012.
5. Soykan C., İltter Z., Alkil metakrilatların glisidilmetakrilat ile kopolimerlerinin sentezi ve karakterizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(1-2), 103-110, 2001.
6. Nicholson J.W., Brookman P.J., Lacy O. M., Sayers G.S., Wilson A.D., A study of the nature and formation of zinc polyacrylate cement using Fourier transform infrared spectroscopy, Journal of Biomedical Materials Research, 22, 623-631, 1988.
7. Parker S., Braden M., Water absorption of methacrylate soft lining materials, Biomaterials, 10, 91-95, 1989.
8. Patel J.N., Dolia M.B., Patel K.H., Patel R.M., Homopolymer of 4-chloro-3-methyl Phenyl Methacrylate and its Copolymers with Butyl Methacrylate: Synthesis, Characterization, Reactivity Ratios and Antimicrobial Activity, Journal of Polymer Research, 13, 219-228, 2006.
9. Açıkbaş Y., Çankaya N., Capan R., Erdogan M., Soykan C., Swelling behavior of the 2-(4-methoxyphenylamino)-2-oxoethyl methacrylate monomer LB thin film exposed to various organic vapors by quartz crystal microbalance technique, Journal of Macromolecular Science, Part A:Pure and Applied Chemistry, 53(1), 18-25, 2016.
10. Çankaya N., Besci G, Synthesis, characterization, thermal properties and reactivity ratios of methacrylate copolymers including methoxy group, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University/Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,

11. Bayram O., Wettability, optical and chemical characteristics of plasma-polymerized D-limonene thin films, Omer Halis University Journal of Engineering Sciences, 8(1), 567-575, 2019.
12. Sharma S., Srivastava A. K., Radicl copolymerization of limonenen with acrylonitrile: kinetics and mechanism, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 42(3), 485-502, 2003.
13. Charoensumran P., Ajiro, H., Cationic moities in polystyrene gels swollen with D-limonene improved transdermal delivery system, Polymers, 10 (1200), 1-13, 2018.
14. Akman, F., Cankaya, N., A study of experimental and theoretical analysis of N-cyclohexylmethacrylamide monomer based on DFT and HF computations”, Pigment&Resin Technology, 45 (5), 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1108/PRT-04-2015-0039>
15. Acikbas, Y., Capan, R., Erdogan, M., Cankaya N., and Soykan C.,, Characterization of N-cyclohexylmethacrylamide LB Thin Films for Room Temperature Vapor Sensor Application, Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry, 53 (3), 132-139, 2016.

**MATHEMATICS/ MATEMATİK**

# ON A STUDY DUAL $k$ -PELL LUCAS BICOMPLEX NUMBERS

Şule ÇÜRÜK & Serpil HALICI  
*Pamukkale Üniversitesi, shalici@pau.edu.tr*

**Abstract.** In this study, we examined the dual numbers and have given them the characteristics of these numbers. Then, we have given the definition, properties and related concepts about bicomplex numbers. And then, we have defined the number of dual  $k$ -Pell-Lucas bicomplex numbers which have not been found for the first time in the literature and we examined the norm and conjugate properties of these numbers. We have given equations about conjugates. In addition, we have given some important characteristics of these newly defined numbers, and we have written the recursive correlations of these numbers. Using these relations we have given some important identities such as Vajda', Honsberger's and d'Ocagne identities.

**Key Words.** Dual numbers, Bicomplex numbers, Pell-Lucas numbers

**AMS Classification:** 11Y55, 11B39, 11B37

## Introduction

The elements of the sequence  $k$ -Pell-Lucas,  $\{Q_{k,n}\}_{n \geq 0}$ , are defined as follows[5].

$$Q_{k,n} = 2Q_{k,n-1} + kQ_{k,n-2}, \quad k \in \mathbb{Z}^+, n \geq 2$$

Where the initial values are  $Q_{k,0} = 2, Q_{k,1} = 2$ .

$$\{Q_{k,n}\}_{n \geq 0} = \{2, 2, 4 + 2k, 8 + 6k, 16 + 12k + k^2, \dots, 2Q_{k,n-1} + kQ_{k,n-2}, \dots\}$$

Some of the known identities are as follows.

$$Q_{k,n+1} - Q_{k,n} = 2P_{k,n},$$

$$Q_{k,n} + Q_{k,n+1} = 2P_{k,n+1},$$

$$Q_{k,n+1} + Q_{k,n-1} = 4P_{k,n}.$$

where  $P_{k,n}$  is  $n$ th  $k$  –Pell number.

In [5] the Binet formula of this sequence is given by

$$Q_{k,n} = (1 + \sqrt{1+k})^n + (1 - \sqrt{1+k})^n$$

For the recurrence relation  $x^2 - 2x - k = 0$ , the following are true.

$$\alpha + \beta = 2, \alpha\beta = -k, \alpha - \beta = 2\sqrt{1+k}.$$

As known, bicomplex numbers were first studied by Segre in 1892 and given as follows[15].

$$\mathbb{BC} = \{b | b = b_1 + b_2i + b_3j + b_4ij; i^2 = j^2 = -1, (ij)^2 = 1\}$$

In 1892, Segre defined bicomplex numbers which are neglected because of their zero divisors but now they are attracting attention of researchers.

It should be noted that the multiplication of bicomplex numbers is similar to multiplication of real quaternions. If we want to say some differences between these two sets of numbers, we can list them as bicomplex numbers are commutative, have zero divisors and non-trivial idempotent elements, but real quaternions are non-commutative and don't have zero divisors and non-trivial idempotent elements. That is, the following equations are satisfied for elements of the set  $\mathbb{BC}$ .

$$ij = ji = k, \quad jk = kj = -i, \quad ki = ik = -j.$$

Recently, since the mathematical structure of quantum mechanics is studied on the complex number field, there are many authors working(see,[ 2,3,4,5,6,9,10,12] )

In this work, we first investigate some properties of bicomplex numbers by examining the conjugates and norms. Later, we have introduced a new sequence of bicomplex numbers with coefficient from Pell-Lucas number sequence, and gave some fundamental properties of this new sequence. Also, we gave some generalized identities such as Catalan identity, d'Ocagne's Identity, Honsberger formula, that the elements of this sequence provided.

The  $n$ th  $k$  –Pell-Lucas bicomplex numbers are considered as follows.

$$BQ_{k,n} = Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} + jQ_{k,n+2} + ijQ_{k,n+3}$$

Similarly, we can construct  $k$ -Pell-Lucas bicomplex number sequence as follows.

$$\{BQ_{k,n}\}_{n \geq 0} = \{BQ_{k,n} : BQ_{k,n} = 2BQ_{k,n-1} + kBQ_{k,n-2} : k \in \mathbb{Z}^+, n \geq 2\}$$

Where  $BQ_{k,0} = 2 + 2i + (4 + 2k)j + (8 + 6k)ij$  and  $BQ_{k,1} = 2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 16k + 2k^2)ij$ .

After some calculations, we have

$$\begin{aligned} BP_{k,2} &= 2BP_{k,1} + kBP_{k,0} \\ &= 4 + 2k + (8 + 6k)i + (16 + 16k + 2k^2)j \\ &\quad + (32 + 40k + 10k^2)ij. \end{aligned}$$

So we get,

$$BP_{k,n+1} = 2BP_{k,n} + kBP_{k,n-1}.$$

## 2- Dual k-Pell Bicomplex Numbers

Dual numbers are binary members or a member of the 2-parameter families of the complex numbers system, called generalized complex numbers. Any dual number is written as follows.

$$z = x + \varepsilon y$$

Where  $(x, y) \in \mathbb{R}^2$  and  $\varepsilon$  is a nilpotent number, so  $\varepsilon^2 = 0$  and  $\varepsilon \neq 0$ . Thus,

$$\mathbb{D} = \mathbb{R}[\varepsilon] = \{z = x + \varepsilon y \mid (x, y) \in \mathbb{R}^2, \varepsilon^2 = 0, \varepsilon \neq 0\}$$

Now, we define a dual  $k$ -Pell-Lucas number as follows.

$$\widehat{Q}_{k,n} = Q_{k,n} + \varepsilon Q_{k,n+1}, \quad k \in \mathbb{Z}^+$$

Similarly, we can define any element of the dual sequence  $\{\widehat{BQ}_{k,n}\}_{n \geq 0}$  as

$$\widehat{BQ}_{k,n} = BQ_{k,n} + \varepsilon BQ_{k,n+1}$$

Where  $BQ_{k,n}$  is  $n$  th  $k$  -Pell-Lucas bikomplex number.

**Theorem 1.** The elements of dual sequence  $\{\widehat{BQ}_{k,n}\}_{n \geq 0}$  are satisfied the following relation.

$$\widehat{BQ}_{k,n} = 2\widehat{BQ}_{k,n-1} + k\widehat{BQ}_{k,n-2}, \quad n \geq 1.$$

Where  $\widehat{BQ}_{k,0}$  and  $\widehat{BQ}_{k,1}$  are

$$\widehat{BQ}_{k,0} = BQ_{k,0} + \varepsilon BQ_{k,1} \text{ and } \widehat{BQ}_{k,1} = BQ_{k,1} + \varepsilon BQ_{k,2},$$

respectively.

**Proof.** For  $n = 2$ , we have  $\widehat{BQ}_{k,2} = 2\widehat{BQ}_{k,1} + k\widehat{BQ}_{k,0}$ . Because of the fact that

$$\widehat{BQ}_{k,1} = BQ_{k,1} + \varepsilon BQ_{k,2} \text{ and } k\widehat{BQ}_{k,0} = kBQ_{k,0} + k\varepsilon BQ_{k,1}.$$

So,  $2\widehat{BQ}_{k,1} + k\widehat{BQ}_{k,0} = (2BQ_{k,1} + kBQ_{k,0}) + \varepsilon(2BQ_{k,2} + kBQ_{k,1})$  is follows.

$$\begin{aligned} 2(BQ_{k,1} + \varepsilon BQ_{k,2}) + k(BQ_{k,0} + \varepsilon BQ_{k,1}) &= 2\widehat{BQ}_{k,1} + k\widehat{BQ}_{k,0} \\ &= \widehat{BQ}_{k,2} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \widehat{BQ}_{k,0} &= 2 + 2i + (4 + 2k)j + (8 + 6k)ij \\ &\quad + \varepsilon(2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k \\ &\quad + k^2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widehat{BQ}_{k,1} &= 2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k + k^2)j \\ &\quad + \varepsilon((4 + k) + (8 + 6k)i + (16 + 12k + k^2)j \\ &\quad + (32 + 40k + 10k^2)ij). \end{aligned}$$

We can also write the number  $\widehat{BQ}_{k,n}$  differently. Since

$$\begin{aligned} \widehat{BQ}_{k,n} &= (Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} + jQ_{k,n+2} + ijQ_{k,n+3}) \\ &\quad + \varepsilon(Q_{k,n+1} + iQ_{k,n+2} + jQ_{k,n+3} + ijQ_{k,n+4}) \end{aligned}$$

We write

$$\widehat{BQ_{k,n}} = \widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+2}} + ij\widehat{Q_{k,n+3}}$$

Where  $\widehat{Q_{k,n}}$  is the  $n$ th dual  $k$ -Pell-Lucas number.

For the number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  we can define four conjugates.

$$\overline{\widehat{BQ_{k,n}}} = \widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}},$$

$$\widehat{BQ_{k,n}}^i = \widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}},$$

$$\widehat{BQ_{k,n}}^j = \widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}},$$

$$\widehat{BQ_{k,n}}^{ij} = \widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}} + ij\widehat{Q_{k,n+3}}.$$

Now, using the definitions conjugate we can give the following theorem.

**Corollary.** For the number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  the following equalities are satisfied.

- 1)  $\widehat{BQ_{k,n}} + \overline{\widehat{BQ_{k,n}}} = 2\widehat{Q_{k,n}}$
- 2)  $\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,n}}^i = 2(\widehat{Q_{k,n}} + j\widehat{Q_{k,n+2}})$
- 3)  $\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,n}}^j = 2(\widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}})$
- 4)  $\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} = 2(\widehat{Q_{k,n}} + ij\widehat{Q_{k,n+3}})$

**Corollary.** For the number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  the relationships between the conjugates are as follows.

- 1)  $\widehat{BQ_{k,n}}^i + \widehat{BQ_{k,n}}^j = 2(\widehat{Q_{k,n}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}})$
- 2)  $\widehat{BQ_{k,n}}^i + \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} = 2(\widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}})$
- 3)  $\widehat{BQ_{k,n}}^j + \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} = 2(\widehat{Q_{k,n}} - j\widehat{Q_{k,n+2}})$
- 4)  $\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,n}}^i + \widehat{BQ_{k,n}}^j + \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} = 4\widehat{Q_{k,n}}$

**Corollary.** For the number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  the subtraction between conjugates is as follows.

- 1)  $\overline{\widehat{BQ_{k,n}}} - \widehat{BQ_{k,n}}^i = -2j\widehat{Q_{k,n+2}}$
- 2)  $\overline{\widehat{BQ_{k,n}}} - \widehat{BQ_{k,n}}^j = -2i\widehat{Q_{k,n+1}}$



$$\begin{aligned}
3) \quad \overline{\widehat{BQ_{k,n}}} - \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} &= -2k\widehat{Q_{k,n+3}} \\
4) \quad \widehat{BQ_{k,n}}^i - \widehat{BQ_{k,n}}^j &= -2(i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}}) \\
5) \quad \widehat{BQ_{k,n}}^i - \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} &= 2j(\widehat{Q_{k,n+2}} - i\widehat{Q_{k,n+3}}) \\
6) \quad \widehat{BQ_{k,n}}^j - \widehat{BQ_{k,n}}^{ij} &= 2i(\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+3}}).
\end{aligned}$$

**Proof.** From the definition of dual numbers and conjugates, the proof can be easily made.

Using the definitions norm and conjugate we give the following theorem.

**Theorem.** For the numbers  $\widehat{BQ_{k,n}}$  the following equalities are satisfied.

i)  $Nr\widehat{BQ_{k,n}}$  is

$$\begin{aligned}
&\widehat{Q_{k,n}}^2 + \widehat{Q_{k,n+1}}^2 + \widehat{Q_{k,n+2}}^2 - \widehat{Q_{k,n+3}}^2 + 2(i\widehat{Q_{k,n+2}}\widehat{Q_{k,n+3}} \\
&\quad + j\widehat{Q_{k,n+1}}\widehat{Q_{k,n+3}} - k\widehat{Q_{k,n+1}}\widehat{Q_{k,n+2}})
\end{aligned}$$

ii)  $Nr\widehat{BQ_{k,n}}^i$  is

$$\begin{aligned}
&\widehat{Q_{k,n}}^2 + \widehat{Q_{k,n+1}}^2 - \widehat{Q_{k,n+2}}^2 - \widehat{Q_{k,n+3}}^2 + 2j(\widehat{Q_{k,n}}\widehat{Q_{k,n+2}} \\
&\quad - \widehat{Q_{k,n+1}}\widehat{Q_{k,n+3}})
\end{aligned}$$

iii)  $Nr\widehat{BQ_{k,n}}^j$  is

$$\widehat{Q_{k,n}}^2 - \widehat{Q_{k,n+1}}^2 + \widehat{Q_{k,n+2}}^2 - \widehat{Q_{k,n+3}}^2 + 2i(\widehat{Q_{k,n}}\widehat{Q_{k,n+1}} + \widehat{Q_{k,n+2}}\widehat{Q_{k,n+3}})$$

iv)  $Nr\widehat{BQ_{k,n}}^{ij}$  is

$$\begin{aligned}
&\widehat{Q_{k,n}}^2 + \widehat{Q_{k,n+1}}^2 + \widehat{Q_{k,n+2}}^2 - \widehat{Q_{k,n+3}}^2 + 2ij(\widehat{Q_{k,n}}\widehat{Q_{k,n+3}} - \\
&\quad \widehat{Q_{k,n+1}}\widehat{Q_{k,n+2}})
\end{aligned}$$

**Proof.** From definition of norm, we write

$$i) \quad Nr\widehat{BQ_{k,n}} = \overline{\widehat{BQ_{k,n}}\widehat{BQ_{k,n}}}$$

$$\begin{aligned}
Nr\widehat{BQ_{k,n}} &= (\widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+2}} + ij\widehat{Q_{k,n+3}})(\widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} \\
&\quad - j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}})
\end{aligned}$$

After some calculations, we get

$$\begin{aligned} \mathcal{N}r\widehat{BQ}_{k,n} &= \widehat{Q}_{k,n}^2 + \widehat{Q}_{k,n+1}^2 + \widehat{Q}_{k,n+2}^2 - \widehat{Q}_{k,n+3}^2 + 2(i\widehat{Q}_{k,n+2}\widehat{Q}_{k,n+3} \\ &\quad + j\widehat{Q}_{k,n+1}\widehat{Q}_{k,n+3} - k\widehat{Q}_{k,n+1}\widehat{Q}_{k,n+2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii) } \mathcal{N}r\widehat{BQ}_{k,n}^i &= \widehat{BQ}_{k,n}\widehat{BQ}_{k,n}^i \\ &= (\widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} + j\widehat{Q}_{k,n+2} + ij\widehat{Q}_{k,n+3})(\widehat{Q}_{k,n} \\ &\quad - i\widehat{Q}_{k,n+1} + j\widehat{Q}_{k,n+2} - ij\widehat{Q}_{k,n+3}) \\ &= \widehat{Q}_{k,n}^2 + \widehat{Q}_{k,n+1}^2 - \widehat{Q}_{k,n+2}^2 - \widehat{Q}_{k,n+3}^2 + 2j(\widehat{Q}_{k,n}\widehat{Q}_{k,n+2} \\ &\quad - \widehat{Q}_{k,n+1}\widehat{Q}_{k,n+3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iii) } \mathcal{N}r\widehat{BQ}_{k,n}^j &= \widehat{BQ}_{k,n}\widehat{BQ}_{k,n}^j \\ &= (\widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} + j\widehat{Q}_{k,n+2} + ij\widehat{Q}_{k,n+3})(\widehat{Q}_{k,n} \\ &\quad + i\widehat{Q}_{k,n+1} - j\widehat{Q}_{k,n+2} - ij\widehat{Q}_{k,n+3}) \\ &= \widehat{Q}_{k,n}^2 - \widehat{Q}_{k,n+1}^2 + \widehat{Q}_{k,n+2}^2 - \widehat{Q}_{k,n+3}^2 + 2i(\widehat{Q}_{k,n}\widehat{Q}_{k,n+1} \\ &\quad + \widehat{Q}_{k,n+2}\widehat{Q}_{k,n+3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iv) } \mathcal{N}r\widehat{BQ}_{k,n}^{ij} &= \widehat{BQ}_{k,n}\widehat{BQ}_{k,n}^{ij} \\ &= (\widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} + j\widehat{Q}_{k,n+2} + ij\widehat{Q}_{k,n+3})(\widehat{Q}_{k,n} \\ &\quad - i\widehat{Q}_{k,n+1} - j\widehat{Q}_{k,n+2} + ij\widehat{Q}_{k,n+3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{N}r\widehat{BQ}_{k,n}^{ij} &= \widehat{Q}_{k,n}^2 + \widehat{Q}_{k,n+1}^2 + \widehat{Q}_{k,n+2}^2 - \widehat{Q}_{k,n+3}^2 + 2ij(\widehat{Q}_{k,n}\widehat{Q}_{k,n+3} \\ &\quad - \widehat{Q}_{k,n+1}\widehat{Q}_{k,n+2}) \end{aligned}$$

It should be noted that dual k-Pell-Lucas bicomplex numbers with the negative indices can be given.

**Corollary.** Dual k-Pell-Lucas bicomplex numbers  $\widehat{BQ}_{k,-n}$  are given as

$$(-1)^n [Q_{k,n} - iQ_{k,n-1} + jQ_{k,n-2} - ijQ_{k,n-3} + \varepsilon(-Q_{k,n-1} + iQ_{k,n-2} - jQ_{k,n-3} + ijQ_{k,n-4})]$$

**Proof.** Since  $Q_{-n} = (-1)^n Q_n$  and  $Q_0 = 2$  we write

$$Q_{k,-n} = (-1)^n Q_{k,n}$$

If we write  $-n$  instead of  $n$  in the following equation

$$BQ_{k,n} = Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} + jQ_{k,n+2} + ijQ_{k,n+3},$$

then we get

$$BQ_{k,-n} = (-1)^n Q_{k,n} + i(-1)^{n+1} Q_{k,n-1} + j(-1)^{n+2} Q_{k,n-2} + ij(-1)^{n+3} P_{k,n-3}.$$

It follows from that

$$BQ_{k,-n} = (-1)^n (Q_{k,n} - iQ_{k,n-1} + jQ_{k,n-2} - ijQ_{k,n-3})$$

For dual of these numbers since  $\widehat{BQ_{k,n}} = BQ_{k,n} + \varepsilon BQ_{k,n+1}$  we can write

$$\widehat{BQ_{k,-n}} = BQ_{k,-n} + \varepsilon BQ_{k,-n+1}.$$

Hence, we get  $\widehat{BQ_{k,-n}}$  is

$$(-1)^n (Q_{k,n} - iQ_{k,n-1} + jQ_{k,n-2} - ijQ_{k,n-3}) + \varepsilon(-1)^{n+1} (Q_{k,n-1} - iQ_{k,n-2} + jQ_{k,n-3} - ijQ_{k,n-4}).$$

That is,

$$\widehat{BP_{k,-n}} = (-1)^n [Q_{k,n} - iQ_{k,n-1} + jQ_{k,n-2} - ijQ_{k,n-3} + \varepsilon(-Q_{k,n-1} + iQ_{k,n-2} - jQ_{k,n-3} + ijQ_{k,n-4})].$$

Let's give the generating function for dual  $k$ -Pell-Lucas bicomplex numbers. The generating function of the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$g_{\widehat{BQ_{k,n}}}(t) = G(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \widehat{BQ_{k,n}} t^n.$$

**Theorem.** The generating function for elements of the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$G(t) = \frac{\widehat{BQ_{k,0}} + (\widehat{BQ_{k,1}} - 2\widehat{BQ_{k,0}})t}{1 - 2t - kt^2}.$$

Where the initial values  $\widehat{BQ_{k,0}}$  and  $\widehat{BQ_{k,1}}$  are

$$2 + 2i + (4 + 2k)j + (8 + 6k)ij \\ + \varepsilon(2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k + k^2))$$

and

$$2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k + k^2)ij \\ + \varepsilon((4 + k) + (8 + 6k)i + (16 + 12k + k^2)j \\ + (32 + 40k + 10k^2)ij).$$

**Proof.**  $G(t) = \widehat{BQ_{k,0}} + \widehat{BQ_{k,1}}t + \widehat{BQ_{k,2}}t^2 + \dots + \widehat{BQ_{k,n}}t^n + \dots$

$$-2tG(t) = -2(\widehat{BQ_{k,0}}t + \widehat{BQ_{k,1}}t^2 + \widehat{BQ_{k,2}}t^3 + \dots + \widehat{BQ_{k,n}}t^{n+1} + \dots)$$

$$-kt^2G(t) = -k(\widehat{BQ_{k,0}}t^2 + \widehat{BQ_{k,1}}t^3 + \widehat{BQ_{k,2}}t^4 + \dots + \widehat{BQ_{k,n}}t^{n+2} + \dots)$$

From these above equations, we obtain the following formula.

$$(1 - 2t - kt^2)G(t) = \widehat{BQ_{k,0}} + (\widehat{BQ_{k,1}} - 2\widehat{BQ_{k,0}})t.$$

From that, we get

$$G(t) = \frac{\widehat{BQ_{k,0}} + (\widehat{BQ_{k,1}} - 2\widehat{BQ_{k,0}})t}{1 - 2t - kt^2}.$$

Where  $\widehat{BQ_{k,0}}$  and  $\widehat{BQ_{k,1}}$  are

$$\widehat{BQ_{k,0}} = 2 + 2i + (4 + 2k)j + (8 + 6k)ij \\ + \varepsilon(2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k + k^2))$$

and

$$\widehat{BQ_{k,1}} = 2 + (4 + 2k)i + (8 + 6k)j + (16 + 12k + k^2)ij \\ + \varepsilon((4 + k) + (8 + 6k)i + (16 + 12k + k^2)j \\ + (32 + 40k + 10k^2)ij).$$

$$\widehat{BQ_{k,1}} - 2\widehat{BQ_{k,0}} = 2[-1 + ki + 2kj + (k^2 + 2k)ij + \\ k\varepsilon(2 + i + (k + 2)j + (3k + 4)ij)].$$

**Theorem.** The Binet formula for elements of the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$\widehat{BQ}_{k,n} = \frac{\alpha\alpha^n + \beta\beta^n}{\alpha - \beta}$$

Where

$$\underline{\alpha} = 2(\alpha - 1)(1 + i\alpha + j\alpha^2 + ij\alpha^3)(1 + \alpha\varepsilon)$$

and

$$\underline{\beta} = 2(1 - \beta)(1 + i\beta + j\beta^2 + ij\beta^3)(1 + \beta\varepsilon).$$

Note that this formula can also be written as follow.

$$\widehat{BQ}_{k,n} = \widehat{BQ}_{k,1}P_{k,n} + k\widehat{BQ}_{k,0}P_{k,n-1}$$

where  $P_{k,n}$  is  $n$ th  $k$ -Pell number.

**Proof.** The general solution of the recurrence relationship is as follows.

$$\widehat{BQ}_{k,n} = A\alpha^n + B\beta^n$$

For  $n = 0$  and  $n = 1$  we get the initial values for this relation:

$$\widehat{BQ}_{k,0} = A + B, \quad \widehat{BQ}_{k,1} = A\alpha + B\beta$$

If we solve this system, we find the values A and B as in the following equation.

$$A = \frac{\widehat{BQ}_{k,1} - \beta\widehat{BQ}_{k,0}}{\alpha - \beta}$$

$$B = \frac{\alpha\widehat{BQ}_{k,0} - \widehat{BQ}_{k,1}}{\alpha - \beta}$$

If we write these values in the general solution, then we get the following equation.

$$\widehat{BQ}_{k,n} = \frac{1}{\alpha - \beta} [(\widehat{BQ}_{k,1} - \beta\widehat{BQ}_{k,0})\alpha^n + (\alpha\widehat{BQ}_{k,0} - \widehat{BQ}_{k,1})\beta^n].$$

So, we have

$$\widehat{BQ}_{k,n} = \frac{\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n}{\alpha - \beta}.$$

If we want to prove the different representation, we obtain the following equation from the general solution of the recurrence relation.

$$\begin{aligned}\widehat{BQ}_{k,n} &= \frac{1}{\alpha - \beta} [\widehat{BQ}_{k,1}(\alpha^n - \beta^n) - \widehat{BQ}_{k,0}(\beta\alpha^n - \alpha\beta^n)] \\ \widehat{BQ}_{k,n} &= \frac{1}{\alpha - \beta} [\widehat{BQ}_{k,1}(\alpha^n - \beta^n) + k\widehat{BQ}_{k,0}(\beta\alpha^{n-1} - \alpha\beta^{n-1})] \\ \widehat{BQ}_{k,n} &= \widehat{BQ}_{k,1}P_{k,n} + k\widehat{BQ}_{k,0}P_{k,n-1}.\end{aligned}$$

Thus, the proof is completed.

**Theorem.** The Cassini's Identity for the sequence  $\{\widehat{BQ}_{k,n}\}_{n \geq 0}$  is

$$\widehat{BQ}_{k,n-1}\widehat{BQ}_{k,n+1} - \widehat{BQ}_{k,n}^2 = \underline{\alpha}\underline{\beta}(-k)^{n-1}$$

Where,  $\underline{\alpha}\underline{\beta}$  is

$$4(1+k)(1+2\varepsilon)(1+k+2i)[1-k^2+2(2+k)j].$$

Note that this formula can also be written as follow.

$$(-k)^{n-1} \left( -\widehat{BQ}_{k,1}^2 + 2\widehat{BQ}_{k,0}\widehat{BQ}_{k,1} + k\widehat{BQ}_{k,0}^2 \right).$$

**Proof.** Using the Binet formula,  $\widehat{BQ}_{k,n-1}\widehat{BQ}_{k,n+1} - \widehat{BQ}_{k,n}^2$  is equal to this:

$$\begin{aligned}& \frac{1}{4(1+k)} \left[ (\underline{\alpha}\alpha^{n-1} + \underline{\beta}\beta^{n-1})(\underline{\alpha}\alpha^{n+1} + \underline{\beta}\beta^{n+1}) - (\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n)^2 \right] \\ &= \frac{1}{4(1+k)} \left( \underline{\alpha}^2\alpha^{2n} + \underline{\alpha}\underline{\beta}\alpha^{n-1}\beta^{n+1} + \underline{\alpha}\underline{\beta}\beta^{n-1}\alpha^{n+1} + \underline{\beta}^2\beta^{2n} - \underline{\alpha}^2\alpha^{2n} \right. \\ & \quad \left. - 2\underline{\alpha}\underline{\beta}\alpha^n\beta^n - \underline{\beta}^2\beta^{2n} \right)\end{aligned}$$

If the required simplifications are made, we get the following equation.

$$\widehat{BP}_{k,n-1}\widehat{BP}_{k,n+1} - \widehat{BP}_{k,n}^2 = \underline{\alpha}\underline{\beta}(-k)^{n-1}$$

Thus, the proof is completed.

**Theorem.** The Catalan's Identity for the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$\widehat{BQ_{k,n+m}}\widehat{BQ_{k,n-m}} - \widehat{BQ_{k,n}}^2 = \frac{(-k)^{n-m}}{4(1-k)} \underline{\alpha}\underline{\beta}[\alpha^{2m} + \beta^{2m} - 2(-k)^m]$$

**Proof:** If we use the Binet formula, we get the following equation.

$$\widehat{BQ_{k,n+m}}\widehat{BQ_{k,n-m}} - \widehat{BQ_{k,n}}^2 = \frac{1}{4(1+k)} \left[ (\underline{\alpha}\alpha^{n+m} + \underline{\beta}\beta^{n+m})(\underline{\alpha}\alpha^{n-m} + \underline{\beta}\beta^{n-m}) - (\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n)^2 \right]$$

If necessary corrections are made,

$$\widehat{BQ_{k,n+m}}\widehat{BQ_{k,n-m}} - \widehat{BQ_{k,n}}^2 = \frac{(-k)^{n-m}}{4(1-k)} \underline{\alpha}\underline{\beta}[\alpha^{2m} + \beta^{2m} - 2(-k)^m]$$

is obtained. Thus the proof is completed.

In the Catalan identity if we take  $m = 1$ , Cassini identity is obtained.

**Theorem.** The Honsberger Identity for the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$\begin{aligned} \widehat{BQ_{k,m-1}}\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,m}}\widehat{BQ_{k,n+1}} \\ = \frac{1}{4(1+k)} \left[ \underline{\alpha}^2 \alpha^{n+m-1} (1 + \alpha^2) + \underline{\beta}^2 \beta^{n+m-1} (1 + \beta^2) \right. \\ \left. + \underline{\alpha}\underline{\beta} (-k)^{m-1} (\alpha^{n-m+1} + \beta^{n-m+1}) (1 - k) \right]. \end{aligned}$$

**Proof.** Let us use the Binet Formula. Then we write

$$\widehat{BQ_{k,m-1}}\widehat{BQ_{k,n}} + \widehat{BQ_{k,m}}\widehat{BQ_{k,n+1}}$$

is follows.

$$\begin{aligned} \frac{1}{4(1+k)} \left[ (\underline{\alpha}\alpha^{m-1} + \underline{\beta}\beta^{m-1})(\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n) \right. \\ \left. + (\underline{\alpha}\alpha^m + \underline{\beta}\beta^m)(\underline{\alpha}\alpha^{n+1} + \underline{\beta}\beta^{n+1}) \right] \end{aligned}$$

$$\frac{1}{4(1+k)} (\underline{\alpha}^2 \alpha^{n+m-1} + \underline{\alpha} \underline{\beta} \alpha^{m-1} \beta^n + \underline{\alpha} \underline{\beta} \alpha^n \beta^{m-1} + \underline{\beta}^2 \beta^{n+m-1} \\ + \underline{\alpha}^2 \alpha^{n+m+1} + \underline{\alpha} \underline{\beta} \alpha^m \beta^{n+1} + \underline{\alpha} \underline{\beta} \beta^m \alpha^{n+1} \\ + \underline{\beta}^2 \beta^{n+m+1})$$

When the necessary actions are performed, we get the following equation.

$B\widehat{Q}_{k,m-1}B\widehat{Q}_{k,n} + B\widehat{Q}_{k,m}B\widehat{Q}_{k,n+1}$  is

$$\frac{1}{4(1+k)} [\underline{\alpha}^2 \alpha^{n+m-1} (1 + \alpha^2) + \underline{\beta}^2 \beta^{n+m-1} (1 + \beta^2) \\ + \underline{\alpha} \underline{\beta} (-k)^{m-1} (\alpha^{n-m+1} + \beta^{n-m+1}) (1 - k)]$$

Thus, the proof is completed.

**Theorem.** The d'Ocagne Identity for the sequence  $\{B\widehat{Q}_{k,n}\}_{n \geq 0}$  is

$$B\widehat{Q}_{k,m}B\widehat{Q}_{k,n+1} - B\widehat{Q}_{k,n}B\widehat{Q}_{k,m+1} \\ = \frac{\underline{\alpha} \underline{\beta}}{4(1+k)} [(-k)^m (\beta^{n+1-m} + \alpha^{n+1-m}) \\ - (-k)^n (\beta^{m+1-n} + \alpha^{m+1-n})]$$

**Proof:** Binet formula can be used to prove the proof.  $B\widehat{Q}_{k,m}B\widehat{Q}_{k,n+1} - B\widehat{Q}_{k,n}B\widehat{Q}_{k,m+1}$  is

$$\frac{1}{4(1+k)} [(\underline{\alpha} \alpha^m + \underline{\beta} \beta^m) (\underline{\alpha} \alpha^{n+1} + \underline{\beta} \beta^{n+1}) \\ - (\underline{\alpha} \alpha^n + \underline{\beta} \beta^n) (\underline{\alpha} \alpha^{m+1} + \underline{\beta} \beta^{m+1})]$$

When the necessary actions are performed, we get the following equation.

$$B\widehat{Q}_{k,m}B\widehat{Q}_{k,n+1} - B\widehat{Q}_{k,n}B\widehat{Q}_{k,m+1} \\ = \frac{\underline{\alpha} \underline{\beta}}{4(1+k)} (\alpha^m \beta^{n+1} + \beta^m \alpha^{n+1} - \alpha^n \beta^{m+1} \\ - \beta^n \alpha^{m+1})$$

From this we get



$$\begin{aligned} & \widehat{BQ_{k,m}BQ_{k,n+1}} - \widehat{BQ_{k,n}BQ_{k,m+1}} \\ &= \frac{\underline{\alpha}\underline{\beta}}{4(1+k)} [(-k)^m(\beta^{n+1-m} + \alpha^{n+1-m}) \\ & \quad - (-k)^n(\beta^{m+1-n} + \alpha^{m+1-n})] \end{aligned}$$

**Theorem.** The Vajda Identity for the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$\widehat{BQ_{k,n+i}BQ_{k,n+j}} - \widehat{BQ_{k,n}BQ_{k,n+i+j}} = \frac{(-k)^n}{4(1+k)} \underline{\alpha}\underline{\beta}(\beta^j - \alpha^j)(\alpha^i - \beta^i)$$

**Proof:** We use the Binet formula for the proof. The value

$$\widehat{BQ_{k,n+i}BQ_{k,n+j}} - \widehat{BQ_{k,n}BQ_{k,n+i+j}}$$

is

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4(1+k)} [(\underline{\alpha}\alpha^{n+i} + \underline{\beta}\beta^{n+i})(\underline{\alpha}\alpha^{n+j} + \underline{\beta}\beta^{n+j}) \\ & \quad - (\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n)(\underline{\alpha}\alpha^{n+i+j} + \underline{\beta}\beta^{n+i+j})] \end{aligned}$$

When the necessary algebraic operations are performed, we get the following equation.

$$\begin{aligned} & \widehat{BQ_{k,n+i}BQ_{k,n+j}} - \widehat{BQ_{k,n}BQ_{k,n+i+j}} \\ &= \frac{\underline{\alpha}\underline{\beta}}{4(1+k)} (\alpha^{n+i}\beta^{n+j} + \beta^{n+i}\alpha^{n+j} - \alpha^n\beta^{n+i+j} \\ & \quad - \beta^n\alpha^{n+i+j}) \end{aligned}$$

From here, we get

$$\widehat{BQ_{k,n+i}BQ_{k,n+j}} - \widehat{BQ_{k,n}BQ_{k,n+i+j}} = \frac{(-k)^n}{4(1+k)} \underline{\alpha}\underline{\beta}(\beta^j - \alpha^j)(\alpha^i - \beta^i).$$

**Theorem.** The Gelin-Cesaro Identity for the sequence  $\{\widehat{BQ_{k,n}}\}_{n \geq 0}$  is

$$\begin{aligned} & \widehat{BQ_{k,n-2}BQ_{k,n-1}BQ_{k,n+1}BQ_{k,n+2}} - \widehat{BQ_{k,n}}^4 \\ &= \frac{1}{4(1+k)^2} [\underline{\alpha}^3\underline{\beta}\alpha^{2n}(-k)^{n-2}(-k^2 + 3k + 4) \\ & \quad + \underline{\alpha}^2\underline{\beta}^2(-k)^{2n-3}(2k^3 + 11k^2 + 18k + 22) \\ & \quad + \underline{\alpha}\underline{\beta}^3\beta^{2n}(-k)^{n-2}(-k^2 + 3k + 4)]. \end{aligned}$$

**Proof:** We use the Binet formula for the proof. The value

$$\widehat{BQ_{k,n-2}}\widehat{BQ_{k,n-1}}\widehat{BQ_{k,n+1}}\widehat{BQ_{k,n+2}} - \widehat{BQ_{k,n}}^4$$

is

$$\frac{1}{16(1+k)^2} \left[ (\underline{\alpha}\alpha^{n-2} + \underline{\beta}\beta^{n-2})(\underline{\alpha}\alpha^{n-1} + \underline{\beta}\beta^{n-1})(\underline{\alpha}\alpha^{n+1} + \underline{\beta}\beta^{n+1})(\underline{\alpha}\alpha^{n+2} + \underline{\beta}\beta^{n+2}) - (\underline{\alpha}\alpha^n + \underline{\beta}\beta^n)^4 \right].$$

When the necessary algebraic operations are performed, we get the following equation.

$$\frac{1}{4(1+k)^2} [\underline{\alpha}^3 \underline{\beta} \alpha^{2n} (-k)^{n-2} (-k^2 + 3k + 4) + \underline{\alpha}^2 \underline{\beta}^2 (-k)^{2n-3} (2k^3 + 11k^2 + 18k + 22) + \underline{\alpha} \underline{\beta}^3 \beta^{2n} (-k)^{n-2} (-k^2 + 3k + 4)]$$

Thus, the proof is completed.

**Conclusion.** In this study, we examine the dual numbers and give them the characteristics of these numbers. Also, we give the definition and related concepts about bicomplex numbers. Moreover, we define the number of dual  $k$  –Pell-Lucas bicomplex numbers which are not found for the first time in the literature and we examined the norm and conjugate properties of these numbers. We have given some important characteristics of these newly defined numbers, and we have obtain the recursive relations of these numbers. Using obtained relations one can investigate the other important identities.

## REFERENCES

- [1] Alpay, D., Luna-Elizarrarás, M. E., Shapiro, M., and Struppa, D. C. (2014). *Basics of functional analysis with bicomplex scalars, and bicomplex Schur analysis*. Springer Science and Business Media.

- [2] Aydin, F. T. (2017), On bicomplex Pell and Pell-Lucas numbers., arXiv preprint arXiv:1712.09595.
- [3] Babadag, F. (2018), Fibonacci, Lucas Numbers with Dual Bicomplex Numbers., *Journal of Informatics and Mathematical Sciences* 10.1-2, 161-172.
- [4] Benjamin, A. T., Plott, S. S., Sellers, J. A. (2008). Tiling proofs of recent sum identities involving Pell numbers. *Annals of Combinatorics*, 12(3), 271-278.
- [5] Catarino P. (2013), On some identities and generating functions for k-Pell numbers, *International Journal of Mathematical Analysis*, 7(38), 1877-1884.
- [6] Catarino, P. (2018), Bicomplex k-Pell Quaternions., *Computational Methods and Function Theory* : 1-12.
- [7] Halici, S. (2012). On Some Pell Polynomials. *Acta Universitatis Apulensis*, (29), 105-112.
- [8] Halici, S. (2013). On complex Fibonacci quaternions. *Advances in applied Clifford algebras*, 23(1), 105-112.
- [9] Halici, S. (2019). On Bicomplex Fibonacci Numbers and Their Generalization. In *Models and Theories in Social Systems* (pp. 509-524). Springer, Cham.
- [10] Karakuş, S. Ö., and Aksoyak, F. K. (2015). Generalized bicomplex numbers and Lie groups. *Advances in applied Clifford algebras*, 25(4), 943-963.
- [11] Koshy, T. (2017). *Fibonacci and Lucas numbers with applications* (Vol. 1). John Wiley and Sons.
- [12] Luna-Elizarraras, M. E., Shapiro, M., Struppa, D. C., and Vajiac, A. (2012). Bicomplex numbers and their elementary functions. *Cubo (Temuco)*, 14(2), 61-80.
- [13] Luna-Elizarrarás, M. Elena, Michael Shapiro, Daniele C. Struppa, and Adrian Vajiac. *Bicomplex holomorphic functions: The algebra, geometry and analysis of bicomplex numbers*. Birkhäuser, 2015.

- [14] Melham, R. (1999). Sums involving Fibonacci and Pell numbers. *Portugaliae Mathematica*, 56(3), 309-318.
- [15] Segre, C. (1892), Le rappresentazioni reali delle forme complesse e gli enti iperalgebrici. *Mathematische Annalen*, 40(3), 413-467.
- [16] Ward, J. P. (2012). *Quaternions and Cayley numbers: Algebra and applications* (Vol. 403). Springer Science and Business Media.

# On k-PELL BICOMPLEX NUMBERS AND THEIR MATRIX REPRESENTATIONS

Şule ÇÜRÜK & Serpil HALICI

*Pamukkale Üniversitesi, shalici@pau.edu.tr*

**Abstract:** In this study, we first discussed k-Pell and Pell-Lucas numbers. Then, we discussed the bicomplex numbers and their properties. By using these well-known number sequences in the literature, we have arranged the coefficients of these bicomplex numbers and obtained a new series. We also examined the basic features of this new series. We then examined matrix representations and hyper imaginative parts as well as algebraic properties of this sequence. We emphasized the algebraic properties of base elements. And we also gave the relationships between different matrix representations. Finally, we examined the trace and determinant properties of the matrices that contain the elements of this sequence.

## 1. Introduction

The  $2 \times 2$  matrix representations of bases 1 and  $i$  of the set complex numbers  $\mathbb{C}$  can be represented as follows:

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad i = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Using these matrices, we can write the complex number  $z = x + iy$  as follows.

$$z = \begin{pmatrix} x & 0 \\ 0 & x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -y \\ y & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x & -y \\ y & x \end{pmatrix}.$$

Bicomplex numbers with similar properties as quaternions are commutative algebra. The set of bicomplex numbers  $\mathbb{BC}$  is defined by

$$\mathbb{BC} = \{z_1 + z_2j | z_1, z_2 \in \mathbb{C}, j^2 = -1\}.$$

The  $2 \times 2$  matrix representation of elements in the set  $\mathbb{BC}$  is as follows.

$$\begin{pmatrix} z_1 & -z_2 \\ z_2 & z_1 \end{pmatrix}$$

Bicomplex numbers with elements from  $\mathbb{R}$  are as follows.

$$\mathbb{BC} = \{a + bi + cj + dij | a, b, c, d \in \mathbb{R}, i^2 = j^2 = -1\}.$$

Where the elements  $1, i, j$  and  $ij$  can be represent by the following matrices.

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad i = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$j = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad ij = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Then using these matrices, we can represent any element of set  $\mathbb{B}\mathbb{C}$  by the following  $4 \times 4$  matrices as follows.

$$\begin{pmatrix} a & -b & -c & d \\ b & a & -d & -c \\ c & -d & a & -b \\ d & c & b & a \end{pmatrix}.$$

Now, let's define the  $k$ -Pell and  $k$ -Pell Lucas number sequences.

The  $n^{\text{th}}$  element of the sequence  $k$ -Pell,  $\{P_{k,n}\}_{n \geq 0}$ , is defined as follows.

$$P_{k,n} = 2P_{k,n-1} + kP_{k,n-2}, \quad n \geq 2$$

where the initial values are  $P_{k,0} = 0$ ,  $P_{k,1} = 1$  and  $k$  is a positive integer.

This sequence can be written as

$$\{P_{k,n}\}_{n \geq 0} = \{0, 1, 2, 4 + k, 8 + 4k, 16 + 12k + k^2, \dots, 2P_{k,n-1} + kP_{k,n-2}, \dots\}$$

The  $n^{\text{th}}$  element of the sequence  $k$ -Pell-Lucas,  $\{Q_{k,n}\}_{n \geq 0}$ , is defined as follows.

$$Q_{k,n} = 2Q_{k,n-1} + kQ_{k,n-2}, \quad k \in \mathbb{Z}^+, n \geq 2$$

where the initial values are  $Q_{k,0} = 2, Q_{k,1} = 2$  and  $k$  is a positive integer.

$$\{Q_{k,n}\}_{n \geq 0} = \{2, 2, 4 + 2k, 8 + 6k, 16 + 12k + k^2, \dots, 2Q_{k,n-1} + kQ_{k,n-2}, \dots\}.$$

## 2. Main Results

In this section, we introduce the bicomplex numbers that have coefficients from the dual  $k$ -Pell and  $k$ -Pell Lucas sequences and examine the basic properties of these numbers. We will also examine the matrix representations of new these numbers that we have newly defined.

The  $n$ th  $k$  –Pell bicomplex number is as follows.

$$BP_{k,n} = P_{k,n} + iP_{k,n+1} + jP_{k,n+2} + ijP_{k,n+3}$$

$$BP_{k,n} = (P_{k,n} + iP_{k,n+1}) + j(P_{k,n+2} + iP_{k,n+3})$$

where  $P_{k,n}$  is  $n$ th  $k$ -Pell number. The  $2 \times 2$  and  $4 \times 4$  matrix representations of this number are can be written as follows.

$$\begin{pmatrix} P_{k,n} + iP_{k,n+1} & -P_{k,n+2} - iP_{k,n+3} \\ P_{k,n+2} + iP_{k,n+3} & P_{k,n} + iP_{k,n+1} \end{pmatrix}$$

and

$$\begin{pmatrix} P_{k,n} & -P_{k,n+1} & -P_{k,n+2} & P_{k,n+3} \\ P_{k,n+1} & P_{k,n} & -P_{k,n+3} & -P_{k,n+2} \\ P_{k,n+2} & -P_{k,n+3} & P_{k,n} & -P_{k,n+1} \\ P_{k,n+3} & P_{k,n+2} & P_{k,n+1} & P_{k,n} \end{pmatrix}$$

respectively. Similarly, the  $n$ th  $k$  –Pell-Lucas bicomplex number is as follows.

$$BQ_{k,n} = Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} + jQ_{k,n+2} + ijQ_{k,n+3}$$

$$BQ_{k,n} = (Q_{k,n} + iQ_{k,n+1}) + j(Q_{k,n+2} + iQ_{k,n+3})$$

where  $Q_{k,n}$  is  $n$ th  $k$ -Pell Lucas number.

The  $2 \times 2$  and  $4 \times 4$  matrix representations of this number are

$$\begin{pmatrix} Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} & -Q_{k,n+2} - iQ_{k,n+3} \\ Q_{k,n+2} + iQ_{k,n+3} & Q_{k,n} + iQ_{k,n+1} \end{pmatrix}$$

and

$$\begin{pmatrix} Q_{k,n} & -Q_{k,n+1} & -Q_{k,n+2} & Q_{k,n+3} \\ Q_{k,n+1} & Q_{k,n} & -Q_{k,n+3} & -Q_{k,n+2} \\ Q_{k,n+2} & -Q_{k,n+3} & Q_{k,n} & -Q_{k,n+1} \\ Q_{k,n+3} & Q_{k,n+2} & Q_{k,n+1} & Q_{k,n} \end{pmatrix}$$

respectively.

Now, we define a dual  $k$ -Pell and  $k$ -Pell Lucas numbers as follows.

$$\widehat{P}_{k,n} = P_{k,n} + \varepsilon P_{k,n+1},$$

$$\widehat{Q}_{k,n} = Q_{k,n} + \varepsilon Q_{k,n+1}.$$

The  $n$ th dual  $k$ -Pell bicomplex numbers are considered as follows.

$$\widehat{BP}_{k,n} = BP_{k,n} + \varepsilon BP_{k,n+1}$$

where  $\varepsilon$  is a nilpotent number, so  $\varepsilon^2 = 0$  and  $\varepsilon \neq 0$ .

$$\begin{aligned} \widehat{BP}_{k,n} &= \widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1} + j\widehat{P}_{k,n+2} + ij\widehat{P}_{k,n+3} \\ &= (\widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1}) + j(\widehat{P}_{k,n+2} + i\widehat{P}_{k,n+3}) \end{aligned}$$

Where  $\widehat{P}_{k,n}$  is  $n$ th dual  $k$ -Pell number.

The  $2 \times 2$  and  $4 \times 4$  matrix representations of this number are

$$\begin{pmatrix} \widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1} & -\widehat{P}_{k,n+2} - i\widehat{P}_{k,n+3} \\ \widehat{P}_{k,n+2} + i\widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1} \end{pmatrix}$$

and

$$\mathbb{P}_n = \begin{pmatrix} \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+1} & -\widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+3} \\ \widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+3} & -\widehat{P}_{k,n+2} \\ \widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+1} \\ \widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} \end{pmatrix}$$



respectively.

If the complex parts connected to  $i$  and  $j$  for  $\widehat{BP}_{k,n}$  are indicated by  $C_i(\widehat{BP}_{k,n})$  and  $C_j(\widehat{BP}_{k,n})$  respectively, and the hyperimaginary parts are indicated by  $H_i(\widehat{BP}_{k,n})$  and  $H_j(\widehat{BP}_{k,n})$  respectively, the following equations can be written.

$$\begin{aligned}\widehat{BP}_{k,n} &= (\widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1}) + j(\widehat{P}_{k,n+2} + i\widehat{P}_{k,n+3}) \\ &= C_j(\widehat{BP}_{k,n}) + jH_j(\widehat{BP}_{k,n}) \\ \widehat{BP}_{k,n} &= (\widehat{P}_{k,n} + j\widehat{P}_{k,n+2}) + i(\widehat{P}_{k,n+1} + j\widehat{P}_{k,n+3}) \\ &= C_i(\widehat{BP}_{k,n}) + iH_i(\widehat{BP}_{k,n})\end{aligned}$$

That is, where

$$\begin{aligned}C_i(\widehat{BP}_{k,n}) &= \widehat{P}_{k,n} + j\widehat{P}_{k,n+2} \\ C_j(\widehat{BP}_{k,n}) &= \widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1} \\ H_i(\widehat{BP}_{k,n}) &= \widehat{P}_{k,n+1} + j\widehat{P}_{k,n+3} \\ H_j(\widehat{BP}_{k,n}) &= \widehat{P}_{k,n+2} + i\widehat{P}_{k,n+3}.\end{aligned}$$

The matrix representation of  $\widehat{BP}_{k,n} = C_j(\widehat{BP}_{k,n}) + jH_j(\widehat{BP}_{k,n})$  is

$$\begin{pmatrix} C_j(\widehat{BP}_{k,n}) & -H_j(\widehat{BP}_{k,n}) \\ H_j(\widehat{BP}_{k,n}) & C_j(\widehat{BP}_{k,n}) \end{pmatrix}.$$

For the number  $\widehat{BP}_{k,n}$  we can define tree conjugates. The conjugate  $i$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  is as follows.

$$\begin{aligned}\widehat{BP}_{k,n}^i &= \widehat{P}_{k,n} - i\widehat{P}_{k,n+1} + j\widehat{P}_{k,n+2} - ij\widehat{P}_{k,n+3} \\ &= (\widehat{P}_{k,n} + j\widehat{P}_{k,n+2}) - i(\widehat{P}_{k,n+1} + j\widehat{P}_{k,n+3}) = C_i(\widehat{BP}_{k,n}) - iH_i(\widehat{BP}_{k,n}) \\ &= (\widehat{P}_{k,n} - i\widehat{P}_{k,n+1}) + j(\widehat{P}_{k,n+2} - i\widehat{P}_{k,n+3}) = C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) + jH_j^*(\widehat{BP}_{k,n})\end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $i$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) & -H_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) \\ H_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) & C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) \end{pmatrix}$$

and

$$\mathbb{P}_n^i = \begin{pmatrix} \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+1} & -\widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+3} \\ -\widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+3} & -\widehat{P}_{k,n+2} \\ \widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+1} \\ -\widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} \end{pmatrix}.$$

The conjugate  $j$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  is as follows.

$$\begin{aligned} \widehat{BP}_{k,n}^j &= \widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1} - j\widehat{P}_{k,n+2} - ij\widehat{P}_{k,n+3} \\ &= (\widehat{P}_{k,n} - j\widehat{P}_{k,n+2}) + i(\widehat{P}_{k,n+1} - j\widehat{P}_{k,n+3}) = C_i^*(\widehat{BP}_{k,n}) + iH_i^*(\widehat{BP}_{k,n}) \\ &= (\widehat{P}_{k,n} + i\widehat{P}_{k,n+1}) - j(\widehat{P}_{k,n+2} + i\widehat{P}_{k,n+3}) = C_j(\widehat{BP}_{k,n}) - jH_j(\widehat{BP}_{k,n}) \end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $j$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j(\widehat{BP}_{k,n}) & H_j(\widehat{BP}_{k,n}) \\ -H_j(\widehat{BP}_{k,n}) & C_j(\widehat{BP}_{k,n}) \end{pmatrix}$$

and

$$\mathbb{P}_n^j = \begin{pmatrix} \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+3} \\ \widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n+2} \\ -\widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+1} \\ -\widehat{P}_{k,n+3} & -\widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} \end{pmatrix}.$$

The conjugate  $ij$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  is as follows.

$$\begin{aligned} \widehat{BP}_{k,n}^{ij} &= \widehat{P}_{k,n} - i\widehat{P}_{k,n+1} - j\widehat{P}_{k,n+2} + ij\widehat{P}_{k,n+3} \\ &= (\widehat{P}_{k,n} - j\widehat{P}_{k,n+2}) - i(\widehat{P}_{k,n+1} - j\widehat{P}_{k,n+3}) = C_i^*(\widehat{BP}_{k,n}) - iH_i^*(\widehat{BP}_{k,n}) \\ &= (\widehat{P}_{k,n} - i\widehat{P}_{k,n+1}) - j(\widehat{P}_{k,n+2} - i\widehat{P}_{k,n+3}) = C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) - jH_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) \end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $ij$  of number  $\widehat{BP}_{k,n}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) & H_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) \\ -H_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) & C_j^*(\widehat{BP}_{k,n}) \end{pmatrix}$$

and

$$\mathbb{P}_n^{ij} = \begin{pmatrix} \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n+2} & \widehat{P}_{k,n+3} \\ -\widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} & -\widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n+2} \\ -\widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+3} & \widehat{P}_{k,n} & \widehat{P}_{k,n+1} \\ \widehat{P}_{k,n+3} & -\widehat{P}_{k,n+2} & -\widehat{P}_{k,n+1} & \widehat{P}_{k,n} \end{pmatrix}.$$

Note that the  $4 \times 4$  matrix representation of the  $ij$ -conjugate is equal to the transpose of the  $4 \times 4$  matrix representation of the  $k$ -Pell bicomplex number. That is,

$$\mathbb{P}_n^T = \mathbb{P}_n^{ij}.$$

The  $n$ th dual  $k$ -Pell-Lucas bicomplex numbers are considered as follows.

$$\begin{aligned} \widehat{BQ}_{k,n} &= \widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} + j\widehat{Q}_{k,n+2} + ij\widehat{Q}_{k,n+3} \\ &= (\widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1}) + j(\widehat{Q}_{k,n+2} + i\widehat{Q}_{k,n+3}) \end{aligned}$$

where  $\widehat{Q}_{k,n}$  is  $n$ th dual  $k$ -Pell Lucas number.

The  $2 \times 2$  and  $4 \times 4$  matrix representations of this number are

$$\begin{pmatrix} \widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} & -\widehat{Q}_{k,n+2} - i\widehat{Q}_{k,n+3} \\ \widehat{Q}_{k,n+2} + i\widehat{Q}_{k,n+3} & \widehat{Q}_{k,n} + i\widehat{Q}_{k,n+1} \end{pmatrix}$$

and

$$\vartheta_n = \begin{pmatrix} \widehat{Q}_{k,n} & -\widehat{Q}_{k,n+1} & -\widehat{Q}_{k,n+2} & \widehat{Q}_{k,n+3} \\ \widehat{Q}_{k,n+1} & \widehat{Q}_{k,n} & -\widehat{Q}_{k,n+3} & -\widehat{Q}_{k,n+2} \\ \widehat{Q}_{k,n+2} & -\widehat{Q}_{k,n+3} & \widehat{Q}_{k,n} & -\widehat{Q}_{k,n+1} \\ \widehat{Q}_{k,n+3} & \widehat{Q}_{k,n+2} & \widehat{Q}_{k,n+1} & \widehat{Q}_{k,n} \end{pmatrix},$$

respectively.

If the complex parts connected to  $i$  and  $j$  for  $\widehat{BQ_{k,n}}$  are indicated by  $C_i(\widehat{BQ_{k,n}})$  and  $C_j(\widehat{BQ_{k,n}})$  respectively, and the hyperimaginary parts are indicated by  $H_i(\widehat{BQ_{k,n}})$  and  $H_j(\widehat{BQ_{k,n}})$  respectively, the following equations can be written.

$$\begin{aligned}\widehat{BQ_{k,n}} &= (\widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}}) + j(\widehat{Q_{k,n+2}} + i\widehat{Q_{k,n+3}}) \\ &= C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) + jH_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ \widehat{BQ_{k,n}} &= (\widehat{Q_{k,n}} + j\widehat{Q_{k,n+2}}) + i(\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+3}}) \\ &= C_i(\widehat{BQ_{k,n}}) + iH_i(\widehat{BQ_{k,n}})\end{aligned}$$

That is, where

$$\begin{aligned}C_i(\widehat{BQ_{k,n}}) &= \widehat{Q_{k,n}} + j\widehat{Q_{k,n+2}} \\ C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) &= \widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}} \\ H_i(\widehat{BQ_{k,n}}) &= \widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+3}} \\ H_j(\widehat{BQ_{k,n}}) &= \widehat{Q_{k,n+2}} + i\widehat{Q_{k,n+3}}.\end{aligned}$$

The matrix representation of  $\widehat{BQ_{k,n}} = C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) + jH_j(\widehat{BQ_{k,n}})$  is

$$\begin{pmatrix} C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) & -H_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ H_j(\widehat{BQ_{k,n}}) & C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \end{pmatrix}.$$

For the number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  we can define tree conjugates. The conjugate  $i$  of number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  is as follows.

$$\begin{aligned}\widehat{BQ_{k,n}}^i &= \widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}} \\ &= (\widehat{Q_{k,n}} + j\widehat{Q_{k,n+2}}) - i(\widehat{Q_{k,n+1}} + j\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_i(\widehat{BQ_{k,n}}) - iH_i(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ &= (\widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}}) + j(\widehat{Q_{k,n+2}} - i\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) + jH_j^*(\widehat{BQ_{k,n}})\end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $i$  of number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) & -H_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ H_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) & C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \end{pmatrix}$$

and

$$\vartheta_n^i = \begin{pmatrix} \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+1}} & -\widehat{Q_{k,n+2}} & -\widehat{Q_{k,n+3}} \\ -\widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+3}} & -\widehat{Q_{k,n+2}} \\ \widehat{Q_{k,n+2}} & \widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+1}} \\ -\widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n+2}} & -\widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} \end{pmatrix}.$$

The conjugate  $j$  of number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  is as follows.

$$\begin{aligned} \widehat{BQ_{k,n}}^j &= \widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}} - ij\widehat{Q_{k,n+3}} \\ &= (\widehat{Q_{k,n}} - j\widehat{Q_{k,n+2}}) + i(\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_i^*(\widehat{BQ_{k,n}}) + iH_i^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ &= (\widehat{Q_{k,n}} + i\widehat{Q_{k,n+1}}) - j(\widehat{Q_{k,n+2}} + i\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) - jH_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $j$  of number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) & H_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ -H_j(\widehat{BQ_{k,n}}) & C_j(\widehat{BQ_{k,n}}) \end{pmatrix}$$

and

$$\vartheta_n^j = \begin{pmatrix} \widehat{Q_{k,n}} & -\widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n+2}} & -\widehat{Q_{k,n+3}} \\ \widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n+2}} \\ -\widehat{Q_{k,n+2}} & \widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n}} & -\widehat{Q_{k,n+1}} \\ -\widehat{Q_{k,n+3}} & -\widehat{Q_{k,n+2}} & \widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} \end{pmatrix}.$$

The conjugate  $ij$  of number  $\widehat{BP_{k,n}}$  is as follows.

$$\begin{aligned}
\widehat{BQ_{k,n}}^{ij} &= \widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+2}} + ij\widehat{Q_{k,n+3}} \\
&= (\widehat{Q_{k,n}} - j\widehat{Q_{k,n+2}}) - i(\widehat{Q_{k,n+1}} - j\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_i^*(\widehat{BQ_{k,n}}) - iH_i^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \\
&= (\widehat{Q_{k,n}} - i\widehat{Q_{k,n+1}}) - j(\widehat{Q_{k,n+2}} - i\widehat{Q_{k,n+3}}) = C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) - jH_j^*(\widehat{BQ_{k,n}})
\end{aligned}$$

The matrix representations for the conjugate  $ij$  of number  $\widehat{BQ_{k,n}}$  are as follows.

$$\begin{pmatrix} C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) & H_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \\ -H_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) & C_j^*(\widehat{BQ_{k,n}}) \end{pmatrix}$$

and

$$\vartheta_n^{ij} = \begin{pmatrix} \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n+2}} & \widehat{Q_{k,n+3}} \\ -\widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} & -\widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n+2}} \\ -\widehat{Q_{k,n+2}} & -\widehat{Q_{k,n+3}} & \widehat{Q_{k,n}} & \widehat{Q_{k,n+1}} \\ \widehat{Q_{k,n+3}} & -\widehat{Q_{k,n+2}} & -\widehat{Q_{k,n+1}} & \widehat{Q_{k,n}} \end{pmatrix}.$$

Note that the  $4 \times 4$  matrix representation of the  $ij$  –conjugate is equal to the transpose of the  $4 \times 4$  matrix representation of the  $k$  –Pell bicomplex number. That is,

$$\vartheta_n^T = \vartheta_n^{ij}.$$

Now, let's examine some of the properties of this matrix  $\mathbb{P}_n$  and  $\vartheta_n$ . First, let's calculate the trace and determinant of this matrices. Hence, we can get

$$tr(\mathbb{P}_n) = 4\widehat{P_{k,n}} \text{ and } tr(\vartheta_n) = 4\widehat{Q_{k,n}}.$$

$$\begin{aligned}
\det(\mathbb{P}_n) &= \sum_{t=0}^3 \widehat{P_{k,n+t}}^4 + 8 \prod_{t=0}^3 \widehat{P_{k,n+t}} \\
&\quad + 2 \left( \widehat{P_{k,n}}^2 \widehat{P_{k,n+1}}^2 - \widehat{P_{k,n+1}}^2 \widehat{P_{k,n+2}}^2 + \widehat{P_{k,n+2}}^2 \widehat{P_{k,n+3}}^2 \right. \\
&\quad \left. + \widehat{P_{k,n+1}}^2 \widehat{P_{k,n+3}}^2 \right).
\end{aligned}$$

$$\det(\vartheta_n) = \sum_{t=0}^3 \widehat{Q_{k,n+t}}^4 + 8 \prod_{t=0}^3 \widehat{Q_{k,n+t}} + 2 \left( \widehat{Q_{k,n}}^2 \widehat{Q_{k,n+1}}^2 - \widehat{Q_{k,n+1}}^2 \widehat{Q_{k,n+2}}^2 + \widehat{Q_{k,n+2}}^2 \widehat{Q_{k,n+3}}^2 + \widehat{Q_{k,n+1}}^2 \widehat{Q_{k,n+3}}^2 \right).$$

**Corallay.** For matrices  $\mathbb{P}_n$  and  $\vartheta_n$ , the following equations are provided.

1.  $\mathbb{P}_n + \mathbb{P}_{n-1} = \vartheta_n$
2.  $\mathbb{P}_{n+1} - \mathbb{P}_n = \vartheta_n$
3.  $\mathbb{P}_{n+1} + \mathbb{P}_{n-1} = 2\vartheta_n$
4.  $\vartheta_{n+1} - \vartheta_n = 2\mathbb{P}_n$
5.  $\vartheta_n + \vartheta_{n+1} = 2\mathbb{P}_{n+1}$
6.  $\vartheta_{n+1} + \vartheta_{n-1} = 4\mathbb{P}_n$

The proof all of the equalities can be easily seen.

## REFERENCES

- [1] Alpay, D., Luna-Elizarrarás, M. E., Shapiro, M., and Struppa, D. C. (2014). *Basics of functional analysis with bicomplex scalars, and bicomplex Schur analysis*. Springer Science and Business Media.
- [2] Aydin, F. T. (2017), On bicomplex Pell and Pell-Lucas numbers., arXiv preprint arXiv:1712.09595.
- [3] Babadag, F. (2018), Fibonacci, Lucas Numbers with Dual Bicomplex Numbers., *Journal of Informatics and Mathematical Sciences* 10.1-2, 161-172.
- [4] Benjamin, A. T., Plott, S. S., Sellers, J. A. (2008). Tiling proofs of recent sum identities involving Pell numbers. *Annals of Combinatorics*, 12(3), 271-278.
- [5] Catarino P. (2013), On some identities and generating functions for k-Pell numbers, *International Journal of Mathematical Analysis*, 7(38), 1877-1884.
- [6] Catarino, P. (2018), Bicomplex k-Pell Quaternions., *Computational Methods and Function Theory* : 1-12.

- [7] Halici, S. (2012). On Some Pell Polynomials. *Acta Universitatis Apulensis*, (29), 105-112.
- [8] Halici, S. (2013). On complex Fibonacci quaternions. *Advances in applied Clifford algebras*, 23(1), 105-112.
- [9] Halici, S. (2019). On Bicomplex Fibonacci Numbers and Their Generalization. In *Models and Theories in Social Systems* (pp. 509-524). Springer, Cham.
- [10] Karakuş, S. Ö., and Aksoyak, F. K. (2015). Generalized bicomplex numbers and Lie groups. *Advances in applied Clifford algebras*, 25(4), 943-963.
- [11] Koshy, T. (2017). Fibonacci and Lucas numbers with applications (Vol. 1). John Wiley and Sons.
- [12] Luna-Elizarraras, M. E., Shapiro, M., Struppa, D. C., and Vajiac, A. (2012). Bicomplex numbers and their elementary functions. *Cubo (Temuco)*, 14(2), 61-80.
- [13] Luna-Elizarraras, M. Elena, Michael Shapiro, Daniele C. Struppa, and Adrian Vajiac. Bicomplex holomorphic functions: The algebra, geometry and analysis of bicomplex numbers. Birkhäuser, 2015.
- [14] Melham, R. (1999). Sums involving Fibonacci and Pell numbers. *Portugaliae Mathematica*, 56(3), 309-318.
- [15] Segre, C. (1892), Le rappresentazioni reali delle forme complesse e gli enti iperalgebrici. *Mathematische Annalen*, 40(3), 413-467.
- [16] Ward, J. P. (2012). Quaternions and Cayley numbers: Algebra and applications (Vol. 403). Springer Science and Business Media.
- [17] Delsuc, M. A. (1988). Spectral representation of 2D NMR spectra by hypercomplex numbers. *Journal of Magnetic Resonance (1969)*, 77(1), 119-124.



# PROPER CLASS GENERATED COINJECTIVELY BY SEMIARTINIAN MODULES

Ayşe ÇOBANKAYA<sup>1</sup> - Yılmaz DURĞUN<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Çukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics Adana / Turkey

**Abstract:** In this work, we study a new proper classes  $\langle \mathbf{D-Suppl} \rangle$  which is coinjectively generated by semiartinian module. We show that this class is also injectively generated by modules whose have zero socle. We prove that every semiartinian module is injective if and only if  $\langle \mathbf{D-Suppl} \rangle = \mathbf{Split}$ , which the class  $\mathbf{Split}$  of all splitting short exact sequences of modules is the smallest proper class. We prove that  $R$  is right semiartinian ring if and only if  $\langle \mathbf{D-Suppl} \rangle = \mathbf{Abs}$ , where  $\mathbf{Abs}$  is the class of all short exact sequences.

**Key words:** Supplement submodule, Proper class, Semiartinian module

## 1. Introduction:

Rings in this paper will be identity with associative and modules will be unital right  $R$ -modules. The class of all right  $R$ -modules on a ring  $R$  be denoted by  $Mod - R$ . By  $Sam(X)$ ,  $E(X)$  and  $Soc(X)$  we shall denote the semiartinian submodule of  $X$ , injective hull and the socle of  $X$  as usual. A submodule  $N$  of a module  $X$  is *essential* in  $X$  if for every  $0 \neq K \leq X$ , we have  $N \cap K \neq 0$ , denoted by  $N \leq_e X$ . If  $N$  has no proper essential extension in  $X$ , then  $N$  is said to be *closed* in  $X$ .

A module  $X$  is semiartinian if every non-zero homomorphic image of  $X$  has a simple submodule. The class of all semiartinian modules is the torsion class of Dickson's torsion theory.

Closed (complement) and supplement submodules play an important role in rings and modules, and relative homological algebra (Alizade and Mermut, 2015). Generally supplement submodules are dual concept of closed submodules (Clark, Lomp, Vanaja and Wisbauer, 2006). There are many generalizations of closed submodules with supplement submodules (Kara and Tercan, 2018, Durğun and Özdemir, 2017, Durğun and Özdemir, 2019, Tütüncü and Toksoy, 2013, Sözen and Eren, 2017).  $D$ -Closed submodules was introduced and studied in (Durğun and Ozdemir, 2020) as a generalization of closed submodule. As follows that a submodule  $A$  of  $M$  is called  $D$ -closed if  $Soc(M/A) = 0$ . This means that  $M/A$  is torsion-free

with respect to the Dickson torsion theory (Golan, 1986). The class of D-closed short exact sequences is not a proper class, in contrast to Closed proper class (Durğun and Ozdemir, 2020).

S-supplement submodules were introduced in (Durğun, 2019). Motivated from this study, we introduce and study D-supplement submodule which is a dual notion of D-closed. Generally, we first show that the class **D-Supp** of D-supplement short exact sequences need not be a proper class, and later we consider the smallest proper class  $\langle \mathbf{D-Supp} \rangle$  containing **D-Supp**. We define the class  $\langle \mathbf{D-Supp} \rangle$  in terms of D-supplement submodules. We show that  $\langle \mathbf{D-Supp} \rangle$  coincides with the proper classes coinjectively generated by semiartinian module and also injectively generated by modules whose have zero socle. Moreover, we study relations between this class and some well-known proper class.

## 2. Proper Classes

Let  $\mathbf{S}$  be a class of short exact sequences of modules and module homomorphisms and, let  $F: 0 \rightarrow A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C \rightarrow 0$  be a short exact sequence. If  $F \in \mathbf{S}$ , we say that  $F$  is  $\mathbf{S}$ -exact,  $f$  is a  $\mathbf{S}$ -monomorphism,  $g$  is  $\mathbf{S}$ -epimorphism and  $\text{Im } f$  is  $\mathbf{S}$  submodule of  $B$ . If it satisfies the following conditions (Clark, Lomp, Vanaja and Wisbauer, 2006), the class  $\mathbf{S}$  is said to be *proper* (in the sense of Buchsbaum)

- 1) If a short exact sequence  $F$  is in  $\mathbf{S}$ , then  $\mathbf{S}$  contains every short exact sequence isomorphic to  $F$ .
- 2)  $\mathbf{S}$  contains all splitting short exact sequences.
- 3) The composite of two  $\mathbf{S}$ -monomorphisms is a  $\mathbf{S}$ -monomorphism if this composite is defined. The composite of two  $\mathbf{S}$ -epimorphisms is a  $\mathbf{S}$  epimorphism if this composite is defined.
- 4) If  $g$  and  $f$  are monomorphisms and  $g \circ f$  is a  $\mathbf{S}$ -monomorphism, then  $f$  is a  $\mathbf{S}$ -monomorphism. If  $g$  and  $f$  are epimorphisms and  $g \circ f$  is a  $\mathbf{S}$ -epimorphism, then  $g$  is a  $\mathbf{S}$ -epimorphism.

**Split** is the smallest proper class consists of all splitting short exact sequences of modules. **Abs** is the largest proper class consists of all short exact sequences of modules. Clearly, the intersection of all proper classes containing the class  $\mathbf{S}$  is a proper class, denoted by  $\langle \mathbf{S} \rangle$ . The class  $\langle \mathbf{S} \rangle$  called the proper class *generated* by  $\mathbf{S}$ .

Let  $\mathbf{S}$  be a proper class. A module  $X$  is called  $\mathbf{S}$ -injective if it is injective with respect to all short exact sequences in  $\mathbf{S}$ , that is,  $\text{Hom}(F, X)$  is exact

for every  $F$  in  $\mathbf{S}$ . The largest proper class  $\mathbf{S}$  for which each  $X \in \mathbf{X}$  is  $\mathbf{S}$ -injective is called the proper class *injectively generated* by  $\mathbf{X}$ . A module  $X$  is called  $\mathbf{S}$ -coinjective if every short exact sequence which start with  $X$  belong  $\mathbf{S}$ . For a given class  $\mathbf{X}$  of modules, denote by  $\underline{\mathbf{k}}(\mathbf{X})$ , the smallest proper class for which each  $X \in \mathbf{X}$  is  $\underline{\mathbf{k}}(\mathbf{X})$ -coinjective; it is called the proper class *coinjectively generated* by  $\mathbf{X}$ . See (Clark, Lomp, Vanaja and Wisbauer, 2006) and for further details on proper classes (Sklyarenko, 1978).

### 3. D-Supplement Submodules

In this section, we study  $D$ -supplement submodule which is a dual notion of  $D$ -closed.

**Definition:** Let  $A$  be a module and  $K \leq A$ . If  $K$  is semiartinian,  $K$  is called  $D$ -supplement submodule of  $A$ . Denote by  $D - \text{Suppl}$  the class of all short exact sequences  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{f} A \xrightarrow{g} Z \rightarrow 0$  such that  $K$  is  $D$ -supplement in  $A$ . In generally, we see that  $D - \text{Suppl}$  does not form a proper class.

**Example 1.** Let  $K$  be a non-semiartinian module. We consider the short exact sequence  $0 \rightarrow K \rightarrow K \rightarrow 0$ . This sequence splits. Since  $K$  is non-semiartinian. This sequence is not  $D$ -supplement exact sequence. Therefore by the condition 2) of proper class definition, we can say that  $D - \text{Suppl}$  does not form a proper class.

Kepka (1973), introduced certain conditions on a class of monomorphisms which are needed to study a new kind of proper classes. This study motivates us to introduce extended  $D$ -supplement submodules.

**Definition:** A submodule  $K$  of a module  $A$  is called extended  $D$ -supplement if there is a submodule  $S$  in  $A$  such that  $S + K = A$  and  $S \cap K$  is semiartinian.

It is obviously that  $D$ -supplement submodules are extended  $D$ -supplement. Denote by the  $\overline{D - \text{Suppl}}$  the class of all short exact sequences  $0 \rightarrow K \xrightarrow{f} A \xrightarrow{g} Z \rightarrow 0$  such that  $K$  is extended  $D$ -supplement. This is known to be a proper class (see Kepka, 1973, Theorem 2.1). Now, we show that this is the smallest proper class generated by the class  $D - \text{Suppl}$ .

**Theorem2.**  $\langle D - \text{Suppl} \rangle = \overline{D - \text{Suppl}}$

**Proof.** Since  $D - \text{Suppl} \subseteq \overline{D - \text{Suppl}}$ , we have  $\langle D - \text{Suppl} \rangle \subseteq \overline{D - \text{Suppl}}$ . For the converse, let  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{\alpha} A \xrightarrow{\beta} Z \rightarrow 0$  be an extended  $D$ -

supplement exact sequence. W.o.l.g, we assume that  $\alpha$  is inclusion homomorphism. Then there is a submodule  $S$  in  $A$  such that  $S + K = A$  and  $S \cap K$  is semiartinian. Consider the following diagram;

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & 0 & & 0 & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 & & S \cap K & \xlongequal{\quad} & S \cap K & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 E: 0 & \longrightarrow & K & \xrightarrow{\alpha} & A & \xrightarrow{\beta} & Z \longrightarrow 0 \\
 & & \downarrow & & \downarrow \gamma & & \parallel \\
 \gamma_*(E): 0 & \longrightarrow & K/(S \cap K) & \longrightarrow & A/(S \cap K) & \xrightarrow{\theta} & Z \longrightarrow 0 \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 & & 0 & & 0 & & 
 \end{array}$$

$\theta$  is a **Split**-epimorphism, and so it is an  $\langle D - \text{Suppl} \rangle$ -monomorphism by 2) of proper class definition. Furthermore, since  $S \cap K$  is semiartinian, then  $\gamma$  is a  $\langle D - \text{Suppl} \rangle$  epimorphism. By 3) of proper class definition, we see that  $\beta = \theta\gamma$  is also an  $\langle D - \text{Suppl} \rangle$ -epimorphism.

The following result shows that  $\langle D - \text{Suppl} \rangle$  is the proper class which is injectively generated by the class of modules whose have zero socle.

**Theorem3.** A short exact sequence  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{\alpha} A \xrightarrow{\beta} Z \rightarrow 0$  short exact sequence is extended  $D$ -supplement sequence if and only if  $\text{Hom}(E; N)$  is exact for each zero socle module  $N$ .

**Proof.**  $(\Rightarrow)$  Let  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{\alpha} A \xrightarrow{\beta} Z \rightarrow 0$  be an extended  $D$ -supplement exact sequence and  $\gamma: K \rightarrow N$  is a homomorphism where  $N$  is a module with zero socle. By proper class properties,  $\gamma_*(E): 0 \rightarrow N \xrightarrow{\alpha} X \xrightarrow{\theta} Z \rightarrow 0$  is extended  $D$ -supplement. So there is a submodule  $S \leq X$  such that  $S + N = X$  and  $S \cap N$  is semiartinian. But since  $S \cap N$  has zero socle,  $S \cap N$  must be zero. Thus  $S \oplus N = X$ . Now consider the following pushout commutative diagram;

$$\begin{array}{ccccccccc}
 E : 0 & \longrightarrow & K & \xrightarrow{\alpha} & A & \xrightarrow{\beta} & Z & \longrightarrow & 0 \\
 & & \downarrow \gamma & & \downarrow f & & \parallel & & \\
 \gamma_*(E) : 0 & \longrightarrow & N & \xrightarrow{u} & X & \xrightarrow{\theta} & Z & \longrightarrow & 0
 \end{array}$$

Since  $\gamma_*(E)$  splits, there is a homomorphism  $u^{-1} : X \rightarrow N$  such that  $uu^{-1} = 1_X$ . So we get a homomorphism  $u^{-1}f : A \rightarrow N$  such that

$(u^{-1}f)\alpha = \gamma$ . ( $\Leftarrow$ ) Consider the following diagram

$$\begin{array}{ccccccccc}
 & & 0 & & 0 & & & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & & & \\
 & & \text{Sam}(K) & \xlongequal{\quad} & \text{Sam}(K) & & & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & & & \\
 E : 0 & \longrightarrow & K & \xrightarrow{\alpha} & A & \xrightarrow{\beta} & Z & \longrightarrow & 0 \\
 & & \downarrow \gamma & & \downarrow f & & \parallel & & \\
 \gamma_*(E) : 0 & \longrightarrow & K/\text{Sam}(K) & \xrightarrow{u} & A/\text{Sam}(K) & \xrightarrow{\theta} & Z & \longrightarrow & 0 \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & & & \\
 & & 0 & & 0 & & & & 
 \end{array}$$

By hypothesis, since  $K/\text{Sam}(K)$  has zero socle,  $\gamma_*(E)$  splits, so there is a submodule  $X$  of  $A$  such that  $\text{Sam}(K) \subset X$  and  $(K/\text{Sam}(K)) \oplus (X/\text{Sam}(K)) = A/\text{Sam}(K)$ . Then, we obtain  $K + X = A$  and  $A \cap X = \text{Sam}(K)$ . Thus  $E$  is extended  $D$ -supplement sequence.

Now, we will show that the proper class  $\overline{D - \text{Suppl}}$  is the proper class which is generated coinjectively by the class of semiartinian modules.

**Theorem 4:** Let  $\mathbf{K}$  be the class of all semiartinian modules. Then

$$\underline{\mathbf{k}}(\mathbf{K}) = \overline{D - \text{Suppl}}$$

**Proof:** Since all semiartinian modules are  $\overline{D - \text{Suppl}}$ -coinjective,  $\underline{\mathbf{k}}(\mathbf{K}) \subseteq \overline{D - \text{Suppl}}$ . For the converse, let  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{\alpha} A \xrightarrow{\beta} Z \rightarrow 0$  be an extended  $D$ -supplement exact sequence. Then there is a submodule  $S \leq$

A such that  $S+K=A$  and  $S \cap K$  is a semiartinian module. Consider the diagram in the proof of Theorem 2, since  $S \cap K$  be a semiartinian module,  $\gamma$  is a  $\underline{k(K)}$ -epimorphism and since  $\theta$  is a Split-epimorphism, by 3) of proper class definition,  $\theta$  is a  $\underline{k(K)}$ -epimorphism. Then  $\beta = \theta\gamma$  is also a  $\underline{k(K)}$ -epimorphism, as desired.

**Theorem 5:** Every semiartinian module is injective if and only if

$$\text{Split} = \overline{D - \text{Suppl}}$$

**Proof:** ( $\Rightarrow$ ) By our hypothesis,  $\underline{k(K)} = \text{Split}$ . Then, by Theorem 4,  $\text{Split} = \overline{D - \text{Suppl}}$ . ( $\Leftarrow$ ) Let  $K$  be a semiartinian module. There exists an exact sequence  $E: 0 \rightarrow K \xrightarrow{\alpha} E(K) \xrightarrow{\beta} Z \rightarrow 0$ . Since  $K$  is a semiartinian module,  $E$  is extended  $D$ -supplement sequence. So by hypothesis,  $E$  splits. Therefore  $K$  is isomorphic direct summand of  $E(K)$ , and hence  $K$  is injective.

The following result follows by Theorem 3.

**Corollary:**  $\text{Abs} = \overline{D - \text{Suppl}}$  if and only if every module with zero socle is injective.

**Corollary:** If  $R$  is right semiartinian,  $\text{Abs} = \overline{D - \text{Suppl}}$

**Proof:** By assumption, every module is semiartinian. Then, by theorem 4,  $\underline{k(K)} = \text{Abs} = \overline{D - \text{Suppl}}$ .

**This work was supported by Research Fund of the Cukurova University. Project Number: 12308**

## References

- Alizade R & Mermut E. (2015). Proper classes related with complements and supplements, *Palestine Journal of Mathematics*, 4 (Spec. 1): 471–489.
- Clark, J & Lomp C & Vanaja N. & Wisbauer R. (2006). *Lifting modules*, Birkhauser Verlag, Basel.
- Durğun Y. & Ozdemir S. (2020). On D-closed submodules. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, in press
- Durğun Y. (2019). Extended S-supplement submodules. *Turk. J. Math*, in press.
- Durğun Y & Ozdemir S. (2017). On S-closed submodules. *Journal of the Korean Mathematical Society*, 54 (4): 1281-1299.
- Golan J. S. (1986). *Torsion Theories*. Longman Scientific Technical, Harlow.
- Kara Y & Tercan A. (2018). When some complement of a z-closed submodule is a summand. *Communications in Algebra* 46 (7): 3071-3078.
- Kepka T. (1973). On one class of purities. *Commentationes Mathematicae Universitatis Carolinae*, 14: 139-154.
- Koşar B & Türkmen B. N. (2016). A generalization of oplus-cofinitely supplemented modules *Bulletin of the Iranian Mathematical Society*,. 42(1): 91-99.
- Sklyarenko E.G. (1978). Relative homological algebra in the category of modules, *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, 33(3): 85-120.
- Sözen E. Ö & Eren Ş. (2017). Modules that Have a  $\delta$ -Supplement in Every Extension. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 10 (4): 730-738
- Tütüncü D.K & Toksoy S.E.(2013). Absolute co-supplement and absolute co-closed modules. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 42 (1): 67-79.

# G-DICKSON TORSION THEORY

Yılmaz DURĞUN<sup>1</sup> & Ayşe ÇOBANKAYA<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Çukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of  
Mathematics Adana / Turkey

**Abstract:** Dickson torsion theory is the torsion theory which is generated by all simple right  $R$ -modules. It is well known that every simple module is either singular or projective. Inspired from this fact, we propose to generate a new torsion theory. We call a torsion theory  $G$ -Dickson if it is generated through only singular simple modules. We show that (1) the torsion class of  $G$ -Dickson torsion theory is the class of intersection of the class of Goldie torsion modules and the class of semiartinian modules; (2) the torsion-free class of  $G$ -Dickson torsion theory is the class of modules whose have projective socle; (3)  $G$ -Dickson torsion theory is hereditary; (4) Every module in  $G$ -Dickson torsion free class is closed under neat quotient. (5)  $G$ -Dickson torsion theory and Goldie torsion theory are same if and only if  $R$  is right  $C$ -ring.

## 1. Introduction:

Rings in this paper will be identity with associative and modules will be unital right  $R$ -modules. The class of all right  $R$ -modules on a ring  $R$  be denoted by  $Mod - R$ . A submodule  $X$  of  $Z$  is essential (or large) in  $Z$  if for every non-zero submodule  $F \leq Z$ , we have  $F \cap X \neq 0$ . If  $X$  has no proper essential extension in  $Z$ , then  $X$  is said to be closed in  $Z$ .

If a pair  $(\mathbf{S}, \mathbf{Z})$  in  $Mod - R$  hold the following conditions, then  $\tau = (\mathbf{S}, \mathbf{Z})$  is called torsion theory on  $Mod - R$ .

- a) For each  $X \in \mathbf{S}$  and each  $T \in \mathbf{Z}$ ,  $\text{Hom}_R(X, T) = 0$ .
- b) If  $\text{Hom}_R(X, T) = 0$  for every  $X \in \mathbf{S}$ , then  $T \in \mathbf{Z}$ .
- c) If  $\text{Hom}_R(X, T) = 0$  for every  $T \in \mathbf{Z}$ , then  $X \in \mathbf{S}$ .

$\mathbf{Z}$  is closed under direct products, extensions, submodules.  $\mathbf{S}$  is closed under, extensions, direct sums, factor modules. Modules in  $\mathbf{Z}$  and modules in  $\mathbf{S}$  are called  $\tau$ -torsion-free and  $\tau$ -torsion, respectively.

Let  $\mathbf{M}$  be a class of right  $R$ -modules.

$$\mathbf{Z}_1 = \{Y / \text{Hom}_R(M, Y) = 0, \forall M \in \mathbf{M}\},$$



$$\mathbf{S}_1 = \{X / \text{Hom}_R(X, F) = 0, \forall F \in \mathbf{Z}_1\}.$$

$(\mathbf{S}_1, \mathbf{Z}_1)$  is said the torsion theory *generated by*  $\mathbf{M}$ .

*Dickson torsion theory* which is generated by the class of semisimple module is the hereditary torsion theory and its torsion-free classes and torsion classes are modules with zero socle and semiartinian modules, respectively. *Goldie torsion theory* which is generated by the class of all singular modules is the hereditary torsion theory and its torsion-free and torsion classes are respectively nonsingular modules and Goldie torsion modules. Further details and results on torsion theory can be found in (Crivei, 2004), (Golan, 1986).

As a generalization of closed submodules, (Goodearl, 1972) introduced S-closed submodules. A submodule  $X \leq Z$  is called S-closed if  $Z/X$  is nonsingular. This means that  $Z/X$  is torsion-free for the Goldie torsion theory. Later, in (Durğun, Özdemir, 2020) studied modules whose factor modules belong to the torsion-free class of Dickson torsion theory.  $X$  is a *D-closed* submodule of  $Z$  (or *D-closed* in  $Z$ ) if  $\text{Soc}(Z/X) = 0$ .

In this paper, we propose to generate a new torsion theory. We call a torsion theory G-Dickson if it is generated through only singular simple modules. We show that (1) the torsion class of G-Dickson torsion theory is the class of intersection of the class of Goldie torsion modules and the class of semiartinian modules; (2) the torsion-free class of G-Dickson torsion theory is the class of modules with projective socle; (3) G-Dickson torsion theory is hereditary; (4) Every module in G-Dickson torsion free class is closed under neat quotient. (5) G-Dickson torsion theory and Goldie torsion theory are same if and only if  $R$  is right C-ring.

By  $\text{Sam}(X)$ ,  $E(X)$ ,  $Z(M)$  and  $\text{Soc}(X)$  we shall denote the semiartinian submodule of  $X$ , injective hull of  $X$ , singular submodule of  $X$ , the socle of  $X$  as usual. For all other basic or background material, we refer the reader to (Clark, Lomp, Vanaja, Wisbauer, 2006, Rotman 1979, Enochs, Jenda, 2000).

## 2. G-Semiartinian Modules

**Definition 1.** A right module  $X$  is called g-semiartinian if every non-zero factor module of  $X$  has a singular simple submodule.

### Remark 1.

1. Every singular simple module is g-semiartinian.

2. Every projective simple module is semiartinian but is not  $g$ -semiartinian.
3. Every  $g$ -semiartinian module is semiartinian.

**Proposition 1:** The class of  $g$ -semiartinian modules and the class of semiartinian modules coincide if and only if every simple module is singular.

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) Let  $A$  be a simple projective module. Since  $A$  is semiartinian,  $A$  is also  $g$ -semiartinian by our assumption. Then since every non zero quotient of  $A$  is isomorphic to  $A$ ,  $A$  must be singular, a contradiction. Therefore every simple module is singular. ( $\Leftarrow$ ) It is enough to show that every semiartinian module is  $g$ -semiartinian. Let  $A$  be a semiartinian module. Then quotient of  $A$  has a simple submodule, say  $B$ . By assumption,  $B$  is singular. So  $A$  is  $g$ -semiartinian.

**Proposition 2:** Singular semiartinian module is  $g$ -semiartinian.

**Proof.** Let  $A$  be a singular semiartinian module. Since singular module closed under homomorphic images and submodules, every quotient of  $A$  has a simple singular submodule. So  $A$  is  $g$ -semiartinian.

By the following theorem, the class of  $g$ -semiartinian modules is contained by the intersection of the class of semiartinian modules and the class of goldie torsion.

**Theorem 1:** A right module  $X$  is  $g$ -semiartinian if and only if  $\text{Hom}(X, T) = 0$  for each right module  $T$ , where  $\text{Soc}(T)$  is projective.

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) Let  $X$  be a  $g$ -semiartinian right module and let  $f: X \rightarrow T$  be a homomorphism, where  $\text{Soc}(T)$  is projective. Since  $X$  is  $g$ -semiartinian,  $f(X)$  has a singular simple submodule, say  $S$ . The module  $S$  is a direct summand of  $\text{Soc}(T)$ , and so it is projective, a contradiction. ( $\Leftarrow$ ) Assume that for some  $K \subset X$ ,  $X/K$  has no singular simple module. Then  $\text{Soc}(X/K)$  is projective, and so  $\text{Hom}(X, X/K) = 0$ . This would imply that  $X = K$ . Therefore,  $X$  is  $g$ -semiartinian.

The torsion-free class of  $G$ -Dickson torsion theory exactly contains modules with projective socle.

**Theorem 2:** For a right  $R$ -module  $Y$ ,  $\text{Soc}(Y)$  is projective if and only if  $\text{Hom}(M, Y) = 0$  for every simple singular module  $M$ .

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) Let  $Y$  be a right  $R$ -module with  $\text{Soc}(Y)$  projective. Assume that  $f: A \rightarrow Y$  be a non-zero homomorphism where  $A$  is singular simple right  $R$

module.  $f(A)$  is simple singular submodule of  $Y$ . But since  $\text{Soc}(Y)$  is projective,  $f(A)$  is projective, a contradiction. ( $\Leftarrow$ ) Assume that  $\text{Soc}(Y)$  is not projective for a module  $Y$ . Then  $Y$  has a simple singular submodule, say  $U$ . For the module  $U$ ,  $\text{Hom}(U, Y) = 0$ . But this is impossible, and hence  $\text{Soc}(Y)$  is projective.

**Theorem 3:** Every  $g$ -semiartinian module is Goldie torsion.

**Proof.** Let  $X$  be a  $g$ -semiartinian module. Assume that  $X$  is not Goldie torsion. Then,  $X/A$  is nonsingular, for some  $A \subset X$ . But since  $X$  is  $g$ -semiartinian,  $X/A$  has a singular simple module, say  $S$ . Since any submodule of a nonsingular module is nonsingular,  $S$  is nonsingular. This contradicts with singularity of  $S$ . Therefore  $X$  is Goldie torsion module.

By Theorem 3, the class of  $g$ -semiartinian modules is closed under direct sums, homomorphic images and extensions, that is a torsion class of a torsion theory. For any module  $M$ , any sum of  $g$ -semiartinian submodules of  $M$  is  $g$ -semiartinian, and thus  $M$  contains a unique maximal  $g$ -semiartinian submodule (the torsion submodule of  $M$  for this torsion theory).

The concept of  $C$ -ring was introduced in (Renault, 1964).  $R$  is said to be a right  $C$ -ring if  $\text{Soc}(Z/X) \neq 0$  for every right  $R$ -module  $Z$  and for every essential proper submodule  $X$  of  $Z$ . It is known that  $R$  is a right  $C$ -ring if and only if every singular  $R$ -module is semiartinian. (Clark, Lomp, Vanaja, Wisbauer 2006).

**Theorem 4:**  $R$  is  $C$ -ring if and only if the class of  $g$ -semiartinian modules and the class of Goldie torsion modules are the same.

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) By Theorem 3, every  $g$ -semiartinian module is Goldie torsion module. Let  $M$  be a singular module. Then it is semiartinian since  $R$  is right  $C$ -ring. Then, by Proposition 2,  $M$  is  $g$ -semiartinian. Recall that Goldie torsion class is the least torsion class generated by singular modules. Therefore the Goldie torsion class is a subclass of the class of  $g$ -semiartinian modules.

( $\Leftarrow$ ) In this case, every singular module is semiartinian which implies that  $R$  is right  $C$ -ring.

A torsion theory is called hereditary if its torsion class is closed under submodules. A torsion theory is hereditary if and only if its torsion-free class is closed under injective hulls. (Crivei, 2004).

**Theorem 5:** The class of  $g$ -semiartinian module is hereditary.

**Proof.** A torsion class of torsion theory is hereditary if and only if torsion-free class is closed under injective hull. Let  $T$  be a module with projective socle. Assume that  $E(T)$  has non-projective socle, that is  $E(T)$  has a singular simple submodule, say  $S$ . By essentiality of  $T$  in  $E(T)$ ,  $T \cap S = S$ , and so  $S$  is submodule of  $T$ . This contradicts with  $\text{Soc}(T)$  is projective.

Neatness over arbitrary rings are considered by (Renault, 1964). A submodule  $X$  of a module  $Z$  is called neat in  $Z$  if the sequence  $\text{Hom}(T, Z) \rightarrow \text{Hom}(T, Z/X) \rightarrow 0$  is exact for every simple module  $T$ .

The following result shows that every module in G-Dickson torsion free class is closed under neat quotient.

**Theorem 6:** Let  $Z$  be a right module and let  $X$  be a neat submodule of  $Z$ . If  $\text{Soc}(Z)$  is projective then  $\text{Soc}(Z/X)$  is projective.

**Proof.** Let  $Z$  be a right module with projective socle. Let  $X$  be a neat submodule of  $Z$ . Suppose that  $Z/X$  has a simple singular submodule, say  $B$ . Since  $X$  is neat submodule in  $Z$ , we have a homomorphism  $k: B \rightarrow Z$  such that  $pk = i$ , where  $p: Z \rightarrow Z/X$  is canonical epimorphism and  $i: B \rightarrow Z/X$  is inclusion homomorphism.  $k(X)$  is simple singular module in  $Z$ . But since  $\text{Soc}(Z)$  is projective, a contradiction.

**This work was supported by Research Fund of the Cukurova University. Project Number: 12308**

### Kaynaklar

Clark, J & Lomp C & Vanaja, N. & Wisbauer, R. (2006). Lifting modules, Birkhauser Verlag, Basel.

Crivei, S. (2004). Injective modules relative to torsion theories. EFES Publishing House, ClujNapoca.

Durğun, Y. & Ozdemir, S. (2020). On D-closed submodules. Proceedings of the Indian Academy of Sciences, in press

Enochs, E. E. & Jenda, O. M. G. (2000). Relative Homological Algebra. Berlin-New York: Walter de Gruyter

Goodearl, K. R. (1972). Singular torsion and the splitting properties, *Memoirs of the American Mathematical Society*, No. 124, American Mathematical Society, Providence, R. I.,

Golan, J. S. (1986). *Torsion Theories*. Longman Scientific Technical, Harlow.

Honda, K. (1956). Realism in the theory of abelian groups I. *Comment. Math. Univ. St. Paul.*5: 37-75.

Kepka, T. (1973). On one class of purities. *Commentationes Mathematicae Universitatis Carolinae*, 14: 139-154.

Renault, G. (1964). Etude de certains anneaux lies aux sous-modules complements d'un A-module. *C. R. Acad. Sci. Paris.* 259: 4203-4205.

Rotman, J. (1979). *An introduction to homological algebra*, Academic Press, New York.

# COMMON TOPOLOGICAL PROPERTIES OF DIFFERENCE SEQUENCE SPACES DEFINED BY MODULAR SEQUENCE SPACES

**Gülcan ATICI TURAN**

*Muş Alparslan University, Department of Mathematics, Muş, 49100, Turkey  
e-mail: gatici23@hotmail.com*

**Abstract:** Lindenstrauss & Tzafriri (1965) used the idea of Orlicz function to define the sequence space  $\ell_M$  which is called an Orlicz sequence space. Another generalization of Orlicz sequence spaces is due to Woo (1973). The purpose of the present study is to introduce the new two sequence spaces

$$\ell_M(\Delta, \lambda, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

and

$$\ell_N(\Delta, \lambda, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

where  $M_k$  and  $N_k$  are mutually complementary functions for each  $k$ ,  $\lambda = \{\lambda_k\}$  is a sequence of strictly positive real numbers,  $u = (u_k)$  is a sequence of positive real numbers and  $\Delta$  is difference operator. We also examine some topological properties and establish some inclusion relations between these spaces.

**Keywords:** Sequence spaces, Orlicz function

## INTRODUCTION

Let  $w$  express the set of all sequences  $x = (x_k)$ , and  $\ell_\infty$ ,  $c$  and  $c_0$  be the linear spaces of bounded, convergent and null sequences with real terms, respectively, normed by  $\|x\|_\infty = \sup_k |x_k|$ .

An Orlicz function is a function  $M : [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$  which is continuous, non-decreasing and convex with  $M(0) = 0$ ,  $M(x) > 0$  for  $x > 0$  and  $M(x) \rightarrow \infty$  as  $x \rightarrow \infty$ .

When  $M$  is a convex function and  $M(0) = 0$ ,  $M(\lambda x) \leq \lambda M(x)$  for all  $\lambda$  with  $0 < \lambda < 1$ .

Lindenstrauss and Tzafriri (1965) used the idea of Orlicz function to define what an Orlicz sequence space is called

$$\ell_M = \left\{ x \in w: \sum_{k=1}^{\infty} \left( M \left( \frac{|x_k|}{\rho} \right) \right) < \infty, \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

which is a Banach space with the norm

$$\|x\| = \inf \left\{ \rho > 0: \sum_{k=1}^{\infty} \left( M \left( \frac{|x_k|}{\rho} \right) \right) \leq 1 \right\}.$$

Any Orlicz function  $M_k$  always has the integral representation

$$M_k(x) = \int_0^x p_k(t) dt,$$

where  $p_k$ , known as the kernel of  $M_k$ , is non-decreasing, is right continuous for  $t > 0$ ,  $p_k(0) = 0$ ,  $p_k(t) > 0$  for  $t > 0$  and  $p_k(t) \rightarrow \infty$  as  $t \rightarrow \infty$ .

Given an Orlicz function  $M_k$  with kernel  $p_k(t)$ , define

$$q_k(s) = \sup\{t: p_k(t) \leq s, s \geq 0\}.$$

Then  $q_k(s)$  possesses the same properties as  $p_k(t)$  and the function  $N_k$  defined as

$$N_k(x) = \int_0^x q_k(s) ds,$$

is an Orlicz function. The functions  $M_k$  and  $N_k$  are called mutually complementary Orlicz functions.

The difference sequence spaces

$$X(\Delta) = \{x = (x_k): \Delta x \in X\}$$

first defined by Kizmaz (1981).

The concept of paranorm is closely related to linear metric spaces. It is a generalization of that of absolute value. Let  $X$  be a linear space. A function  $g: X \rightarrow \mathbb{R}$  is called paranorm, if

- (i)  $g(x) \geq 0$ , for all  $x \in X$ ,
- (ii)  $g(-x) = g(x)$ , for all  $x \in X$ ,
- (iii)  $g(x + y) \leq g(x) + g(y)$ , for all  $x, y \in X$ ,
- (iv)  $(\mu_n)$  is a sequence of scalars with  $\mu_n \rightarrow \mu$  ( $n \rightarrow \infty$ ) and  $(x_n)$  is a sequence of vectors with  $(x_n - x) \rightarrow 0$  ( $n \rightarrow \infty$ ), then  $g(\mu_n x_n - \mu x) \rightarrow 0$  ( $n \rightarrow \infty$ ).

**Definition 1.** Let  $X$  be a sequence space. Then  $X$  is called

(i) Solid (or normal), if  $(\alpha_k x_k) \in X$  whenever  $(x_k) \in X$  for all sequences  $(\alpha_k)$  of scalars with  $|\alpha_k| \leq 1$ .

(ii) Monotone, if  $X$  contains the canonical preimages of all its stepspace (Kamthan & Gupta, 1981).

**Proposition 2.**  $\lambda$  is normal  $\Rightarrow \lambda$  is monotone (Kamthan & Gupta, 1981).

**Definition 3.** Any two Orlicz functions  $M_1$  and  $M_2$  are said to be equivalent, if there are positive constant  $\alpha$  and  $\beta$ , and  $x_0$  such that  $M_1(\alpha x) \leq M_2(x) \leq M_1(\beta x)$  for all  $x$  with  $0 \leq x \leq x_0$  (Kamthan & Gupta, 1981).

U is showed as the set of all real sequences  $u = (u_k)$ , where  $u_k > 0$  for all  $k \in \mathbb{N}$ .

The following inequality is be used entire the article. Let  $p = (p_k)$  be a positive sequence of real numbers with  $0 < p_k \leq \sup p_k = H$ ,  $D = \max(1, 2^{H-1})$ . Then for all  $a_k, b_k \in \mathbb{C}$  for all  $k \in \mathbb{N}$ , we have

$$|a_k + b_k|^{p_k} \leq D\{|a_k|^{p_k} + |b_k|^{p_k}\}. \tag{1.1}$$

## MAIN RESULTS

**Definition 4.** Let  $M_k$  and  $N_k$  be mutually complementary functions Orlicz for each  $k$  and  $p = (p_k)$  be a bounded sequence of strictly positive real numbers. Further, let  $\lambda = (\lambda_k)$  be a sequence of strictly positive real numbers. We define the set:

$$\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

and

$$\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$



Entire the paper, we write  $M_k(1) = 1$  and  $N_k(1) = 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$ .

**Theorem 5.** If  $\mathcal{M} = (M_k)$  and  $\mathcal{N} = (N_k)$  are two sequences of Orlicz functions, then  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  and  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  are linear spaces.

**Proof.** We shall prove only for  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . Let  $x, y \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  and  $a, b \in \mathbb{C}$ . Then there exist positive numbers  $\rho_1$  and  $\rho_2$  such that

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho_1} \right) \right]^{p_k} < \infty$$

and

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta y_k|}{\lambda_k \rho_2} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

Define  $\rho = \max(2|a|\rho_1, 2|b|\rho_2)$ . Since  $M_k$  are non-decreasing and convex function so by using inequality (1.1), we have

$$\begin{aligned} \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta(ax_k + by_k)|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \\ \leq D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} + D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta y_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k}. \end{aligned}$$

This proves that  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  is a linear space. The proof for  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  is similar.

**Theorem 6.** For any sequence  $\mathcal{M} = (M_k)$  of Orlicz function,  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  is a paranormed space with

$$g_{\lambda}(x) = \inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\}$$

where  $T = \max(1, H)$ ,  $H = \sup_k p_k < \infty$ .

**Proof.** It is clear that  $g_{\lambda}(-x) = g_{\lambda}(x)$ . Since  $M_k(0) = 0$ , we get  $\inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 \right\}$  for  $x = 0$ . By using Theorem 5, for  $a = b = 1$ , we get

$$g_{\lambda}(x + y) \leq g_{\lambda}(x) + g_{\lambda}(y).$$

Let  $\mu \neq 0$  be any complex number. Because of the continuity of the scalar multiplication, it can be written

$$\begin{aligned}
g_\lambda(\mu x) &= \inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta(\mu x_k)|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \leq 1, k \right. \\
&\quad \left. = 1, 2, \dots \right\} \\
&= \inf \left\{ (|\mu| r)^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta(\mu x_k)|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \right. \\
&\quad \left. \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\}
\end{aligned}$$

where  $r = \rho/|\mu|$ . Since  $|\mu|^{p_n} \leq \max(1, |\mu|^T)$ , we have

$$\begin{aligned}
g_\lambda(\mu x) &\leq \max(1, |\mu|^T) \inf \left\{ r^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \right. \\
&\quad \left. \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\} \\
&= \max(1, |\mu|^T) g_\lambda(x)
\end{aligned}$$

and therefore  $g_\lambda(\mu x)$  converges to zero when  $g_\lambda(x)$  converges to zero in  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ .

Now let  $x$  be fixed element in  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . There exists  $\rho > 0$  such that

$$g_\lambda(x) = \inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\}.$$

Now

$$\begin{aligned}
g_\lambda(\mu x) &= \inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta(\mu x_k)|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \leq 1, k \right. \\
&\quad \left. = 1, 2, \dots \right\} \rightarrow 0,
\end{aligned}$$

as  $\mu \rightarrow 0$ . This completes the proof.

**Theorem 7.** For any sequence  $\mathcal{N} = (N_k)$  of Orlicz function,  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  is a paranormed space with

$$g^\lambda(x) = \inf \left\{ \rho^{\frac{p_n}{T}} > 0 : \left( \sum_{k \geq 1} u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right)^{1/T} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\}$$

such that  $T = \max(1, H)$ ,  $H = \sup_k p_k < \infty$ .

**Proof.** The proof is similar to proof of the Theorem 6.

**Theorem 8.** Assume that  $0 < p_k \leq r_k < \infty$ , for each  $k \in \mathbb{N}$ . Then we have

(i)  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) \subseteq \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, r)$

(ii)  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p) \subseteq \ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, r)$ .

**Proof.** (i) Let  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . Then there exists some  $\rho > 0$  such that

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

This implies that  $M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \leq 1$  for sufficiently large  $k$ , since all  $M_k$  are non-decreasing. Hence, we get

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{r_k} \leq \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty$$

i.e.,  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, r)$ .

The proof of (ii) is trivial.

**Theorem 9.** Let  $\mathcal{M} = (M_k)$  and  $\mathcal{T} = (T_k)$  be any two sequences of Orlicz functions. Then we have (i)  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) \cap \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p) \subseteq \ell_{\mathcal{M}+\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$

(ii) If  $\mathcal{M}$  and  $\mathcal{T}$  are equivalent, then  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$ .

**Proof.** (i) Let  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) \cap \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$ . Then

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty$$

and

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ T_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

We have

$$\left[ (M_k + T_k) \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \leq \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} + \left[ T_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k}.$$

Applying  $\sum_{k \geq 0}$  and multiplying  $u_k$  both side of this inequality, we get

$$\begin{aligned} \sum_{k \geq 1} u_k \left[ (M_k + T_k) \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \\ \leq D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} + D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ T_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k}. \end{aligned}$$

This completes the proof.

(ii) Proof follows from Definition 3.

**Theorem 10.** Let  $\mathcal{N} = (N_k)$  and  $\mathcal{T} = (T_k)$  are any two sequences of Orlicz functions. Then we have

(i)  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p) \cap \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p) \subset \ell_{\mathcal{N}+\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$

(ii) If  $\mathcal{N}$  and  $\mathcal{T}$  are equivalent, then  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p) = \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$ .

**Proof.** (i) Let  $x \in \ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p) \cap \ell_{\mathcal{T}}(\Delta, \lambda, p)$ . Then

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty$$

and

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ T_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

We have

$$\left[ (N_k + T_k) \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} + \left[ T_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k}.$$

Applying  $\sum_{k \geq 1}$  and multiplying  $u_k$  both side of this inequality, we get

$$\begin{aligned} \sum_{k \geq 1} u_k \left[ (N_k + T_k) \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \\ \leq D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \\ + D \sum_{k \geq 1} u_k \left[ T_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k}. \end{aligned}$$

This completes the proof.

(ii) Proof follows from Definition 3.

**Definition 11.** Let  $\mathcal{M} = (M_k)$  be a sequence of Orlicz functions,  $p = (p_k)$  be a bounded sequence of strictly positive real numbers and  $\lambda = \{\lambda_k\}$  be a sequence of strictly positive real numbers. The sequence spaces can be defined as following:

$$\ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

If  $\lambda_k = 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$ , then  $\ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  reduce to and  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p)$  as follows:

$$\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p) = \left\{ x = (x_k) : \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

**Theorem 12.** If  $\lambda = \{\lambda_k\}$  is a bounded sequence such that  $\inf \lambda_k > 0$ , then  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p)$ .

**Proof.** Let  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . Then  $\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty$  for some  $\rho > 0$ . Since  $\lambda = \{\lambda_k\}$  is a bounded, we can write and  $a \leq \lambda_k \leq b$  for some  $b > a \geq 0$ . Define  $\rho_1 = \rho b$ . Since  $M_k$  is increasing, follows that

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho_1} \right) \right]^{p_k} \leq \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

Hence  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p) \subset \ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . The other inclusion  $\ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) \subset \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p)$  follows from inequality

$$\sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho/a} \right) \right]^{p_k} \leq \sum_{k \geq 1} u_k \left[ M_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} < \infty.$$

Therefore  $\ell^{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . Similarly, one can prove  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p) = \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, p)$ .

**Theorem 13.** The space  $\ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  is solid and hence is monotone.

**Proof.** Let  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  and  $(\alpha_k)$  be sequence of scalar such that  $|\alpha_k| \leq 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$ . Then

$$u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta \alpha_k x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \leq u_k \left[ M_k \left( \frac{|\Delta x_k|}{\lambda_k \rho} \right) \right]^{p_k} \rightarrow 0$$

as  $k \rightarrow \infty$ . Hence  $\alpha x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$  for all sequence of scalars  $(\alpha_k)$  with  $|\alpha_k| \leq 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$  whenever  $x \in \ell_{\mathcal{M}}(\Delta, \lambda, p)$ . The space is monotone follows from Proposition 2.

**Theorem 14.** The space  $\ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  is solid and hence is monotone.

**Proof.** Let  $x \in \ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  and  $(\alpha_k)$  be sequence of scalar such that  $|\alpha_k| \leq 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$ . Then

$$u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta \alpha_k x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq u_k \left[ N_k \left( \frac{\lambda_k |\Delta x_k|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \rightarrow 0$$

as  $k \rightarrow \infty$ . Hence  $\alpha x \in \ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$  for all sequence of scalars  $(\alpha_k)$  with  $|\alpha_k| \leq 1$  for all  $k \in \mathbb{N}$  whenever  $x \in \ell_{\mathcal{N}}(\Delta, \lambda, p)$ . The space is monotone follows from Proposition 2.

## References

- Bektas, Ç. A. & Atici G., (2013). On Some New Modular Sequence Spaces. Bol. Soc. Paran. Mat., 31, 55-65.
- Gupta M. & Pradhan S., (2008). On Certain Type of Modular Sequence Spaces. Turk J Math., 32, 293-303.
- Kamthan P. K. & Gupta M., (1981). Sequence Spaces and Series. Marcel Dekker. Inc New York.
- Kızmaz H., (1981). On certain sequence spaces. Canad. Math. Bull., 24, 169-176.
- Lindenstrauss J. & Tzafriri L., (1965). On Orlicz sequence spaces. Israel J. Math., 10, 379-390.
- Nakano H., (1955). Modulare Sequence Spaces. Proc. Jap Acad., 27 Reprinted in, Semi Ordered Linear Spaces, Tokyo.
- Woo J. Y. T., (1973). On Modular Sequence spaces. Studia Math., 48, 271-289.

# ADİ DİFERANSİYEL DENKLEMLERİN İLK İNTEGRALLERİNİN ELDE EDİLMESİ

**Özlem ORHAN**

*Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi,*

*Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü,*

*oorhan@bandirma.edu.tr*

**Özet:** Bu çalışmada, adi diferansiyel denklemlerin ilk integrallerinin ve integrasyon çarpanlarının nasıl elde edildiği ele alınmıştır. İlk olarak, denklemlerin katsayıları kullanılarak adi diferansiyel denklemler sınıflandırılmış, bu sınıflandırmaya göre bu denklemlerin ilk integralleri ve integrasyon çarpanlarını özel formda elde etmek için yöntemler ele alınmıştır. Sonra, bu yöntemler kullanılarak bazı lineer olmayan diferansiyel denklemlerin ilk integralleri ve integrasyon çarpanları bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Diferansiyel denklemler, Sınıflandırma, İlk integraller.

## Giriş

Diferansiyel denklemler, mühendislik problemlerinin kurulmasına ve çözülmesine yarayan denklemlerdir, sanayi ve teknolojiye birçok kullanım alanı vardır. Bu yüzden, diferansiyel denklemlerin çözümlerini bulmak literatürde oldukça önemli ve popüler bir çalışma alanıdır [1-8]. Diferansiyel denklemler lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemler şeklinde ikiye ayrılır. Lineer olan diferansiyel denklemlerin çözümlerini elde etmek için elverişli yöntemler var iken lineer olmayan diferansiyel denklemlerin çözümlerini bulmak oldukça zordur. Lineer olmayan diferansiyel denklemlerin çözümlerini elde etmek için birçok teori ortaya konulmuştur, bunlardan biri simetri yöntemleridir. Birden fazla simetri çeşidi olmak üzere, bu simetritelerin elde edilme yöntemleri birbirlerinden farklıdır, her birini elde etmek için ayrı bir teori vardır. Bu teoriler uygulanarak simetriteler elde edildikten sonra, bu simetriteler yardımıyla denklemin ilk integralleri daha sonrasında da bu ilk integraller kullanılarak denklemin analitik çözümleri elde edilebilir.

Şimdi,

$$\ddot{x} + a_3(t,x) \dot{x}^3 + a_2(t,x) \dot{x}^2 + a_1(t,x) \dot{x} + a_0(t,x) = 0, \quad (1)$$

denklemini ele alalım. Bu (1) denkleminde t bağımsız değişken, x ise bağımlı değişkendir.

Bu (1) formundaki denklemlerin

$$A(t,x)\dot{x} + B(t,x) \quad (2)$$

şeklinde ilk integralleri vardır. Bu (2) şeklindeki ilk integralleri hesaplamak için kullanışlı bir algoritma geliştirilmiştir [9-10]. Bu algoritmayı kullanarak (2) şeklindeki ilk integralleri elde edebilmek için (1) denkleminde  $a_3$  katsayısı sıfır olmak zorundadır, O halde denkleminiz

$$\ddot{x} + a_3(t,x) \dot{x}^3 + a_2(t,x) \dot{x}^2 + a_1(t,x) \dot{x} + a_0(t,x) = 0, \quad (3)$$

şekline dönüşür.

Öncelikle, bu algoritmayı inceleyip sonrasında bu algoritmayı fiziksel bir denklem olan Van der pol denklemine uygulayacağız. Bu uygulamadan denklemin ilk integralleri, integrasyon çarpanları ve çözümü elde edilecektir.

Bu çalışma şu şekilde düzenlenecektir. İkinci bölümde bazı önemli tanımlar ve teoremler verilecektir. 3. bölümde Van der pol denkleminin ilk integrali ve buna karşılık gelen integrasyon çarpanı hesaplanacaktır. Son bölümde, bu çalışmadaki önemli sonuçlar ele alınacaktır.

## Denklemleri sınıflandırma ve ilk integralleri veren algoritma

Bu bölümde, (3) formundaki denklemlerin  $A(t,x)\dot{x} + B(t,x)$  şeklindeki ilk integrallerini inceleyeceğiz. Bu ilk integralleri elde etmek için öncelikle denklemini sınıflandırmalıyız. Denklemi sınıflandırmak için ilk olarak,

$$S_1(t,x) = a_{1x} - 2a_{2t}, \quad (4)$$

ve

$$S_2(t,x) = (a_0a_{2x} + a_{0x})_x + (a_{2t} - a_{1x})_t + (a_{2t} - a_{1x})a_1 \quad (5)$$



fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlardan  $S_1 = 0$  ise  $S_2 = 0$  olmak zorundadır.

Eğer  $S_1 \neq 0$  ise iki yeni fonksiyon tanımlamamız gerekir. Bu yeni fonksiyonlar,

$$S_3(t, x) = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)_x - (a_{2t} - a_{1x}), \quad (6)$$

$$S_4(t, x) = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)_t + \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + a_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right) + a_0 a_{2t} + a_{0x}, \quad (7)$$

şeklinde tanımlanır.

$S_3 = 0$  ise  $S_4 = 0$  olmalıdır. Bu sınıflandırma altında ilk integralleri veren algoritmayı inceleyelim.

İlk olarak,

$$P_t = a_1 + \frac{S_2}{S_1}, \quad \text{ve} \quad P_x = a_2 \quad (8)$$

denklemlerinden P fonksiyonu bulunur. Bu P fonksiyonu,

$$Q_t = a_0 e^P \quad \text{ve} \quad Q_x = \frac{S_2}{S_1} e^P \quad (9)$$

denklemlerinde yerine yazılarak Q fonksiyonu elde edilir. Buradan,

$$A = e^P \quad \text{ve} \quad B = Q \quad (10)$$

dur. Böylelikle  $A(t, x)\dot{x} + B(t, x)$  formundaki ilk integral elde edilmiş olur.

### **Van der pol denkleminin ilk integrali**

İlk olarak Van der pol denklemini ele alalım,

$$\ddot{x} - \mu(1 - x^2)\dot{x} + x = 0,$$

burada  $x$  konumu,  $t$  zamanı ve  $\mu$  sabiti sönüm kuvvetini göstermektedir.

Öncelikle denklemi sınıflandırmak için  $S_1$  fonksiyonu hesaplandı ve  $S_1 = 2ax$  olarak bulundu. Buradan anlaşılıyor ki,  $S_1 \neq 0$  olduğu için  $S_2 \neq 0$  dır ve  $S_3$  ile  $S_4$  fonksiyonları sıfır olmalıdır. (6) ve (7) denklemlerini kullanarak bu fonksiyonları hesaplırsak sıfır çıktıklarını görürüz.

Denklem sınıflandırıldığına göre, artık ilk integrali veren algoritmayı elde edebiliriz. (8) denkleminde katsayıları yerine yazıp bu denklemi çözersek,  $P=0$  bulunur.

Buradan, (9) denkleminde bulunanları yerine yazarsak,

$$Q_{t=x} \text{ ve } Q_x = -\mu(1 - x^2)$$

olduğu görülür ve bu denklemin çözümünden

$$Q = tx + \frac{1}{3} ax(x^2 - 3)$$

şeklinde elde edilir.

Böylece,  $A$  ve  $B$  fonksiyonları

$$A = 1 \text{ ve } B = tx + \frac{1}{3} ax(x^2 - 3)$$

şeklinde elde edilir. Son olarak, Van der pol denkleminin ilk integrali,

$$I = \dot{x} + tx + \frac{1}{3} ax(x^2 - 3)$$

şeklinde bulunur. Bu integrali kullanarak Van der pol denkleminin çözümü elde edilebilir.

## Sonuç

Bu çalışmada ilk olarak,  $S_1, S_2, S_3, S_4$  fonksiyonları kullanılarak adi diferansiyel denklemlerin sınıflandırılabilceği gösterildi. Bu sınıflandırmanın bize ilk integralleri elde etmek için kolay bir algoritma

verdiği gösterildi ve bu algoritma incelendi. Bu algoritma kullanılarak Van der pol denkleminin ilk integrali elde edildi.

## Referanslar

- [1] E. Noether, "Invariante Variationsprobleme" Nachr. König. Gesell. Wissen. Göttingen, Math.-Phys. Kl. Heft, vol. 2, pp. 235-257, 1918.  
English translation in Transport Theory and Statistical Physics, vol. 13, pp. 186-207, 1971.
- [2] S. Bluman and GW. Kumei, "Symmetries and Differential Equations", Springer-Verlag, 1989.
- [3] LV. Ovsiannikov, "Group Analysis of Differential Equations", Moscow, Nauka, 1978.
- [4] NH. Ibragimov, editor. "CRC Handbook of Lie Group Analysis of Differential Equations" vols, I-III; 1994.
- [5] PJ. Olver, "Applications of Lie Groups to Differential Equations", Springer-Verlag, 1986.
- [6] H. Stephani, "Differential Equations and Their Solutions Using Symmetries", Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- [7] S. Lie, "Klassifikation and integration von gewöhnlichen differentialgleichungen zwischen x; y, eine gruppe von transformationen gestatten", III, Arch. Mat. Naturvidenskab. Cambridge, vol. 8, pp. 371-458, 1883.
- [8] S. Hosseinpour, M. Alavi Milani and H. Pehlivan, Step by step solution methodology for mathematical expressions, *Symmetry*, 10(7), 285, (2018).
- [9] C. Muriel and J. L. Romero, "New methods of reduction for ordinary differential equations", *IMA Journal of Applied Mathematics*, vol. 66, pp. 111-125, 2001.

[10] C. Muriel and J. L. Romero, "Second-Order Ordinary Differential Equations and First Integrals of The Form  $A(t; x) \dot{x} + B(t; x)$ ", Journal of Nonlinear Mathematical Physics, vol. 16 pp. 209-222, 2009.

[12] L. G. S. Duarte, I. C. Moreira and F. C. Santos, "Linearization under non-point transformation", J. Phys. A:Math. Gen, vol. 27, pp. 739-743, 1994.

[13] V. K. Chandrasekar, M. Senthilvelan and M. Lakshmanan, "On the complete integrability and linearization of certain second-order nonlinear ordinary differential equations", Proc. R. Soc. A, vol. 461 pp. 2451-2476, 2005.

# ERMAKOV-PINNEY DENKLEMİNİN SİMETRİ YÖNTEMLERİYLE MATEMATİKSEL ANALİZİ

**Özlem ORHAN**

*Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü,  
oorhan@bandirma.edu.tr*

**Özet:** Bu çalışmada Ermakov-Pinney denklemi ele alınmıştır. İlk olarak, Ermakov-Pinney denkleminin lineerleştirilebilir bir denklem sınıfına girdiği gösterilmiştir. Daha sonra simetri analizi kullanılarak denklemin simetrisi elde edilmiştir. Bu simetrisi yardımıyla denklemin analitik çözümleri bulunmuştur. Bu çözümler, dış potansiyel fonksiyonunun farklı seçeneklerine göre sınıflandırılmış ve potansiyel fonksiyonun fiziksel durumlarına göre ilk integraller elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Diferansiyel denklemler, Simetrisi, Ermakov-Pinney denklemi.

## Giriş

Simetri yöntemleri, diferansiyel denklemlerin araştırılmasında en önemli yöntemlerden biridir, bu yüzden birçok araştırmacı simetri yöntemleri ile ilgilenmiştir [1-8]. Simetrisi bulmak için farklı yöntemler mevcuttur. Diferansiyel denklemler, lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemler şeklinde ikiye ayrılır ve lineer diferansiyel denklemlerin çözümlerini bulmak daha kolay bir iştir. Bunun tersine, lineer olmayan diferansiyel denklemlerin çözümlerini bulmak oldukça zor bir iştir, lineer olmayan diferansiyel denklemlerin nümerik (yaklaşık) çözümleri daha kolay elde edilebilirken, özellikle analitik çözümleri elde etmenin zor bir prosedür olduğu bilinmektedir.

Lineer olmayan diferansiyel denklemleri çözenin bir yolu da denklemin, çözümleri bilinen lineer bir denklem haline getirmektir. Bu yapılan işleme lineerleştirme denir. Bu çalışmada lineerleştirme yöntemleri incelenmiştir.

Şimdi lineerleştirme yöntemlerinin nasıl uygulandığını ele alalım. Bu yöntemi anlamak için öncelikle

$$\ddot{x} + a_3(t,x) \dot{x}^3 + a_2(t,x) \dot{x}^2 + a_1(t,x) \dot{x} + a_0(t,x) = 0, \quad (1)$$

denklemini alalım. (1) denkleminde t bağımsız değişken, x ise bağımlı değişkendir.

(1) formundaki denklemlerin

$$A(t,x)\dot{x} + B(t,x) \quad (2)$$

şeklinde ilk integralleri olduğu bilinmektedir ve ilk integralleri hesaplamak için kullanışlı bir algoritma geliştirilmiştir [9-10]. Bu algoritmayı kullanarak (2) şeklindeki ilk integralleri elde edebilmek için (1) denkleminde  $a_3$  katsayısı sıfır alınmalıdır.

O halde denkleminiz

$$\ddot{x} + a_3(t,x) \dot{x}^3 + a_2(t,x) \dot{x}^2 + a_1(t,x) \dot{x} + a_0(t,x) = 0, \quad (3)$$

haline gelir.

Öncelikle, bu algoritma incelenecektir, daha sonra Ermakov-Pinney denkleminin ilk integralleri bu algoritma kullanılarak bulunacaktır. Bu uygulamadan denklemin ilk integralleri, integrasyon çarpanları ve çözümü elde edilecektir.

### **Lineerleştirme yönteminin uygulanması**

Bu bölümde, (3) formundaki denklemlerin  $A(t,x)\dot{x} + B(t,x)$  şeklindeki ilk integrallerinin nasıl elde edilip denklemin lineer hale getirildiğini inceleyeceğiz. Bu formda ilk integralleri elde etmek için öncelikle denklemin sınıflandırılması gerekir. Denklemi sınıflandırmak için ilk olarak,

$$S_1(t,x) = a_{1x} - 2a_{2t}, \quad (4)$$

ve

$$S_2(t,x) = (a_0a_{2x} + a_{0x})_x + (a_{2t} - a_{1x})_t + (a_{2t} - a_{1x})a_1 \quad (5)$$

fonksiyonları ele alınır. Bu fonksiyonlardan  $S_1 = 0$  ise  $S_2 = 0$  olmak zorundadır.

Eğer  $S_1 \neq 0$  ise iki yeni fonksiyon tanımlamamız gerekir. Bu yeni fonksiyonlar,

$$S_3(t, x) = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)_x - (a_{2t} - a_{1x}), \quad (6)$$

$$S_4(t, x) = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)_t + \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + a_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right) + a_0 a_{2+} a_{0x}, \quad (7)$$

şeklinde tanımlanır.

Bu iki tanımlanan fonksiyon için,  $S_3 = 0$  ise  $S_4$ 'ün sıfır olması gerektiği bilinmektedir.

Şimdi,  $S_1 = 0$  ise  $S_2$ 'nin sıfır olması gerektiği sınıflandırması altında ilk integalleri veren algoritmayı inceleyelim.

İlk olarak,

$$P_t = \frac{1}{2}a_1, \quad \text{ve} \quad P_x = a_2 \quad (8)$$

denklemlerinden P fonksiyonu bulunur. Daha sonra,

$$f(t, x) = a_0 a_{2+} + a_{0x} - \frac{1}{2}a_{1x} - \frac{1}{4}a_1^2, \quad (9)$$

denklemi ile  $f(t, x)$  fonksiyonu elde edilir.

$$g''(t) + f(t)g(t) = 0, \quad (10)$$

denkleminin çözümünden  $g(t)$  fonksiyonu hesaplanır. Ve bulunan fonksiyonlar

$$Q_{t=a_0} g e^P \quad \text{ve} \quad Q_x = \left( \frac{1}{2} a_1 - \frac{g'}{g} \right) g e^P \quad (11)$$

denklemlerinde yazılır ve (11) denklemini çözülürse, Q fonksiyonu hesaplanır. Buradan,

$$A = g e^P \quad \text{ve} \quad B = Q \quad (12)$$

olarak bulunur. Böylece,  $A(t, x)\dot{x} + B(t, x)$  formundaki ilk integral elde edilmiş olur.

### **Ermakov-Pinney denklemini için ilk integralin elde edilmesi**

İlk olarak, Ermakov-Pinney

$$\ddot{x} + \omega^2(t)x = \frac{h(t)}{x^3}, \quad (13)$$

denklemini ele alalım, burada  $x$  konumu,  $t$  zamanı,  $\omega^2(t)$  ve  $h(t)$  dış potansiyel fonksiyonunu ve üst nokta bağımsız  $t$  değişkenine göre türevi göstermektedir.

Öncelikle denklemini sınıflandırmak için  $S_1$  fonksiyonu hesaplanır ve  $S_1 = 0$  bulunur. Bu koşul altında  $S_2$  hesaplanırsa

$$S_2 = \frac{h(t)}{x^5}, \quad (14)$$

olarak hesaplanır.  $S_1 = 0$  olduğu zaman  $S_2$  fonksiyonunun sıfır olmak zorunda olması koşulundan,  $h(t)=0$  olmak zorunda olduğu görülür.

Denklem sınıflandırıldığına göre, artık ilk integrali veren algoritma uygulanabilir. (8) denkleminde katsayıları yerine yazıp bu denklemini çözersek,  $P = 0$  elde edilir.

(9) denkleminde  $f(t)$  fonksiyonu  $f(t) = w(t)$  olarak elde edilir.

Buraya kadar bulunan fonksiyonları (10) denkleminde yerine yazarsak ve bu diferansiyel denklemini çözersek,

$$g(t) = c_1 \cos(t\sqrt{\omega}) + c_2 \sin(t\sqrt{\omega}), \quad (15)$$

olarak elde edilir.



$$Q_{t=x}(t)x c_1 \cos (t\sqrt{\omega}) + c_2 \sin(t\sqrt{\omega})$$

ve

$$Q_x = -\sqrt{\omega} c_2 \cos (t\sqrt{\omega}) + \sqrt{\omega} c_1 \sin(t\sqrt{\omega})$$

denklemlerinin çözümünden

$$Q(t, x) = -x\sqrt{\omega} (c_2 \cos (t\sqrt{\omega}) - \sqrt{\omega} c_1 \sin(t\sqrt{\omega})) + c_3$$

şeklinde elde edilir.

Böylece,  $A$  ve  $B$  fonksiyonları

$$A(t, x) = c_1 \cos (t\sqrt{\omega}) + c_2 \sin(t\sqrt{\omega})$$

ve

$$B(t, x) = -x\sqrt{\omega} (c_2 \cos (t\sqrt{\omega}) - \sqrt{\omega} c_1 \sin(t\sqrt{\omega})) + c_3$$

şeklinde elde edilir.

Son olarak, Ermakov-Pinney denkleminin ilk integrali,

$$I = (c_1 \cos (t\sqrt{\omega}) + c_2 \sin(t\sqrt{\omega}))\dot{x} - x\sqrt{\omega} (c_2 \cos (t\sqrt{\omega}) - \sqrt{\omega} c_1 \sin(t\sqrt{\omega})) + c_3$$

şeklinde bulunur. Bu integrali kullanarak Ermakov-Pinney denkleminin çözümü elde edilebilir.

## Sonuç

Bu çalışmada ilk olarak,  $S_1$  fonksiyonu sıfır olarak bulunursa  $S_2$  fonksiyonunun sıfır olmak zorunda olduğu ele alındı. Bu teorem kullanılarak adi diferansiyel denklemlerin nasıl sınıflandırılacağı gösterildi. Bu sınıflandırmanın bize ilk integralleri elde etmek için bir algoritma sağladığı ele alındı ve bu algoritma incelendi. Bu algoritma kullanılarak Ermakov-Pinney denkleminin ilk integrali elde edildi.

## Referanslar

- [1] E. Noether, "Invariante Variationsprobleme" Nachr. König. Gesell. Wissen. Göttingen, Math.-Phys. Kl. Heft, vol. 2, pp. 235-257, 1918.  
English translation in Transport Theory and Statistical Physics, vol. 13, pp. 186-207, 1971.
- [2] S. Bluman and GW. Kumei, "Symmetries and Differential Equations", Springer-Verlag, 1989.
- [3] LV. Ovsiannikov, "Group Analysis of Differential Equations", Moscow, Nauka, 1978.
- [4] NH. Ibragimov, editor. "CRC Handbook of Lie Group Analysis of Differential Equations" vols, I-III; 1994.
- [5] PJ. Olver, "Applications of Lie Groups to Differential Equations", Springer-Verlag, 1986.
- [6] H. Stephani, "Differential Equations and Their Solutions Using Symmetries", Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- [7] S. Lie, "Klassifikation and integration von gewöhnlichen differentialgleichungen zwischen x; y, eine gruppe von transformationen gestatten", III, Arch. Mat. Naturvidenskab. Cambridge, vol. 8, pp. 371-458, 1883.
- [8] S. Hosseinpour, M. Alavi Milani and H. Pehlivan, Step by step solution methodology for mathematical expressions, *Symmetry*, 10(7), 285, (2018).
- [9] C. Muriel and J. L. Romero, "New methods of reduction for ordinary differential equations", *IMA Journal of Applied Mathematics*, vol. 66, pp. 111-125, 2001.
- [10] C. Muriel and J. L. Romero, "Second-Order Ordinary Differential Equations and First Integrals of The Form  $A(t; x) \dot{x} + B(t; x)$ ", *Journal of Nonlinear Mathematical Physics*, vol.

16 pp. 209-222, 2009.

[12] L. G. S. Duarte, I. C. Moreira and F. C. Santos, "Linearization under non-point transformation", J. Phys. A:Math. Gen, vol. 27, pp. 739-743, 1994.

[13] V. K. Chandrasekar, M. Senthilvelan and M. Lakshmanan, "On the complete integrability and linearization of certain second-order nonlinear ordinary differential equations", Proc. R. Soc. A, vol. 461 pp. 2451-2476, 2005.

**MOLECULAR BIOLOGY / MOLEKÜLER BİYOLOJİ**

# MEZENKİMAL EPİTELYAL DÖNÜŞÜM (MET) SÜRECİNİN EPİGENETİK ALTYAPISINI DÜZENLEYEN TRANSKRİPSİYON FAKTÖRLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Burcu SENGEZ<sup>1,2</sup> & Gokhan KARAKULAH<sup>1,2</sup> & Hani ALOTAİBİ<sup>1,2</sup>**

1. İzmir Biyotıp ve Genom Merkezi, 35340 İzmir, Türkiye
  2. İzmir Uluslararası Biyotıp ve Genom Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, 35340 İzmir, Türkiye
- burcu.sengez@ibg.edu.tr, gokhan.karakulah@ibg.edu.tr,  
hani.alotaibi@ibg.edu.tr*

**Özet:** Epitelyal mezenkimal dönüşüm (EMT) ve mezenkimal epitelyal dönüşüm (MET) süreçleri embriyonik gelişim, yara iyileşmesi ve metastaz gibi önemli fizyolojik ve patolojik süreçler açısından önem taşıyan biyolojik olaylardır. Uzun yıllar MET'in düzenlenmesinden sadece EMT indükleyici faktörlerin ifade seviyelerindeki azalmanın sorumlu olduğu düşünülürken; yaptığımız çalışmalar MET'in EMT'den farklı olarak transkripsiyonel olarak düzenlendiğini ve bu sürecin dinamik alt yapısını göstermektedir. MET sürecinin düzenlenmesinden sorumlu transkripsiyon faktörlerinin bazılarının kromatin altyapısı üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. Bu amaçla, çalışmada MET sürecinin epigenetik altyapısını etkileyen transkripsiyon faktörlerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu ilişkinin belirlenmesi için ileri düzey deney sistemi ve analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında veri madenciliği, yüksek verimli ekspresyon profili oluşturma, gen susturma gibi yöntemler entegre bir yaklaşım çerçevesinde uygulanmıştır. Aday transkripsiyon faktörlerinin hedefleri ve kromatin altyapısında meydana gelen değişimler RNA-Seq ve ChIP-Seq yöntemleriyle kapsamlı olarak analiz edilmiştir. Verilerimiz MET sürecindeki gen ifade değişikliklerinin sürecin ilk saatlerinde başladığını ve ortaya çıkan öncül genlerin MET sürecinde dinamik değişimlere yol açtığına işaret etmektedir. Bu nedenle, ChIP-Seq yöntemi kullanılarak MET sürecinin ilk 24 saati analiz edilmiştir. Ardından aday transkripsiyon faktörleri sessizleştirilmiş ve histon belirteçlerindeki değişiklikler saptanmıştır. Hedef genler ve bu değişimin kromatin altyapısı üzerindeki etkileri RNA-Seq yöntemiyle analiz edilmiştir. Histon belirteçlerinin genom üzerinde kapladığı bölgelerin oranları incelendiğinde, promotör-TSS oranının H3K4me3'teki anlamlı artışının MET'in 12. saatinde başladığı; H3K27me3 ve H3K9Ac belirteçlerindeki değişimin ise 24. saatte başladığı görülmektedir. Aday transkripsiyon faktörleri *Grhl3*, *Elf3* ve *Cebpa*'ya ait hedef gen listesi incelendiğinde birçok ortak genin ve kromatin düzenleyici faktörün bulunduğu saptanmıştır. Ortak genlerin birçoğunun tümorigenez, epigenetik yeniden programlama ve mitoz gibi biyolojik süreçler açısından önem arz ettiği görülmüştür. Aday transkripsiyon faktörlerinin genom çapında bağlanma yerlerinin belirlenmesi amacıyla ChIP-Seq yöntemi kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmeye başlanmıştır. MET sürecini düzenleyen faktörler ve epigenetik altyapı arasındaki ilişkinin aydınlatılmasının ileri vadede MET sürecinin rol aldığı tümorigenez gibi süreçlere karşı geliştirilecek tedavilerde kullanılacak yeni hedeflerin bulunmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mezenkimal Epitelyal Dönüşüm, Epigenetik, Elf3, Grhl3

## **Amaç**

Araştırmada mezenkimal epitelyal dönüşüm sürecinde kromatin altyapısını ve epigenetik yeniden programlamayı etkileyen transkripsiyon faktörlerinin tanımlanması amaçlanmıştır.

## **Konu-Kapsam**

Hücrel fenotipin sürdürülmesi ve plastisitenin sağlanması çok hücreli canlılar için büyük önem arz etmektedir. EMT ve MET süreçleri de bu dinamik sürecin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Somarelli, J. A., et al. 2016). EMT sürecinde, epitelyal hücreler bağlantılarını ve apikal bazal polaritelerini kaybeder, hücre iskeletlerini tekrar organize ederler. Hücre şeklini belirleyen sinyal programlarında ve gen ifade profillerinde önemli değişimler meydana gelir.

EMT gelişim, yara iyileşmesi (wound healing), fibrozis ve kanser gelişimi açısından kritik öneme sahiptir (Lamouille, S., et al. 2014). MET ise motil hücrelerden sıkıca birbirine tutunan ve belirgin apikal bazal polaritesi bulunan hücrelerin oluşumunu tarif eden süreci tanımlamaktadır. MET hem gelişimsel, hem rejeneratif hem de patolojik bir çok oluşum için temel hücrel bir süreçtir (Antonello, Z. A., et al. 2015, Kim, H. Y., et al. 2016). Klasik tanımlar MET'i basitçe EMT sürecinin tersi olarak tanımlasa da, son yıllarda yapılan çalışmalar bunun öyle olmadığını açıkça vurgulamaktadır. MET sadece vimentin, N-cadherin gibi mezenkimal belirteçlerin azalması ve E-cadherin gibi epitelyal belirteçlerin de artarak düzenlenmesinden çok daha karmaşık ve dinamik bir süreci tarif etmektedir. Bu dinamik ve kompleks sürecin sadece EMT ve MET belirteçlerinin artması veya azalmasıyla anlatılması ve düzenlenmesi mümkün değildir (Kim, H. Y., et al. 2016).

Ön verilerimiz MET'i kontrol eden farklı düzenleyicilerin varlığını kanıtlar niteliktedir (Sengez B et al. 2019, Alotaibi H. et al. 2015). EMT ve MET süreçleri transkripsiyonel, post-transkripsiyonel, translasyonel ve post-translasyonel birçok basamakta farklı düzenleyiciler tarafından kontrol edilmektedir (Lamouille, S., et al. 2013). Bu ifade seviyesindeki düzenlenmenin yanı sıra epigenetik modifikasyonlar da hücrenin fenotipik plastisite açısından dengede kalmasını sağlamaktadır (Somarelli, J. A., et al. 2016). Bu sıkı düzenlenmeden transkripsiyon faktörleri, kromatin tekrar düzenleyici faktörleri (chromatin reorganisation factors), yüzey reseptörleri ve adhezyon molekülleri gibi birçok faktörün sorumlu olduğu bilinmektedir (Bozzi, F., et al. 2016). Epigenomun dinamikliği transkripsiyon faktörlerinin kromatin ve kromatin düzenleyici enzimlerle ilişkisiyle sağlanmaktadır. Transkripsiyon faktörleri aktive edilerek kromatin altyapısı değişmekte ve bu faktörler DNA düzenleyici bölgelere

bağlanmaktadır. Tüm bu süreçte kromatinde değişiklik yapabilen enzimler (chromatin modifying and remodeling enzymes) aktif rol oynamaktadır (Brettingham-Moore, K. H., et al. 2015).

Epigenetik modifikasyonlar DNA sekansından bağımsız olarak gen aktivitesi ve ekspresyonunu düzenleyebildiği ve tersinebilir olduğu için birçok biyolojik süreçte büyük önem arz etmektedir (McDonald, O. G., et al. 2011, Serrano-Gomez, S. J., et al. 2016). Ayrıca tüm DNA kalıbına ihtiyaç duyan süreçler (transkripsiyon, replikasyon, rekombinasyon gibi) kromatin altyapısının kompleks yapısından etkilenmektedir (Stadler, S. C. and C. D. Allis 2012).

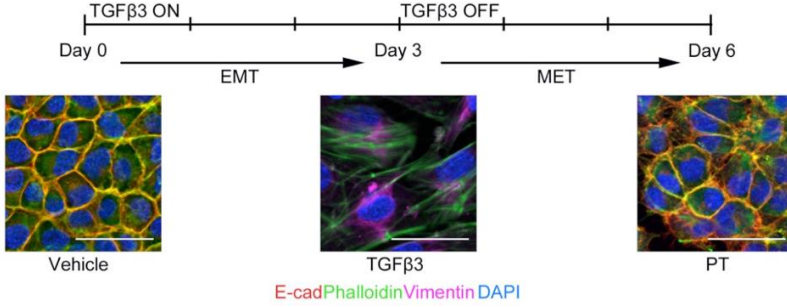
Kök hücre differensiyasyonu ve germ hücre gelişimi gibi EMT sırasındaki epigenetik yeniden programlama da kromatin modifikasyonlarındaki değişimlerle sağlanmaktadır (McDonald, O. G., et al. 2011). Son yıllardaki çalışmalar, mezenkimal fenotipin genom üzerindeki lokus spesifik epigenetik yeniden programlamayla inşa edildiğini göstermektedir. Bir hipoteze göre, fenotipik geçiş transkripsiyon faktör aktivitesinin kromatin aracılıklı stabilizasyonuna bağlıdır. Kısaca, epitelyal ve mezenkimal hücre fenotipi kromatin durumundaki değişimlerle koordine edilmektedir (Cieslik, M., et al. 2013).

EMT sırasında görev alan bazı transkripsiyon faktörleri ve histon modifikasyonları arasındaki karşılıklı etkileşim uzun yıllardır çalışılmasına rağmen epigenetik yeniden programlanmanın doğası henüz tümüyle aydınlatılabilmemiş değildir. MET açısından bakıldığında böyle yayınlar yok denecek kadar azdır. Olan birkaç yayında ise bazı kanser hücrelerinin MET açısından olası epigenetik hedeflerinin araştırılması hedeflenmiştir (Gregoire, J. M., et al. 2016). Bu genom çapında süre gelen epigenetik programlanmanın EMT/MET sürecindeki tam fonksiyonu ve mekanizmasına değinen çok az literatür bilgisi bulunmaktadır.

Tüm bu veriler, EMT/MET transkripsiyonel faktörlerinin kromatinde değişim yapabilen enzimler aracılığıyla düzenlenmesinin hem gelişim hem de kanser gibi patolojik koşullardaki önemini ve bu konudaki bilgi açığını vurgulamaktadır (Cieslik, M., et al. 2013, Ta Tam, W. L. and R. A. Weinberg 2013, Lee, J. Y. and G. Kong 2016, Sun, L. and J. Fang 2016). Bu faktörlerin transkripsiyon faktörleriyle olan ilişkisinin anlaşılması ve biyolojik önemlerinin kavranmasının gelişim ve kanser süreçlerindeki bu dinamik EMT/MET değişimlerinin anlaşılmasında önemli rol oynayacağı yadsınamaz bir gerçektir.

NMuMG (normal fare meme bezi) hücre hattı EMT-MET süreçlerinin çalışıldığı modellerden biridir. Bu hücreler TGF $\beta$  ile muamele edildiğinde

E-cadherin ekspresyonlarını kaybetmeye başlar, kortikal aktin yerini stres fiberleri alır ve N-cadherin ile vimentin ekspresyonlarında artış gözlemlenir. TGF $\beta$  ortamdan uzaklaştığında, hücreler MET sürecine girer ve epitelyal durumlarını yeniden kazanırlar. Genetik yapıdaki bu dramatik değişim, NMuMG hücre morfolojisini de büyük ölçüde etkileyerek bu hücreleri EMT-MET çalışmaları için ideal bir model yapmaktadır (Şekil1).



Şekil 1. EMT-MET hücresel modeli olan NMuMG hücrelerinin TGF $\beta$ 3 muamelesi ve ardından morfolojilerinde oluşan değişimler (PT: muamele sonrası)

NMuMG hücreleri kullanılarak elde ettiğimiz sonuçlarda, MET sırasındaki Cdh1 aktivitesinin intron 2’de bulunan iki enhancer tarafından kontrol edildiği ve bu aktivasyonun Grhl3 ve Hnf4 $\alpha$  transkripsiyon faktörlerinin bağlanmasıyla sağlandığı gösterilmiştir (Alotaibi H. et al. 2015).

Ön çalışmalarımız kapsamında, epitelyal ve mezenkimal ifade profillerini karşılaştırmasının ardından E-cadherin ile korelasyon gösteren epitelyal spesifik bir gen seti oluşturulmuştur. Bu liste içerisinde MET süreci açısından kritik olabilecek bazı faktörler (Elf3, Cebpa gibi) incelenmiş ve olası transkripsiyonel ilişkiler doğrulanmaya başlanmıştır. Ancak bu listede transkripsiyon faktörleri dışında kromatin düzenleyici enzimlerin (Carm1, Ezh2, Jarid2 gibi) varlığı da dikkat çekmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar ve literatür bilgileri ışığında, bir transkripsiyon faktörünün bir kromatin düzenleyici enzimle ilişkisini saptamanın ve bu etkileşimin başka transkripsiyon faktör/faktörlerini nasıl etkilediğini belirlemenin, MET’in transkripsiyonel düzenlemesini daha iyi anlayabilmemiz açısından önemli olduğunu düşünmekteyiz.

Tüm aday transkripsiyon faktörleri (*Grhl3*, *Elf3* ve *Cebpa*) ve kromatin düzenleyici faktörlerin arasındaki mekanistik ilişki göz önünde bulundurulduğunda, histon modifikasyonlarının genom bazındaki düzeni kullanılarak promotör, enhancer, insulator ve belirli bir hücre tipinde belirli bir fizyolojik koşulda ortaya çıkan heterokromatin bölgelerinin farklı



tiplerini sınıflandırmak mümkün gözükmemektedir (Fleming, J. D., et al. 2013). Ayrıca promotör bölgelerindeki histon kodlarının sekans spesifik transkripsiyon faktörlerinin daha önce oraya bağlanıp bağlanmamasıyla belirlendiğini düşünmek de mümkündür (Nardini, M., et al. 2013). Bu nedenle ana hedefimiz, MET sürecinde kromatin altyapısını ve epigenetik yeniden programlamayı etkileyen transkripsiyon faktörlerini tanımlamaktır.

## **Yöntem**

MET sürecini kontrol edebilen kromatin yeniden düzenleyici moleküllerin ve MET sırasındaki epigenetik altyapının belirlenmesi için ileri düzey deney sistemi ve analiz yöntemleri birarada uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri madenciliği, yüksek verimli ekspresyon profili oluşturma, gen susturma, protein-protein ve DNA-protein etkileşim teknikleri ile doğrulama da dahil olmak üzere entegre bir yaklaşım kullanılmıştır. Transkripsiyon faktörlerinin hedefleri ve kromatin altyapısında meydana gelen değişimler RNA-Seq ve ChIP-Seq yöntemleriyle kapsamlı olarak analiz edilmiştir.

## **Bulgular**

1. Ön verilerimiz MET sürecindeki gen ifade değişikliklerinin sürecin ilk saatlerinde başladığını ve ortaya çıkan öncül genlerin MET sürecinin dinamik altyapısını kontrol ettiğine işaret etmektedir. Bu nedenle, ChIP-Seq yöntemi kullanılarak MET sürecinin ilk 24 saati belirli saat aralıklarında analiz edilmiştir. İlk aşamada çalışılan histon belirteçleri:

- H3K4me3,
- H3K27me3 ve
- H3K9Ac'dir.

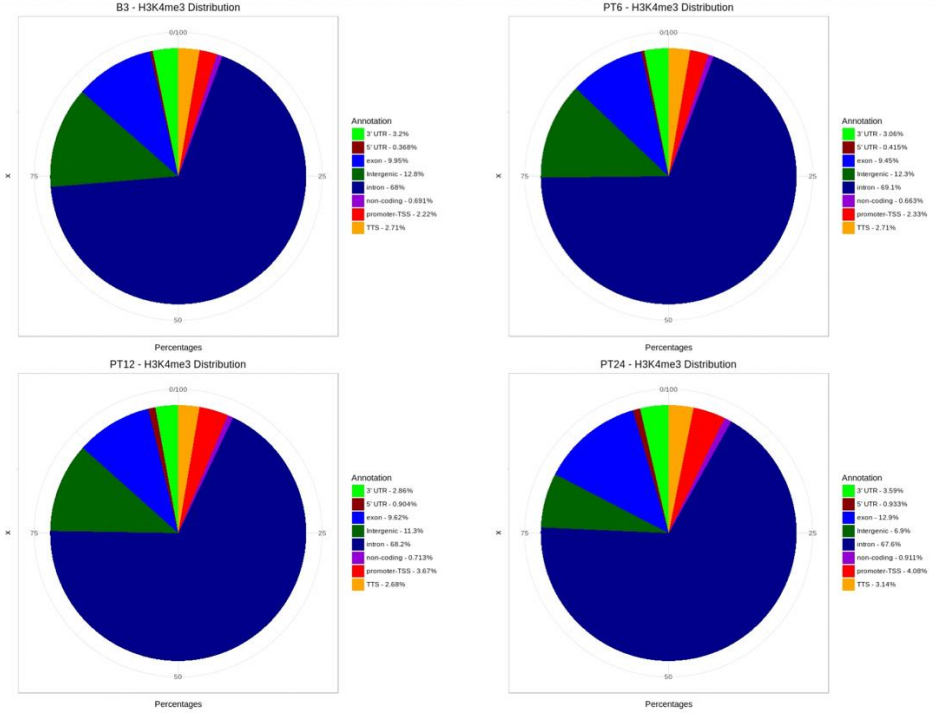
2. Ardından aday epitelyal spesifik transkripsiyon faktörleri belirlenerek sessizleştirilmiş ve histon modifikasyonlarındaki değişiklikler belirlenmiştir.

3. Transkripsiyon faktörleri tarafından yönetilen epigenetik yeniden düzenlenmenin kapsamını anlamak için, transkripsiyon hedefleri ve hücrenin kromatin altyapısında meydana gelen değişimler RNA-Seq yöntemiyle analiz edilmiştir.

## **Sonuçlar**

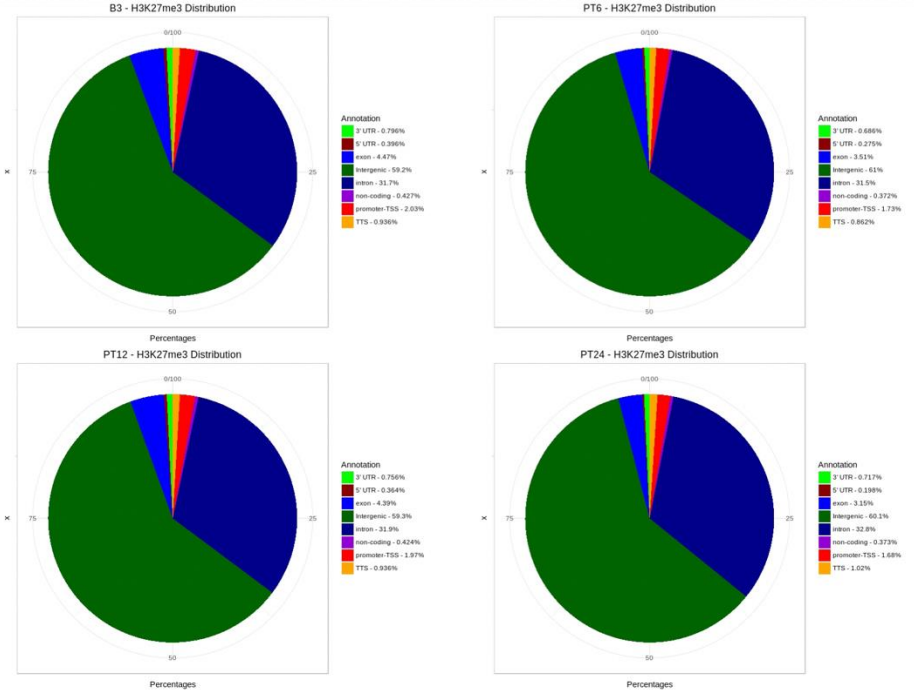
Çalışılan histon belirteçlerinin genom üzerinde kapladığı bölgelerdeki anotasyon dağılımlarındaki değişim kontrol edilmiştir (Şekil 2-4). H3K4me3 histon belirtecinde en büyük değişim promotör-TSS anotasyonunda olmuştur. Özellikle MET'nin 12. saatinde yüzdenin arttığı ve 24. saatinde mezenkimal durumdaki hücrelere kıyasla iki katına çıktığı

gözlenmektedir. 5'UTR anotasyon oranında da 12. saatten itibaren ılımlı bir artış saptanmıştır. İntergenik ve intron anotasyon oranlarında büyük bir değişim gözlenmezken non-coding yüzdesinde 24. saatte bir artış gözlenmektedir (Şekil 2).



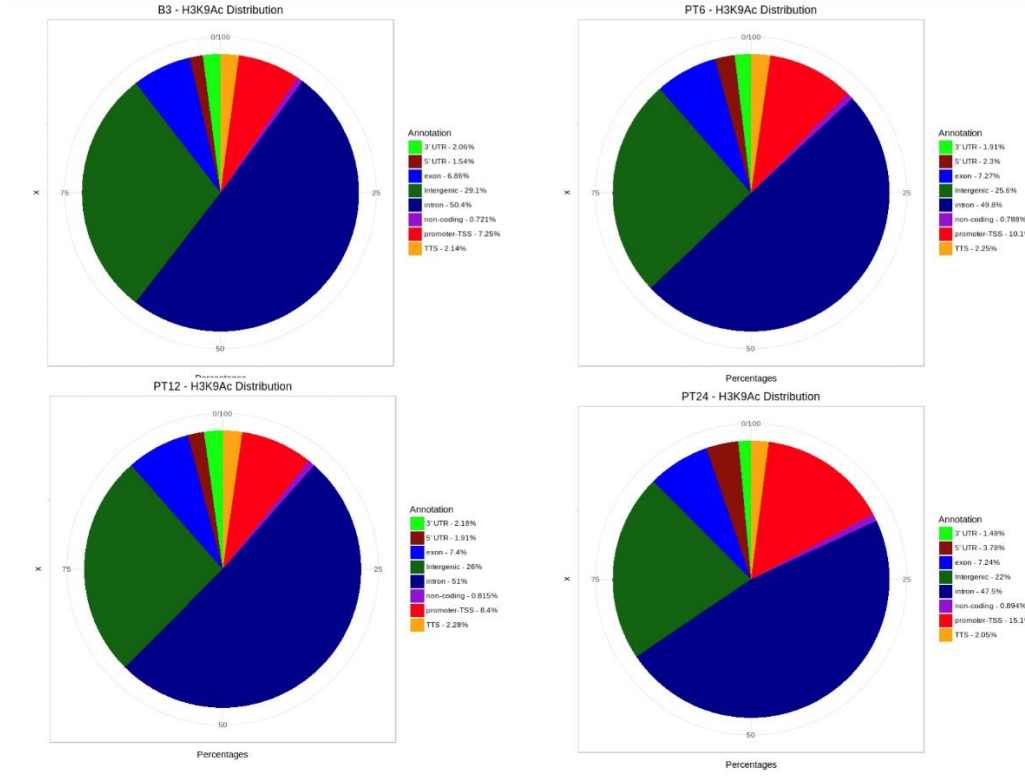
Şekil 2. Histone H3K4me3 tüm genom üzerinde kapladığı bölgelerin MET'nin farklı saatlerindeki anotasyon dağılımları. En çok değişim gözlenen promotör TSS grubu kırmızı renkle ifade edilmektedir.

H3K27me3 histon belirtecinin dağılımı incelendiğinde, en anlamlı değişim promotör-TSS dağılımında gözlenmekte ve MET ilerledikçe oranın düştüğü görülmektedir. Diğer oranlarda anlamlı bir değişim gözlenmezken 5'UTR oranında 24. saatte bir azalma bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Histone H3K27me3 tüm genom üzerinde kapladığı bölgelerin MET'nin farklı saatlerindeki anotasyon dağılımları. En çok değişim gözlenen promotör TSS grubu kırmızı renkle ifade edilmektedir.

Benzer şekilde, H3K9Ac histon belirtecindeki en anlamlı değişim de promotör-TSS oranında olmuştur. MET ilerledikçe oranda artış gözlenmekte ve özellikle 24. saatte oranın mezenkimal durumdaki hücrelere oranla 2 kat olduğu görülmektedir. 5'UTR oranında da özellikle 24. saatte bir artış saptanmaktadır (Şekil 4).

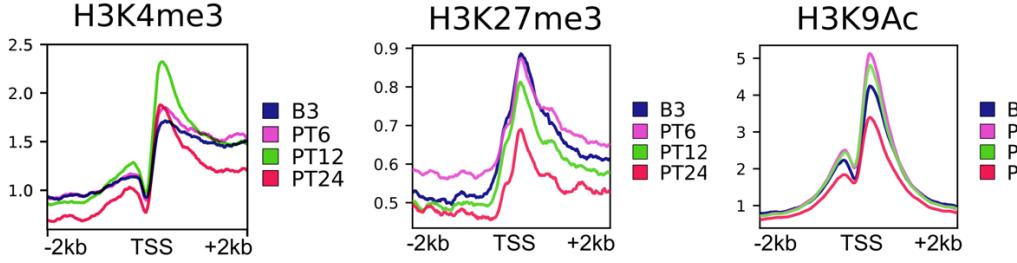


Şekil 4. Histone H3K9Ac tüm genom üzerinde kapladığı bölgelerin MET'nin farklı saatlerindeki anotasyon dağılımları. En çok değişim gözlenen promotör TSS grubu kırmızı renkle ifade edilmektedir.

Çalışılan tüm histon belirteçlerinin genom üzerinde kapladığı bölgelerin oranları saat bazında incelendiğinde, promotör-TSS oranının H3K4me3'teki anlamlı artışının PT12 saatinde başladığı ve 24. saatte en yüksek seviyeye ulaştığı; H3K27me3 ve H3K9Ac belirteçlerindeki değişimin ise PT24'te başladığı görülmektedir. İntergenik ve intronik bölgelere ait yüzdelerde büyük bir farklılık saptanmazken çoğu belirteçte 5'UTR ve non-coding anotasyon dağılımlarında 24. saatte bir değişim farkedilmektedir. Tüm veriler değerlendirildiğinde, MET sürecinin aktivasyonu için H3K4me3 ve H3K27me3 belirteçlerinin önemi gözlenmektedir. Yapılan analizler, MET sürecinin ilk saatlerindeki epigenetik değişimlerin bir kısmı için temel oluşturur niteliktedir.

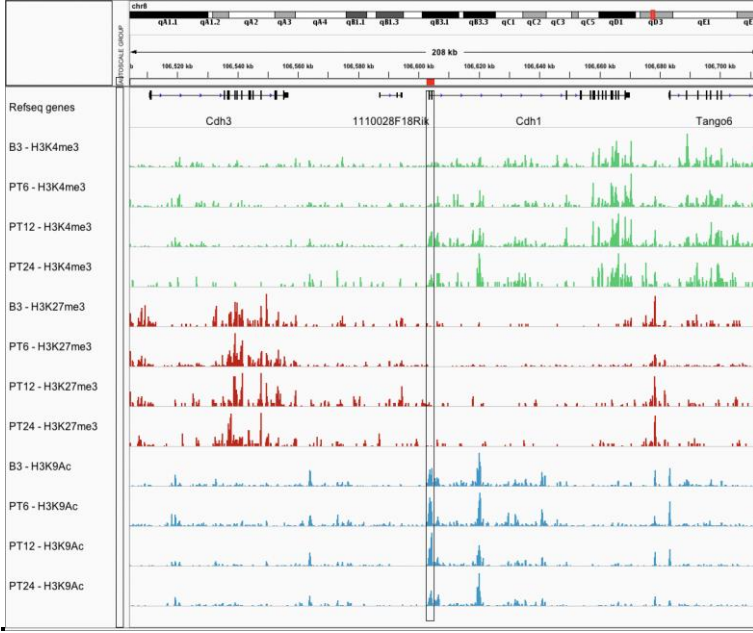
Ardından, promotör bölgelerindeki histon modifikasyonlarının bağlanma değerleri farklı zaman aralıklarında incelenmiştir (Şekil 5). H3K4me3 belirteçinde saat bazında bir artış gözlenmekte ve bu artışın MET'nin 12. saatinde bir pik yaptığı görülmektedir. Beklenildiği üzere, H3K27me3

belirtecinin bağlanma değerlerinde MET ilerledikçe bir azalış saptanmıştır. Azalma 12. saate başlamakta ve devam etmektedir. H3K9Ac belirtecinin bağlanma değerleri incelendiğinde, MET'nin ilk saatlerinde bir artış görülürken 24. saatte mezenkimal duruma oranla bir azalma görülmektedir.



Şekil 5. Promotör bölgelerindeki histon modifikasyonlarının bağlanma değerlerinin farklı zaman noktalarındaki ortalama dağılımları. Gösterilen bölgeler UCSC veritabanından alınan mm10 fare genomundaki gen transkripsiyonu başlangıç noktalarının 2kb upstream ve downstream bölgeleridir. Y koordinatı, transkripsiyon başlangıç noktasından eşit uzaklıkta bulunan 10 nükleotid uzunluğundaki alt bölgelerin normalize kaplam (coverage) değerlerinin, bütün promotör bölgelerindeki ortalamalarını gösterir. Zaman noktaları renklerle temsil edilmiştir.

Tüm analizlerin ardından, ilgilendiğimiz genlerdeki histon belirteçlerindeki değişim IGV'de incelenmiştir. Cdh1 promotör bölgesinde H3K4me3 histon belirtecinde saat bazında anlamlı bir artış gözlenirken, H3K27me3'te tüm zaman aralıklarında azalma görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. IGV yazılımının bir ekran görüntüsü: MET sürecinde *Cdh1* geninin bulunduğu bölgedeki histon işaretlerinin değişimi.

Aday transkripsiyon faktörü olarak *Grhl3*, *Elf3* ve *Cebpa* seçilmiştir. Bu faktörlere ait hedef genler incelendiğinde birçok ortak genin olduğu (*Ahr*, *Hey1* gibi) saptanmıştır (Şekil 7). GO enrichment analiz sonuçları incelendiğinde; birçoğunun köklülük (stemness), tümöröenez, somatik yeniden programlama, hücre döngüsü, mitoz, kromatin altyapısının düzenlenmesi ve proliferasyon gibi biyolojik süreçler açısından büyük önem arz ettiği görülmüştür.



Şekil 7. Grhl3, Cebpa ve Elf3 tarafından düzenlenen ortak transkripsiyon faktörlerini gösteren Venn diyagramı.

Aday transkripsiyon faktörlerinin genom çapında bağlanma yerlerinin belirlenmesi amacıyla ChIP-Seq analiz yöntemi kullanılmıştır. İleri analizler devam etmektedir.

## Referanslar

Alotaibi, H., et al. (2015). "Enhancer cooperativity as a novel mechanism underlying the transcriptional regulation of E-cadherin during mesenchymal to epithelial transition." Biochim Biophys Acta **1849**(6): 731-742.

Antonello, Z. A., et al. (2015). "Mesenchymal to epithelial transition during tissue homeostasis and regeneration: Patching up the Drosophila midgut epithelium." Fly (Austin) **9**(3): 132-137.

Bozzi, F., et al. (2016). "Epithelioid peritoneal mesothelioma: a hybrid phenotype within a mesenchymal-epithelial/epithelial-mesenchymal transition framework." Oncotarget.

Brettingham-Moore, K. H., et al. (2015). "Interplay between Transcription Factors and the Epigenome: Insight from the Role of RUNX1 in Leukemia." Front Immunol **6**: 499.

Cieslik, M., et al. (2013). "Epigenetic coordination of signaling pathways during the epithelial-mesenchymal transition." Epigenetics Chromatin **6**(1): 28.

Fleming, J. D., et al. (2013). "NF-Y coassociates with FOS at promoters, enhancers, repetitive elements, and inactive chromatin regions, and is stereo-positioned with growth-controlling transcription factors." Genome Res **23**(8): 1195-1209.

Gregoire, J. M., et al. (2016). "Identification of epigenetic factors regulating the mesenchyme to epithelium transition by RNA interference screening in breast cancer cells." BMC Cancer **16**: 700.

Kim, H. Y., et al. (2016). "On the role of mechanics in driving mesenchymal-to-epithelial transitions." Semin Cell Dev Biol.

Lamouille, S., et al. (2013). "Regulation of epithelial-mesenchymal and mesenchymal-epithelial transitions by microRNAs." Curr Opin Cell Biol **25**(2): 200-207.

Lamouille, S., et al. (2014). "Molecular mechanisms of epithelial-mesenchymal transition." Nat Rev Mol Cell Biol **15**(3): 178-196.

Lee, J. Y. and G. Kong (2016). "Roles and epigenetic regulation of epithelial-mesenchymal transition and its transcription factors in cancer initiation and progression." Cell Mol Life Sci **73**(24): 4643-4660.

McDonald, O. G., et al. (2011). "Genome-scale epigenetic reprogramming during epithelial-to-mesenchymal transition." Nat Struct Mol Biol **18**(8): 867-874.

Nardini, M., et al. (2013). "Sequence-specific transcription factor NF-Y displays histone-like DNA binding and H2B-like ubiquitination." Cell **152**(1-2): 132-143.

Sengez, B., et al. (2019). "The Transcription Factor *Elf3* Is Essential for a Successful Mesenchymal to Epithelial Transition." Cells. 2019 Aug 9;**8**(8).

Serrano-Gomez, S. J., et al. (2016). "Regulation of epithelial-mesenchymal transition through epigenetic and post-translational modifications." Mol Cancer **15**: 18.

Somarelli, J. A., et al. (2016). "Mesenchymal-Epithelial Transition in Sarcomas Is Controlled by the Combinatorial Expression of MicroRNA 200s and GRHL2." Mol Cell Biol **36**(19): 2503-2513.

Stadler, S. C. and C. D. Allis (2012). "Linking epithelial-to-mesenchymal-transition and epigenetic modifications." Semin Cancer Biol **22**(5-6): 404-410.



Sun, L. and J. Fang (2016). "Epigenetic regulation of epithelial-mesenchymal transition." Cell Mol Life Sci **73**(23): 4493-4515.

Tam, W. L. and R. A. Weinberg (2013). "The epigenetics of epithelial-mesenchymal plasticity in cancer." Nat Med **19**(11): 1438-1449.