ICAR

18. ULUSLARARASI AKADEMİK ARAŞTIRMALAR KONGRESİ (ICAR)

TAM METİN KİTABI
FULL TEXT BOOK

23-24 EYLÜL 2026

www.icarcongress.org

18. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi

(23 – 24 Eylül 2026)

(ICAR)

Tam Metin Kitabı

Yayın Tarihi: 30.09.2026

Editörler / Editors

Doç. Dr. Mahir MAK

Asos Yayınevi

1.baskı

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

Telefon: 0532 643 75 23

Mail Adresi: asos@asosyayinlari.com

Web: www.asosyayinlari.com

İnstagram: https://www.instagram.com/asosyayinevi/

Facebook: https://www.facebook.com/asosyayinevi/

Twitter: https://twitter.com/Asosyayinevi

978-625-8545-74-6

KONGRE BAŞKANI

Doç. Dr. Mahir MAK Sakarya Üniversitesi

DÜZENLEME KURULU

Doç. Dr. Mahir MAK Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Dilek Cantekin Elyağutu (Sakarya Üniversitesi)

Doç. Dr. Atalay Durmaz (Sakarya Üniversitesi)

Doç. Dr. Ahmet Mutlu Terzioğlu (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Öğretim Görevlisi Dr. Özgür Peker (Çukurova Üniversitesi)

Araş. Gör Hasan Hüseyin Şahin (Sakarya Üniversitesi)

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Erdal Irmak ,Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Prof. Dr. İbrahim Kavaz, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Prof. Dr. Adviye Gülçin Sağdıçoğlu Celep, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Metin BAŞAL, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Reyhan ERDOĞAN, Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Aysel USLU, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz YILMAZ, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Şükran ŞAHİN, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Deniz HASIRCI, İzmir Ekonomi Üniversitesi

Prof. Dr. Zeynep TUNA ULTAV, İzmir Yaşar Üniversitesi

Prof. Dr. Ferit İZCİ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Metin ARGAN, Anadolu Üniversitesi

Prof. Dr. Öner Demirel, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Nizami CEFEROV (Azerbaycan)

Prof. Dr. Blagovesta IVANOVA (Bulgaristan)

Prof. Dr. Nurşat JUMADİLOVA (Kazakistan)

Prof. Dr. Nergüz Bulut SERİN, Lefke Avrupa Üniversitesi

Prof. Dr. Dosay KENJETAY (Kazakistan)

Prof. Dr. Arshi KHAN (Hindistan)

Prof. Dr. Dimitri KİTSİKİS (Yunanistan)

Prof. Nilgün BİLGE, Mimar Sinan Üniversitesi

Prof. Caner KARAVİT, Mimar Sinan Üniversitesi

Prof. Rıdvan COŞKUN, Anadolu Üniversitesi

Prof. Mustafa BULAT, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Vural BÜTÜN, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Prof. Dr. Angel Arturo Lopez Gonzalez, Escuela Universitaria ADEMA. SPAIN

Prof. Dr. Tahsin YILMAZ, Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Işık SEZEN, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Murat AKTEN ,Süleyman Demirel Üniversitesi

Doç.Dr. Mahir Mak, Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, İstanbul Rumeli Üniversitesi

Doç. Dr. Osman Cenk Kanca, Atatürk Üniversitesi

Doç.Dr. Serkan ARSLAN, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi

Doç. Dr. Sergey Klyuev, Saratov Medical University Russia.

Doç.Dr. Müsemma ALAGÖZ KARABEL,Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi

Doç. Dr. Toni Risteski, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, North Macedonia

Doç.Dr. Recep POLAT, Sakarya Eğitim Araştırma Hastanesi

Doç. Dr. İlkay Ebru Tuncer BOON, Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç.Dr. Musemma Alagöz KARABEL, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan ERER, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Kıvanç AK, Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Betül TÜLEK, Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç. Dr. Arzu ALTUNTAŞ, Siirt Üniversitesi

Doç. Dr. Derya Sarı, Artvin Çoruh Üniversitesi

Doç. Dr. Özgur Burhan Timur, Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet BAKIRTAŞ, T.C. Sağlık Bakanlığı, Dr. İsmail Fehmi Cumalıoğlu Şehir Hastanesi

Doç. Dr. Ülkün Ünlü ÜNSAL, T.C. Sağlık Bakanlığı, Manisa Şehir Hastanesi

Doç. Dr. Deniz Güneş (İstanbul teknik Üniversitesi)

Doç. Dr. Eren Lehimler (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Doç. Dr. Ahmet Mutlu Terzioğlu (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Köktan (Sakarya Üniversitesi)

Dr. Öğr Görevlisi Deniz Köktan (Sakarya Üniversitesi)

Op. Dr. Murat BALOĞLU, T.C. Sağlık Bakanlığı, Eskişehir Şehir Hastanesi

Op. Dr. Lütfi Çağatay ONAR, T.C. Sağlık Bakanlığı, Dr. İsmail Fehmi Cumalıoğlu Şehir Hastanesi

Dr. Öğr. Üyesi Merve KALAYCI KADAK Kastamonu Üniversitesi

Dr. Ögr. Üyesi Meryem Bihter BINGÜL BULUT, Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Korkut ULUDAĞ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Yener Lütfü MERT, İstanbul Galata Üniversitesi

Doç. Dr. Adem PEKER, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Aşkın ÇELİK, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Doç. Dr. Etem Yeşilyurt, Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi

Doç. Dr. Aslıhan ESRİNGÜ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Elif AKPINAR KÜLEKÇİ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Fabio L. GRASSİ (İtalya)

Doç. Dr. Gürcan YILDIRIM, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Doç. Dr. Shener BILALLI, International Balkan University

Doç. Dr. Banu KARAŞAH, ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Mansumeh DAEİ (İran)

Doç.Dr. Üyesi Cansel TUNCER, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ebru Kondolot Solak ,Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Duygu YAŞAR ŞİRİN, Namık Kemal Üniversitesi

Doç. Dr. Numan KARAARSLAN, İstanbul Medeniye Üniversitesi Tıp Fakültesi

Doç. Dr. İsmail BOZKURT, Medical Park Ankara Hastanesi

Dr. Öğretim Üyesi M. Furkan YÜZBAŞI, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi

Dr. Öğretim Üyesi Tamer TAMDOĞAN, Giresun Üniversitesi Tıp Fakültesi

Dr. Öğretim Üyesi Sevim ÖNDÜL, Giresun Üniversitesi Tıp Fakültesi

Dr. Öğretim Üyesi Mamdouh ALENEZİ, Prince Sultan University

Dr. Öğr. Üyesi Duygu Uysal Zıraman, Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Obalı Tutumlu (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Can Doğan, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Damla ÜLKER, Yakın Doğu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Seçil Soytok NALÇACI, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yakup AÇAR, Kafkas Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ceren Haktanır ,Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şehriban Eraslan,Süleyman Demirel Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Volkan MÜFTÜOĞLU, Bursa Teknik Üniversitesi

Salon1 (1. Gün - 1. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Z. Gonul Balkir	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
9:00	Prof.Dr. Z. Gonul Balkir - Dr. Öğretim Üyesi Ecem Kocaoğlan	Algoritmik İktidar ve İnsan: Çıplak Hayatın Dijital Çağda Yeniden Yorumu
9:15	Prof.Dr. Z. Gonul Balkir - Dr. Öğretim Üyesi Ecem Kocaoğlan	Dijital Toplum ve İlişkisel İnsansızlaşma: Dijital Yalnızlık
9:30	Dr. Öğretim Üyesi Duygu Küçük	Opera Eğitimi Ekosistemi (Oee): Türkiye'de Yükseköğretimde Opera Eğitimi İçin Bütüncül Analitik Model
9:45	Saliha Nur Nayan - Doç.Dr. Sevgül Çalış	Türkiye Ortaokul Fen Bilimleri Öğretim Programı ve Ders Kitaplarının Yeşil Kimyanın 12 İlkesi Açısından İncelenmesi
10:00	Doç.Dr. Bora Başaran	İletişimin Ötesinde: Yapay Zekâ Aracılı Anlamlandırma Çağında Yabancı Dil Eğitimi ve Epistemik Faillik

Salon2 (1. Gün - 1. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Çisem Bektur	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
9:00	Dr. Öğretim Üyesi Çisem Bektur	Finansal Gelişme Kadınları Yönetimde Güçlendiriyor Mu' Avrupa Ülkelerinden Kanıtlar
9:15	Prof.Dr. Hasan Ünal - Doç.Dr. Sevda Göktepe Yıldız - Araştırmacı Beyza Nur Akbal	Matematik Öğretmeni Adaylarının Matematik Eğitiminde Steam Kullanımına Yönelik Görüşlerinin İncelenmesi
9:30	Doç.Dr. Seçil Kaya Gülen	Mooc'ların Sanal Sınıf Yönetimi Boyutları Açısından Değerlendirilmesi: Akadema Bulgularına Dayalı Bir İnceleme
9:45	Doç.Dr. Seçil Kaya Gülen	Açık ve Uzaktan Öğrenmede Uygulama Derslerinin E-Portfolyo ile Yürütülmesi: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Sistemi Örneği
10:00	Derya Yıldız - Prof.Dr. Gülhayat Gölbaşı Şimşek	Matematik Başarısındaki Cinsiyet Farklarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Araştırılması
10:15	Hasan Atakan Yıldırım	Kültürel Mirasın Korunmasında Yapay Zekâ: Yörük Dokumalarının Dijital Motif Arşivi ve Tasarım Uygulaması

Salon1 (1. Gün - 2. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Selahaddin Soyudoğru	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
10:30	Dr. Selahaddin Soyudoğru	Etimoloji, Dil Araştırmaları ve Hukuk Dilbilimi Bağlamında Almanca Hukuk Dilinin Tarihsel Oluşumu: Cermence ve Latince Etkileşimi Üzerine Bir İnceleme
10:45	Dr. Öğretim Üyesi Eren Efe	Katılımcı Kültürden Ücretsiz Emeğe: Platform Kapitalizminde Dijital Emeğin Görünmezleşmesi
11:00	Doç.Dr. Hakan Güngör	Türk-Amerikan İlişkilerinin Şekillenmesinde Dean Acheson'ın Rolü
11:15	Dr. Aynur Asgarova Pınar	Azerbaycan Komünist Gazetesinde İkinci Dünya Savaşı İzlenimleri
11:30	Merve Öztürk - Prof.Dr. Murat Gökdere	Ölçme ve Değerlendirme Okuryazarlığı: Sistematik Bir Derleme
11:45	Doç.Dr. Bora Başaran	Zekânın Sahibi Kim' Kişisel Yapay Zekâ Çağında Epistemik Eşitsizlik ve Öğretmen Profesyonelliğine İlişkin Kavramsal Bir Çerçeve

Salon2 (1. Gün - 2. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Mustafa Canlı	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
10:30	Doç.Dr. Esin Gülnaz Canlı - Araştırmacı Sihem Gözeoglu - Prof.Dr. Mustafa Canlı	Tatlı Su Midyelerinde Çinko Nanopartiküllerinin Ekotoksikolojik Değerlendirilmesi
10:45	Doç.Dr. Esin Gülnaz Canlı - Dr. Öğretim Üyesi Alper Çelenk - Prof.Dr. Mustafa Canlı - Araştırmacı Meryem Armagan	Farklı Tuzluluk Düzeylerinde Tatlı Su Midyelerinde Titanyum Nanopartiküllerinin Histolojik Etkileri
11:00	Doç.Dr. İrfan Uçkan	Veri Merkezlerinde Sıvı Soğutma Sistemlerinin Uygulanması: Güncel Teknolojiler ve Gelecek Perspektifleri
11:15	Araştırmacı Alaeddin Türkmen - Dr. Barış Bayram - Araştırmacı Ahmet Çay - Araştırmacı Alper Gün	Temassız Kargo Teslimatı İçin Görsel Tabanlı Hafif Teslimat Fotoğrafı Doğrulama Sistemi
11:30	Öğr.Gör. Meryem Yarar - Doç.Dr. Fatih Yavuz Ilgın - Dr. Öğretim Üyesi Faruk Baturalp Günay	Mımo Bilişsel Radyo Sistemlerinde Makine Öğrenmesi Tabanlı Hibrit İyileştirilmiş Enerji Algılama Yöntemi

Salon1 (1. Gün - 3. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Doç.Dr. Sevgül Çalış	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
12:00	İlayda Güler - Doç.Dr. Sevgül Çalış	Uygulamalı Fen Kulübü Etkinliklerinin Öğrencilerin Fen Öğrenme Deneyimlerine Yansımaları: Nitel Bir Uygulama Örneği
12:15	Doç.Dr. Ayşegül Elif Çaycı - Doç.Dr. Berk Çaycı	Sosyal Medyanın Sessiz Sakinleri: Dijital Lurking Üzerine Bir İnceleme
12:30	Zeynep Samur	Yapay Zekâ Destekli Dezenformasyon ve Sosyal Medya Güvenliği: Uluslararası Güvenlik Perspektifinden Bir Analiz
12:45	Öğr.Gör. Sinan Can Altuntaş	Türkiye'de İhracat Odaklı Girişimcilik ve Storybox Platformundan Seçilmiş Örnekler
13:00	Doç.Dr. Hakan Güngör	İkinci Dünya Savaşı'nda Almanya ve Fransa'nın Türkiye'deki İstihbarat Faaliyetleri

Salon2 (1. Gün - 3. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Burhanettin İmrak	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
12:00	Prof.Dr. Burhanettin İmrak - Dr. Yakup Polat - Mehmet Bayırkan - Doç.Dr. Songül Çömlekçioğlu	Greenstim Uygulamasının ‘flomena’ Şeftali Çeşidinde Fenolojik Gelişim, Meyve Tutumu ve Meyve Kalitesi Üzerine Etkileri
12:15	Dr. Yakup Polat - Prof.Dr. Burhanettin İmrak - Prof.Dr. Nesibe Ebru Kafkas	Betain Glisin Uygulamasının ‘flomena’ Şeftali Çeşidinin Meyvesinde Biyokimyasal Özellikler ve Uçucu Aroma Bileşikleri Üzerine Etkisi
12:30	Eyüp Dağlı	52 Hücreli 314 Ah Lfp Batarya Modülünde Hücre Gerilimi Ölçüm Doğruluğunun Baralı ve Ccs Bağlantı Yöntemleriyle Karşılaştırılması
12:45	Dr. Öğretim Üyesi Elif Yılmaz	%100 Organik Pamuk Süprem Örme Kumaşlarda İplik Numarası ve Örgü Sıklığının Yıkama Sonrası Kumaş Performansına Etkisi
13:00	Prof.Dr. Fatma Arslan - Araştırmacı Mehmet Yasin Yılmaz	Atık Sulardan Demir Uzaklaştırmada Çöktürme Flotasyonu Uygulaması

Salon1 (1. Gün - 4. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi İdris Kara	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
13:30	Dr. Öğretim Üyesi İdris Kara	Okul Öncesi Eğitim Programlarında Çocuk Refahı: Finlandiya, Singapur ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin Karşılaştırmalı Doküman Analizi
13:45	Dr. Öğretim Üyesi Abdullah Semih Birel - Araştırmacı Bazaf Kefee Faraj	Müzik Eğitiminde Zihinsel Uygulama: Klasik Gitar Deşifresi Üzerine Bir Araştırma
14:00	Doç.Dr. Ahmet Çelik	Bir Mahmetçiğin Kaleminden Kıbrıs Barış Harekâtı; Elazığlı Gazi Yaşar Sürgeç'in Cephe Günlüğü
14:15	Dr. Öğretim Üyesi Elçin Yakupoğlu - Dr. Öğretim Üyesi Ekrem Süzen	Strategic Management and Competitive Advantage in Civil Aviation Enterprises: An Assessment of Digital Transformation, Sustainability, and Organizational Competencies
14:30	Doç.Dr. Ahmet Çelik	Taltiften Hatıraya; Elazığlı Kore Gazilerinin Madalyaları Üzerine Bir İnceleme

Salon2 (1. Gün - 4. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Cumhur Güngöroğlu	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
13:30	Araştırmacı Halil Emre Büyükçalık - Prof.Dr. Cumhur Güngöroğlu	Karaçam (Pinus Nigra Arnold Subsp. Pallasiana (Lamb.) Holmboe)'ın Farklı Yetişme Ortamlarındaki Gelişimi Üzerine Değerlendirmeler (Kastamonu Pınarbaşı ve Samatlar Örneği)
13:45	Dr. Öğretim Üyesi Oğuz Ozan Yolcan	Parabolik Oluklu Güneş Kollektörlerinde Monte Carlo Işın İzleme (Ray Tracing) ile Isı Akısı Dağılımının Analizi
14:00	Dr. Öğretim Üyesi Tohid Yousefi	Dengesiz Verilerle Makine Öğrenmesi Kullanarak Öngörücü Bakım: Örnekleme Yöntemlerinin Arıza Tahmin Performansına Etkisi
14:15	Dr. Öğretim Üyesi Burak Şahin	Buckling Behavior and Mass Optimization of Engine Connecting Rods With Geometric Cutouts: A Finite Element Study On 4140, Inconel 718 and Ti6al4v
14:30	Dr. Halil İbrahim Efkere	Cu Hedef Gücünün Tio_2 İnce Filmlerin Yapısal, Optik ve Fotokatalitik Özelliklerine Etkisi

Salon1 (1. Gün - 5. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Sibel Bayram	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
15:00	Hamide Aysima Kaymakçı - Prof.Dr. Sibel Bayram	Postfeminist Söylem ve Chick-Lit Bağlamında Vefa Enver'in Leyla gibi Romanı
15:15	Öğr.Gör. Sefa Yaşar - Doç.Dr. Bekir Şahin Baloğlu	Herndon'un Müzikal Değişim Potansiyeli Yaklaşımının Çalgı Düzeyinde Uygulanması: Türkiye'de Klarnet Müziği Örneği
15:30	Araştırmacı Vezir Tekçe	Kitab-i Mukaddes ve Kur'an-i Kerim'e Göre Hz. Musa ve Hz. Harun
15:45	Afra Aybike Yıldırım	Avrupa Birliği ve Türkiye'de Hayvan Hakları
16:00	Rabia Bilgen - Prof.Dr. Murat Gökdere	Kaynaştırma Eğitimine Yönelik Hazırlanan Yüksek Lisans Tezlerinin Tematik İncelenmesi

Salon2 (1. Gün - 5. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Barış Bayram	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
15:00	Araştırmacı Alaeddin Türkmen - Dr. Barış Bayram - Araştırmacı Ahmet Çay - Araştırmacı Ayşe Dilara Türkmen	Improving Turkish Address Classification With Bert and Rule-Based Post-Processing for Last-Mile Delivery
15:15	Ahmet Çay - Alaeddin Türkmen - Ayşe Dilara Türkmen - Dr. Barış Bayram	Aı-Based Photo Proof Validation for Last-Mile Delivery
15:30	Araştırmacı Emin Yeniacun - Prof.Dr. Seyfettin Çakmak	Farklı Ağ Çözünürlüklerinin Sonlu Kanat Aerodinamiğine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi
15:45	Dr. Öğretim Üyesi Selim Ünal - Doç.Dr. Can Doğan Vurdu	Cu Katkılı Zno'nun Sonlu Fark Elastik Sabitleri Üzerinde Seçmeli-Dinamik Katman Kısıtlamalarının Etkisi: Bir Dft Çalışması
16:00	Dr. Öğretim Üyesi Aslı Doğan Sarıkaya	Dorcadion Scabricolle Erkeklerinde Elitral Şeritlerin Nicel Uzamsal Karakterizasyonu

Salon1 (2. Gün - 1. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa İstanbullu	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
9:00	Dr. Öğretim Üyesi Mustafa İstanbullu	Feasibility of Polypyrrole-Functionalized Porous Substrates for Steering-Wheel-Integrated Physiological Sensing
9:15	Mahircan Yıldız - Doç.Dr. Ahmet Yurtseven - Doç.Dr. Taner Çoşgun	Bir Savaş Gemisinde Hangar Kapısı Açıklığının Uçuş Güvertesi ve Hangar Çevresindeki Akış Alanına Etkisinin Sayısal İncelenmesi
9:30	Murat Berker Özbek - Mehmet Ali mizrak	Full-Listwise Otel Sıralamasında Negatif Örnekleme Stratejileri: Aşırı Veri Dengesizliğinde Zor Negatiflerin Etkisizliği
9:45	İbrahim Arslan - Doç.Dr. Kaan Ünlügençoğlu - Doç.Dr. Ahmet Yurtseven	Gemi Scrubber Sistemlerinde Aksiyal Fan Entegrasyonunun Egzoz Geri Basıncına Etkisinin Sayısal İncelenmesi
10:00	Aslı Naz Toy - Buse Durak - İlknur Gürtaş - Doç.Dr. Nermin Topaloğlu - Doç.Dr. Didem Şen Karaman	Metilen Mavisi-Karbon Noktaları Enkapsüle Edilmiş Kitosan Nanoparçacıklarının Ultrasonla Tetiklenen Salımının Değerlendirilmesi
10:15	Dr. Öğretim Üyesi Bedri Bahtiyar - Fahrettin Okur	Tcr Tabanlı Sistemlerde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Ladrc

Salon2 (2. Gün - 1. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Şeymanur Yılmaz Taşcı	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
9:00	Nargiz Ahmadova - Dr. Derya Cebeci - Dr. Öğretim Üyesi Şeymanur Yılmaz Taşcı	Serum Neopterin Seviyesinin Akut Otitis Mediada Değerlendirilmesi
9:15	Dr. Öğretim Üyesi Gökhan Aydın	Lityum Tedavisinin Gastrik Mukoza ve Helicobacter Pylori Kolonizasyonu Üzerindeki Olası Gastroprotektif Etkileri: Retrospektif Karşılaştırmalı Bir Çalışma
9:30	Doç.Dr. Erhan Kara	Genital Bölge Dolguları ve Morfolojik Manipülasyon İddialarının Sporcu Sağlığı Etkilerine İlişkin Eleştirel Bir Derleme: Kayakla Atlama Örneği
9:45	Doç.Dr. Erhan Kara	Yapay Zeka Destekli Egzersiz Reçeteleri Yeni Bir İnfodemi Riski Mi'
10:00	Dr. Öğretim Üyesi Aysun Badem - Dr. Öğretim Üyesi Tuba Geçdi	Gebelikte Beden İmajı ile Sosyal Medya İlişkili Partner Kıskançlığı Arasındaki İlişki: Türkiye'de Analitik Kesitsel Bir Çalışma

Salon1 (2. Gün - 2. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi İsmail Çalıkuşu	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
10:30	Tufan Bora Karaköse - Kaan Kahraman	Donanım İçi Döngü Test Ortamlarında Otomotiv Uyarı Sesi Sınıflandırması İçin Dsp ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Değerlendirilmesi
10:45	Arda Kabaca	Automotive Spıce V3.1 & 4.0 Differences
11:00	Araştırmacı Cem Tolga Münyas - Araştırmacı Hüseyin Can Öncel	L2/l3 Otonom Araçlarda Açıklanabilir Karar Verme İçin Rag Sistemi
11:15	Dr. Öğretim Üyesi İsmail Çalıkuşu	Emg ve İvmeölçer Özellikleri Kullanılarak Egzersize Bağlı Yorgunluk Göstergelerinin Katılımcıdan Bağımsız Sınıflandırılması
11:30	Murat Berker Özbek - Mehmet Ali mizrak	Kısa Ömürlü Envanterde Item-To-Item Aday Üretimi: Üretimde Çalışan Hibrit Bir Uçuş Benzerlik Sistemi
11:45	Koral Sancak	Bridging the Sim2real Gap: A Review of Synthetic Data Generation and Validation in Automotive Engineering

Salon2 (2. Gün - 2. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Duygu Sarı Ak	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
10:30	Dr. Emir Fatih Kaya - Dr. Öğretim Üyesi Duygu Sarı Ak	Yüksek Dereceli Seröz Over Kanserinde Kemoterapiyle İlişkili Koagülasyon–hipoksi–inflamasyon Yeniden Programlanması ve Koordineli Malign Hücre Durumu
10:45	Dr. Rıdvan Işık	Aksiyel Spondiloartritli Hastalarda Kinezyofobi Sıklığı ve Klinik Parametrelerle Korelasyonu
11:00	Uzman Osman Furkan Mülkem	Nadir Görülen Bir Antite: Servikal Küçük Hücreli Karsinom Olgusu
11:15	Dr. Gizem Özdoğan Yılmaz	Taş Ön Tanısıyla Opere Edilen Hidropik Safra Kesesinde Saptanan İntestinal Tipte İntrakolesistik Papiller Neoplazi: Olgu Sunumu
11:30	Öğr.Gör. Hatice Akdemir	Postpartum Yorgunluk ile Emzirme Öz Yeterliliği Arasındaki İlişki Hızlı Kanıt Sentezi ve Meta Analiz

Salon1 (2. Gün - 3. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Abdurrahman Umut Tüyel	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
12:00	Dr. Öğretim Üyesi Abdurrahman Umut Tüyel	İmmün Trombositopenide İnterferon Baskın Tam Kan Transkriptomik İmzası: Gse5812 Veri Setinin Keşifsel Yeniden Analizi
12:15	Mustafa Yıldız - Onur Alp Eliküçük - Enes Cirit - Dr. Öğretim Üyesi Önem Yıldız	Çevrimdışı Konuşmadan Metne Dönüşüm Destekli Taşınabilir Lora Acil Haberleşme Cihazının Tasarımı ve İlk Uygulama Sonuçları
12:30	Dr. Öğretim Üyesi Ali Murat Garipcan	Çift Yönlü Permütasyon ve Cbc Modlu Difüzyon Kullanan Kaos Tabanlı Bir Görüntü Şifreleme Yöntemi
12:45	Araştırmacı Osman Batu Deniz - Araştırmacı Hüseyin Can Öncel	Accessible Adas–hmı Design for Diverse Driver Groups: A Comparative Regulatory, Market, and Literature Review
13:00	Araştırmacı Alper Tunga Güven - Araştırmacı Hüseyin Can Öncel	An Esp32-Based Hardware-In-The-Loop Control Unit With Physically Modeled Siren Audio for Adas Testing in the Carla Simulator

Salon2 (2. Gün - 3. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Doç.Dr. Aykut Zerek	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
12:00	Dr. Öğretim Üyesi İpek Erdem - Doç.Dr. Aykut Zerek	Cryptosporidiosis Tedavisinde Mevcut Seçenekler ve Güncel Yaklaşımlar
12:15	Arş.Gör. İbrahim Taylan Çelik	Hızlı Maksiller Genişletme Sonrası Transversal ve Sagittal Dentoskeletal Değişikliklerin Değerlendirilmesi
12:30	Uzman Osman Furkan Mülkem	Benign Deri Eki Tümörlerinin Histomorfolojik Özellikleri ve Dağılımının Retrospektif Değerlendirilmesi
12:45	Uzman Osman Furkan Mülkem	Schwannom Olgularında Histopatolojik Subtip ve Klinikopatolojik Verilerin Tek Merkezde Retrospektif Değerlendirilmesi
13:00	Dr. Öğretim Üyesi Kamil Taşkapılı	Komplet Atriyoventriküler Bloklu Gebenin Anestezi Yönetimi: Olgu Sunumu

Salon1 (2. Gün - 4. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Dr. Öğretim Üyesi Melih Canlıdinç	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
13:30	Araştırmacı Melek Tuğçe Çüçen İlgüy	Otomotiv Endüstrisinde Kuantum Hesaplama: Mevcut Uygulamalar, Fırsatlar ve Gelecek Vizyonu
13:45	Araştırmacı Abdulkerim Çekinmez - Araştırmacı Oğuzhan Apaydın	Elektrikli Araçlar İçin Rota Düzeyinde Enerji Tüketimi Tahmini: Simülasyon Tabanlı Haritalar Arası Bir Çalışma
14:00	Araştırmacı Sebahat Çekinmez	Üretken Yapay Zekanın Otomotiv Yazılımı Doğrulama ve Geçerleme Süreçlerindeki Rolü: Kullanım Senaryoları, Çalışma Prensipleri ve Önemi
14:15	Dr. Öğretim Üyesi Melih Canlıdinç	Alsi10mg Takviyeli Panellerin Eğilme Davranışı Üzerindeki Nervür Topolojisi Etkilerinin Eşit Kütle Koşulunda Sayısal Olarak İncelenmesi
14:30	Dr. Öğretim Üyesi Hakan Ülker	Boyalı Kurt Optimizasyonu İle Durum Geri Beslemeli Kontrolör Tasarımı: Bir Sabit miknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Kontrolüne Uygulanması

Salon2 (2. Gün - 4. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Arş.Gör. İbrahim Taylan Çelik	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
13:30	Arş.Gör. İbrahim Taylan Çelik	Hibrit Hızlı Maksiller Genişletme Sonrası Dentofasiyal Değişikliklerin Değerlendirilmesi: Olgu Sunumu
13:45	Doç.Dr. Bahattin Bulduk	Sağlıkta Dijital İkiz Araştırmalarının Gelişimi ve Bilimsel Görünürlüğü
14:00	Dr. Öğretim Üyesi Müberra Konur	Nevüs Sebaseus Olgularında Klinik ve Histopatolojik Bulgular: 6 Olguluk Olgu Serisi
14:15	Arş.Gör. İbrahim Taylan Çelik	Twin Block Apareyi ile Fonksiyonel Çene Ortopedisi: İskeletsel, Dentoalveolar ve Yumuşak Doku Değişiklikleri
14:30	Dr. Öğretim Üyesi Burcu Belen Aydoğmuş	Klinik Olarak Farklı Ön Tanılar Alan Nadir Bir Kutanöz Hamartom: Nevüs Lipomatozus Süperfisialis — Üç Olguluk Seri

Salon2 (2. Gün - 5. Oturum)

Oturum Başkanı	Oturum Başkan Yrd.
Prof.Dr. Abdurrahman Çömlekçi	

Sıra	Yazar Bilgisi	Bildiri Bilgileri
15:00	Dr. Öğretim Üyesi Gökçen Güngör Semiz - Dr. Simge Yılmaz Kavcar - Prof.Dr. Abdurrahman Çömlekçi	Tip 1 Diyabetli Hastalarda Karbonhidrat Sayımı Eğitimine Uyumun Glisemik Kontrol ve Metabolik Parametreler Üzerine Etkisi
15:15	Arş.Gör. İbrahim Taylan Çelik	Gömülü Maksiller Kaninin Ballista Spring Mekaniği ile Ortodontik Sürdürülmesi: Olgu Sunumu
15:30	Dr. Öğretim Üyesi Arif Yılmaz	Periferik Fasiyal Paralizide Modifiye Labbé Tekniği (Uzatılmış Temporal Miyoplasti) ve Altın Ağırlık İmplantasyonu İle Multimodal Cerrahi Reanimasyon: Bir Olgu Sunumu
15:45	Uzman Dr. Muhammed Kerem Deli	Appendektomi Sonrası Nadir Bir Solunumsal Komplikasyon: Negatif Basınçlı Pulmoner Ödem
16:00	Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Akkoca	İki Kanallı Faz Döngüsü Alanının Miyokardiyal İskemide Potansiyel Bir Biyobelirteç Olarak Değerlendirilmesi

İÇİNDEKİLER

EĞİTİM VE SOSYAL BİLİMLER

DİJİTAL TOPLUM VE İLİŞKİSEL İNSANSIZLAŞMA: DİJİTAL YALNIZLIK DIGITAL SOCIETY AND RELATIONAL DEHUMANIZATION: DIGITAL LONELINESS	PROF.DR. Z. GONUL BALKİR- DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ECEM KOCAOĞLAN-	2
ALGORİTMİK İKTİDAR VE İNSAN: ÇIPLAK HAYATIN DİJİTAL ÇAĞDA YENİDEN YORUMU ALGORITHMIC POWER AND THE HUMAN BEING: REINTERPRETING BARE LIFE IN THE DIGITAL AGE	PROF.DR. Z. GONUL BALKİR- DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ECEM KOCAOĞLAN-	19
OPERA EĞİTİMİ EKOSİSTEMİ (OEE): TÜRKİYE'DE YÜKSEKÖĞRETİMDE OPERA EĞİTİMİ İÇİN BÜTÜNCÜL ANALİTİK MODEL OPERA EDUCATİON ECOSYSTEM (OEE): A HOLİSTİC ANALYTİCAL MODEL FOR OPERA EDUCATİON İN TURKİSH HİGHER EDUCATİON	DR. ÖĞRETİM ÜYESİ DUYGU KÜÇÜK-	34
TÜRKİYE ORTAOKUL FEN BİLİMLERİ ÖĞRETİM PROGRAMI VE DERS KİTAPLARININ YEŞİL KİMYANIN 12 İLKESİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	DİĞER SALİHA NUR NAYAN- DOÇ.DR. SEVGÜL ÇALIŞ-	43
İLETİŞİMİN ÖTESİNDE: YAPAY ZEKÂ ARACILI ANLAMLANDIRMA ÇAĞINDA YABANCI DİL EĞİTİMİ VE EPİSTEMİK FAİLLİK BEYOND COMMUNİCATİON: FOREİGN LANGUAGE EDUCATİON AND EPİSTEMİC AGENCY İN THE AGE OF AI-MEDİATED MEANİNG	DOÇ.DR. BORA BAŞARAN-	57
ZEKÂNIN SAHİBİ KİM? KİŞİSEL YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA EPİSTEMİK EŞİTSİZLİK VE ÖĞRETMEN PROFESYONELLİĞİNE İLİŞKİN KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE WHO OWNS INTELLİGENCE? A CONCEPTUAL FRAMEWORK OF EPİSTEMİC INEQUALİTY AND TEACHER PROFESSİONALİSM İN THE AGE OF PERSONAL AI	DOÇ.DR. BORA BAŞARAN-	80
AZERBAYCAN KOMÜNİST GAZETESİNDE İKİNCİ DÜNYA SAVAŞI İZLENİMLERİ	DR. AYNUR ASGAROVA PINAR-	102
TÜRK-AMERİKAN İLİŞKİLERİNİN ŞEKİLLENMESİNDE DEAN ACHESON'IN ROLÜ THE ROLE OF DEAN ACHESON İN SHAPİNG TURKİSH-AMERİCAN RELATİONS	DOÇ.DR. HAKAN GÜNGÖR-	114
YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DEZENFORMASYON VE SOSYAL MEDYA GÜVENLİĞİ: ULUSLARARASI GÜVENLİK PERSPEKTİFİNDEN BİR ANALİZ AI-ASSİSTED DİSİNFORMATİON AND SOCİAL MEDİA SECURİTY: AN ANALYSİS FROM AN INTERNATİONAL SECURİTY PERSPECTİVE	DİĞER ZEYNEP SAMUR-	125
SOSYAL MEDYANIN SESSİZ SAKİNLERİ: DİJİTAL LURKİNG ÜZERİNE BİR İNCELEME THE SİLENT RESİDENTS OF SOCİAL MEDİA: AN EXAMİNATİON OF DİGİTAL LURKİNG	DOÇ.DR. AYŞEGÜL ELİF ÇAYCI- DOÇ.DR. BERK ÇAYCI-	144
TÜRKİYE'DE İHRACAT ODAKLI GİRİŞİMCİLİK VE STORYBOX PLATFORMUNDAN SEÇİLMİŞ ÖRNEKLER EXPORT-ORİENTED ENTREPRENEURSHİP İN TÜRKİYE AND SELECTED EXAMPLES FROM THE STORYBOX PLATFORM	ÖĞR.GÖR SİNAN CAN ALTUNTAŞ-	162
İKİNCİ DÜNYA SAVAŞI'NDA ALMANYA VE FRANSA'NIN TÜRKİYE'DEKİ İSTİHBARAT FAALİYETLERİ THE INTELLİGENCE ACTİVİTİES OF GERMANY AND FRANCE İN TURKEY DURİNG THE SECOND WORLD WAR	DOÇ.DR. HAKAN GÜNGÖR-	182
UYGULAMALI FEN KULÜBÜ ETKİNLİKLERİNİN ÖĞRENCİLERİN FEN ÖĞRENME DENEYİMLERİNE YANSIMALARI: NİTEL BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ REFLECTIONS OF APPLIED SCIENCE CLUB ACTIVITIES ON STUDENTS' SCIENCE LEARNING EXPERIENCES: A QUALITATIVE CASE STUDY	DİĞER İLAYDA GÜLER- DOÇ.DR. SEVGÜL ÇALIŞ-	189
TALTİFTEN HATIRAYA; ELAZIĞLI KORE GAZİLERİNİN MADALYALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME FROM COMMENDATION TO REMEMBRANCE: A STUDY OF THE MEDALS OF KOREAN WAR VETERANS FROM ELAZIĞ	DOÇ.DR. AHMET ÇELİK-	200
BİR MAHMETÇİĞİN KALEMİNDEN KIBRIS BARIŞ HAREKÂTI; ELAZIĞLI GAZİ YAŞAR SÜRGEÇ'İN CEPHE GÜNLÜĞÜ THE CYPRUS PEACE OPERATION THROUGH THE PEN OF A TURKISH SOLDIER: THE FRONTLINE DIARY OF YAŞAR SÜRGEÇ, A VETERAN FROM ELAZIĞ	DOÇ.DR. AHMET ÇELİK-	221
OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMLARINDA ÇOCUK REFAHI: FİNLANDİYA, SİNGAPUR VE TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ'NİN KARŞILAŞTIRMALI DOKÜMAN ANALİZİ CHİLD WELLBEİNG İN PRESCHOOL EDUCATİON CURRİCULA: A COMPARATİVE DOCUMENT ANALYSİS OF FİNLAND, SİNGAPORE, AND THE TÜRKİYE CENTURY MAARİF MODEL	DR. ÖĞRETİM ÜYESİ İDRİS KARA-	241
MÜZİK EĞİTİMİNDE ZİHİNSEL UYGULAMA: KLASİK GİTAR DEŞİFRESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA MENTAL PRACTİCE İN MUSİC EDUCATİON: A STUDY ON CLASSİCAL GUİTAR SİGHT-READİNG	DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEMİH BİREL- ARAŞTIRMACI BAZAF KEFEE FARAJ -	256
POSTFEMİNİST SÖYLEM VE CHİCK-LİT BAĞLAMINDA VEFA ENVER'İN LEYLA GİBİ ROMANI VEFA ENVER'S NOVEL LEYLA GİBİ İN THE CONTEXT OF POSTFEMİNİST DİSCOURSE AND CHİCK-LİT	DİĞER HAMİDE AYSİMA KAYMAKÇI- PROF.DR. SİBEL BAYRAM-	270
KİTAB-I MUKADDES VE KUR'AN-I KERİM'E GÖRE HZ. MUSA VE HZ. HARUN MOSES AND AARON ACCORDİNG TO THE BİBLE AND THE QUR'AN	ARAŞTIRMACI VEZİR TEKÇE-	283
KAYNAŞTIRMA EĞİTİMİNE YÖNELİK HAZIRLANAN YÜKSEK LİSANS TEZLERİNİN TEMATİK İNCELENMESİ	DİĞER RABİA BİLGEN- PROF.DR. MURAT GÖKDERE-	296

AVRUPA BİRLİĞİ VE TÜRKİYE'DE HAYVAN HAKLARI ANİMAL RİGHTS İN THE EUROPEAN UNİON AND TÜRKİYE	DİĞER AFRA AYBİKE YILDIRIM-	306
KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA YAPAY ZEKÂ: YÖRÜK DOKUMALARININ DİJİTAL MOTİF ARŞİVİ VE TASARIM UYGULAMASI ARTİFİCİAL INTELLİGENCE İN THE PRESERVATİON OF CULTURAL HERİTAGE: DİGİTAL MOTİF ARCHİVE AND DESİGN APPLİCATİON OF YÖRÜK WEAVİNGS	DİĞER HASAN ATAKAN YILDIRIM-	315

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

MIMO BİLİŞSEL RADYO SİSTEMLERİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI HİBRİT İYİLEŞTİRİLMİŞ ENERJİ ALGILAMA YÖNTEMİ	MERYEM YARAR, FATİH YAVUZ ILGIN, FARUK BATURALP GÜNAY	324
ATIK SULARDAN DEMİR UZAKLAŞTIRMADA ÇÖKTÜRME FLOTASYONU UYGULAMASI	FATMA ARSLAN, MEHMET YASİN YILMAZ	330
52 HÜCRELİ 314 AH LFP BATARYA MODÜLÜNDE HÜCRE GERİLİMİ ÖLÇÜM DOĞRULUĞUNUN BARALI VE CCS BAĞLANTI YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI	EYÜP DAĞLI	345
DENGESİZ VERİLERLE MAKİNE ÖĞRENMESİ KULLANARAK ÖNGÖRÜCÜ BAKIM: ÖRNEKLEME YÖNTEMLERİNİN ARIZA TAHMİN PERFORMANSINA ETKİSİ	TOHİD YOUSEFİ	358
BUCKLİNG BEHAVİOR AND MASS OPTİMİZATİON OF ENGİNE CONNECTİNG RODS WİTH GEOMETRİC CUTOUTS: A FİNİTE ELEMENT STUDY ON 4140, INCONEL 718 AND Tİ6AL4V	BURAK ŞAHİN	373
KARAÇAM (PİNUS NİGRA ARNOLD SUBSP. PALLASİANA (LAMB.) HOLMBOE)'IN FARKLI YETİŞME ORTAMLARINDAKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER (KASTAMONU PINARBAŞI VE SAMATLAR ÖRNEĞİ)	HALİL EMRE BÜYÜKÇALIK, CUMHUR GÜNGÖROĞLU	387
FARKLI AĞ ÇÖZÜNÜRLÜKLERİNİN SONLU KANAT AERODİNAMİĞİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ	EMİN YENİACUN, SEYFETTİN ÇAKMAK	397
IMPROVİNG TURKİSH ADDRESS CLASSİFİCATİON WİTH BERT AND RULE-BASED POST-PROCESSİNG FOR LAST-MİLE DELİVERY	ALAEDDİN TÜRKMEN, BARIŞ BAYRAM, AHMET ÇAY, AYŞE DİLARA TÜRKMEN	403
AI-BASED PHOTO PROOF VALİDATİON FOR LAST-MİLE DELİVERY	AHMET ÇAY, ALAEDDİN TÜRKMEN, AYŞE DİLARA TÜRKMEN, BARIŞ BAYRAM	414
METİLEN MAVİSİ-KARBON NOKTALARI ENKAPSÜLE EDİLMİŞ KİTOSAN NANOPARÇACIKLARININ ULTRASONLA TETİKLENEN SALIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ	ASLI NAZ TOY, BUSE DURAK, İLKNUR GÜRTAŞ, NERMİN TOPALOĞLU, DİDEM ŞEN KARAMAN	424
GEMİ SCRUBBER SİSTEMLERİNDE AKSİYAL FAN ENTEGRASYONUNUN EGZOZ GERİ BASINCINA ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ	İBRAHİM ARSLAN, KAAN ÜNLÜGENÇOĞLU, AHMET YURTSEVEN	435
L2/L3 OTONOM ARAÇLARDA AÇIKLANABİLİR KARAR VERME İÇİN RAG SİSTEMİ	CEM TOLGA MÜNYAS, HÜSEYİN CAN ÖNCEL	445
AUTOMOTİVE SPICE V3.1 & 4.0 DİFFERENCES	ARDA KABACA	456
DONANIM İÇİ DÖNGÜ TEST ORTAMLARINDA OTOMOTİV UYARI SESİ SINIFLANDIRMASI İÇİN DSP VE MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	TUFAN BORA KARAKÖSE, KAAN KAHRAMAN	471
BRİDGİNG THE SİM2REAL GAP: A REVİEW OF SYNTHETİC DATA GENERATİON AND VALİDATİON İN AUTOMOTİVE ENGİNEERİNG	KORAL SANCAK	482
AN ESP32-BASED HARDWARE-İN-THE-LOOP CONTROL UNİT WİTH PHYSİCALLY MODELED SİREN AUDİO FOR ADAS TESTİNG İN THE CARLA SİMULATOR	ALPER TUNGA GÜVEN, HÜSEYİN CAN ÖNCEL	491
ACCESSİBLE ADAS–HMI DESİGN FOR DİVERSE DRİVER GROUPS: A COMPARATİVE REGULATORY, MARKET, AND LİTERATURE REVİEW	OSMAN BATU DENİZ, HÜSEYİN CAN ÖNCEL	498
ÇEVRİMDIŞI KONUŞMADAN METNE DÖNÜŞÜM DESTEKLİ TAŞINABİLİR LORA ACİL HABERLEŞME CİHAZININ TASARIMI VE İLK UYGULAMA SONUÇLARI	MUSTAFA YILDIZ, ONUR ALP ELİKÜÇÜK, ENES CİRİT, ÖNEM YILDIZ	512
İMMÜN TROMBOSİTOPENİDE İNTERFERON BASKIN TAM KAN TRANSKRİPTOMİK İMZASI: GSE5812 VERİ SETİNİN KEŞİFSEL YENİDEN ANALİZİ	ABDURRAHMAN UMUT TÜYEL	520
ÜRETKEN YAPAY ZEKANIN OTOMOTİV YAZILIMI DOĞRULAMA VE GEÇERLEME SÜREÇLERİNDEKİ ROLÜ: KULLANIM SENARYOLARI, ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE ÖNEMİ	SEBAHAT ÇEKİNMEZ	528
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KUANTUM HESAPLAMA: MEVCUT UYGULAMALAR, FIRSATLAR VE GELECEK VİZYONU	MELEK TUĞÇE ÇÜÇEN İLGÜY	538

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ROTA DÜZEYİNDE ENERJİ TÜKETİMİ TAHMİNİ: SİMÜLASYON TABANLI HARİTALAR ARASI BİR ÇALIŞMA	ABDULKERİM ÇEKİNMEZ, OĞUZHAN APAYDIN	550
BİR SAVAŞ GEMİSİNDE HANGAR KAPISI AÇIKLIĞININ UÇUŞ GÜVERTESİ VE HANGAR ÇEVRESİNDEKİ AKIŞ ALANINA ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ	MAHİRCAN YILDIZ, AHMET YURTSEVEN, TANER ÇOŞGUN	558
EMG VE İVMEÖLÇER ÖZELLİKLERİ KULLANILARAK EGZERSİZE BAĞLI YORGUNLUK GÖSTERGELERİNİN KATILIMCIDAN BAĞIMSIZ SINIFLANDIRILMASI	İSMAİL ÇALIKUŞU	569
TCR TABANLI SİSTEMLERDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İÇİN LADRC	BEDRİ BAHTİYAR, FAHRETTİN OKUR	576

SAĞLIK BİLİMLERİ

LİTYUM TEDAVİSİNİN GASTRİK MUKOZA VE HELİCOBACTER PYLORİ KOLONİZASYONU ÜZERİNDEKİ OLASI GASTROPROTEKTİF ETKİLERİ: RETROSPEKTİF KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA	GÖKHAN AYDIN	592
SERUM NEOPTERİN SEVİYESİNİN AKUT OTİTİS MEDİADA DEĞERLENDİRİLMESİ	NARGİZ AHMADOVA, DERYA CEBECİ, ŞEYMANUR YILMAZ TAŞCI	600
TAŞ ÖN TANISIYLA OPERE EDİLEN HİDROPİK SAFRA KESESİNDE SAPTANAN İNTESTİNAL TİPTE İNTRAKOLESİSTİK PAPİLLER NEOPLAZİ: OLGU SUNUMU	GİZEM ÖZDOĞAN YILMAZ	609
KLİNİK OLARAK FARKLI ÖN TANILAR ALAN NADİR BİR KUTANÖZ HAMARTOM: NEVÜS LİPOMATOZUS SÜPERFİSİALİS — ÜÇ OLGULUK SERİ	BURCU BELEN AYDOĞMUŞ	615
TİP 1 DİYABETLİ HASTALARDA KARBONHİDRAT SAYIMI EĞİTİMİNE UYUMUN GLİSEMİK KONTROL VE METABOLİK PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ	GÖKÇEN GÜNGÖR SEMİZ, SİMGE YILMAZ KAVCAR, ABDURRAHMAN ÇÖMLEKÇİ	620
PERİFERİK FASİYAL PARALİZİDE MODİFİYE LABBÉ TEKNİĞİ (UZATILMIŞ TEMPORAL MİYOPLASTİ) VE ALTIN AĞIRLIK İMPLANTASYONU İLE MULTİMODAL CERRAHİ REANİMASYON: BİR OLGU SUNUMU	ARİF YILMAZ	625

EĞİTİM VE SOSYAL BİLİMLER

Dijital Toplum Ve İlişkisel İnsansızlaşma: Dijital Yalnızlık

DIGITAL SOCIETY AND RELATIONAL DEHUMANIZATION:

DIGITAL LONELINESS

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR[1], Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN [2]

[1]E-mail: gonulbalkir@yahoo.com, Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC, ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

[2]ecemkocaoglan@cau.edu.tr ,Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, GİRNE KKTC, ORCID NO: 0009-0007-9955-4327.

Özet

Dijital teknolojiler ve yapay zekâ destekli iletişim araçları, bireylerin bilgiye erişim, iletişim kurma ve toplumsal etkileşim biçimlerini köklü biçimde dönüştürmüştür. Sosyal medya platformları, çevrim içi topluluklar ve dijital iletişim uygulamaları bireyler arasındaki bağlantıları niceliksel olarak artırırken, ilişkilerin niteliği bakımından yeni sorunları da beraberinde getirmektedir. Günümüzde bireyler hiç olmadığı kadar fazla dijital etkileşim içerisinde bulunabilmelerine rağmen yalnızlık, sosyal izolasyon ve duygusal yabancılaşmanın önemli toplumsal sorunlar olarak gündeme gelmesi, dijital toplumun dikkat çekici paradokslarından birini oluşturmaktadır.

Bu çalışma, ilişkisel insansızlaşma kavramını dijital toplumun ortaya çıkardığı yeni bir toplumsal ve normatif problem olarak ele almakta ve dijital yalnızlığın hukuki ve sosyolojik boyutlarını incelemektedir. Çalışmada algoritmik filtreleme, kişiselleştirilmiş içerik sunumu, sürekli çevrim içi olma kültürü ve yapay zekâ destekli iletişim biçimlerinin bireyler arasındaki empati, güven, aidiyet, tanınma ve yüz yüze ilişki kurma kapasitesi üzerindeki muhtemel etkileri değerlendirilmektedir. Habermas'ın yaşam dünyası, Honneth'in tanınma ve Rosa'nın rezonans yaklaşımlarından hareketle dijital ilişkilerin dönüşümüne ilişkin bütüncül bir kuramsal çerçeve geliştirilmektedir.

Çalışma, dijital teknolojilerin zorunlu olarak yalnızlık yarattığı yönündeki teknolojik determinist yaklaşımı reddetmektedir. Bunun yerine belirli algoritmik, ekonomik ve tasarımsal ilişki mimarilerinin, belirli bireysel ve toplumsal koşullar altında insan ilişkilerindeki karşılıklılık, tanınma ve rezonans unsurlarını zayıflatabilecek koşullar oluşturabileceği savunulmaktadır. Bu dönüşümü açıklamak üzere "ilişkisel insansızlaşma", buna verilecek normatif karşılığı ifade etmek üzere ise "ilişkisel bütünlük"

kavramı önerilmektedir. Sonuç olarak dijital yalnızlığın yalnızca bireysel bir psikolojik durum değil, geleceğin insan hakları ve hukuk politikaları bakımından dikkate alınması gereken yeni bir toplumsal kırılganlık göstergesi olduğu ileri sürülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital toplum, dijital yalnızlık, ilişkisel insansızlaşma, ilişkisel bütünlük, yapay zekâ, algoritmalar, insan onuru, toplumsal kırılganlık.

Abstract

Digital technologies and artificial intelligence-supported communication tools have fundamentally transformed the ways individuals access information, communicate, and engage in social interaction. While social media platforms, online communities, and digital communication applications have significantly increased the quantity of interpersonal connections, they have also generated new challenges regarding the quality of human relationships. Despite being more digitally connected than ever before, individuals increasingly experience loneliness, social isolation, and emotional alienation. This paradox has emerged as one of the defining characteristics of contemporary digital society.

This study examines the concept of relational dehumanization as a new social phenomenon generated by the digital society and explores the legal and sociological dimensions of digital loneliness. It analyzes the effects of algorithmic filtering, personalized content delivery, the culture of permanent online connectivity, and AI-supported communication on empathy, trust, social belonging, and individuals' capacity to establish meaningful face-to-face relationships. Furthermore, the study discusses the consequences of digital loneliness for mental health, social solidarity, and a human rights framework grounded in human dignity.

The study argues that digital transformation represents not only a technological but also a relational transformation. Although individuals become increasingly visible within digital networks, their genuine human connections may gradually weaken. Accordingly, digital loneliness is identified as a new form of social vulnerability that should be taken into consideration in the development of future human rights and legal policies.

Keywords: Digital society, digital loneliness, relational dehumanization, artificial intelligence, algorithms, social vulnerability.

GİRİŞ

Dijitalleşme insan ilişkilerinin tarihsel koşullarını değiştirmektedir. Akıllı telefonlar, sosyal medya platformları, anlık mesajlaşma uygulamaları ve yapay zekâ destekli iletişim sistemleri sayesinde insanlar coğrafi mesafelerden bağımsız biçimde iletişim kurabilmekte, topluluklar oluşturabilmekte ve sosyal ilişkilerini sürdürebilmektedir. Bununla birlikte bağlantı imkânlarının artması, insan ilişkilerinin niteliğinin aynı ölçüde güçlendiği anlamına gelmemektedir. Dijital toplum böylece görünürde çelişkili bir durumu ortaya çıkarmaktadır: İnsan hiç olmadığı kadar fazla bağlantıya sahip olabilirken kendisini aynı zamanda yalnız hissedebilmektedir (Turkle, 2011; Nowland et al., 2018).

Yalnızlık, salt bireysel bir ruh hâli olarak değerlendirilemeyecek kadar önemli sonuçlara sahiptir. Algılanan sosyal izolasyonun psikolojik ve fizyolojik süreçlerle ilişkili olduğu; sosyal ilişkilerin niteliğinin ise sağlık ve iyilik hâli bakımından önemli bir unsur oluşturduğu gösterilmiştir (Hawkley & Cacioppo, 2010, pp. 218–227; Holt-Lunstad et al., 2010). Dünya Sağlık Örgütü de sosyal bağlantıyı bireysel ve toplumsal sağlık bakımından önemli bir unsur olarak değerlendirmekte; yalnızlık ve sosyal izolasyonun küresel ölçekte dikkate alınması gereken sorunlar olduğunu vurgulamaktadır (World Health Organization [WHO], 2025).

Bununla birlikte dijital teknoloji ile yalnızlık arasında doğrudan ve tek yönlü bir nedensellik kurmak mümkün değildir. İnternet ve sosyal medya mevcut sosyal ilişkileri güçlendirebilir, coğrafi engelleri azaltabilir ve özellikle çevrimdışı sosyal bağlantıları sınırlı bireylere yeni topluluklara katılma imkânı sağlayabilir. Buna karşılık dijital iletişimin çevrimdışı ilişkinin ikamesi hâline geldiği veya sosyal karşılaştırma, pasif tüketim ve sürekli görünürlük baskısıyla birleştiği bazı kullanım biçimlerinde yalnızlık ve sosyal izolasyonla olumsuz ilişkiler ortaya çıkabilmektedir (Nowland et al., 2018; Verduyn et al., 2017, pp. 274–302; Odgers & Jensen, 2020, pp. 336–348). Bu nedenle çalışmanın hareket noktası “dijital teknoloji insanı yalnızlaştırmaktadır” önermesi değildir. Araştırma problemi daha sınırlı ve daha derindir: Belirli dijital ilişki mimarileri, insanın başka insanlarla karşılıklılık, tanınma, empati ve aidiyete dayalı ilişki kurma kapasitesini zayıflatabilir mi ve böyle bir dönüşüm hukuk bakımından korunması gereken yeni bir alan yaratır mı?

Çalışmanın temel savı, dijital yalnızlığın bazı görünümlerinin daha geniş bir ilişkisel dönüşüm içerisinde değerlendirilmesi gerektiğidir. Bu dönüşümü açıklamak amacıyla ilişkisel insansızlaşma, buna verilebilecek hukuki ve normatif karşılığı tartışmak amacıyla ise ilişkisel bütünlük kavramı önerilmektedir.

DİJİTAL YALNIZLIK: BAĞLANTISIZLIKTAN NİTELİKLİ İLİŞKİ EKSİKLİĞİNE

Yalnızlık ve sosyal izolasyon birbirinden ayrılması gereken kavramlardır. Sosyal izolasyon bireyin sosyal ilişkilerinin nesnel veya niceliksel boyutuna daha fazla işaret ederken yalnızlık, kişinin mevcut ilişkileriyle ihtiyaç duyduğu veya arzuladığı ilişkiler arasındaki uyumsuzluğa ilişkin öznel deneyimini ifade etmektedir (Hawkley & Cacioppo, 2010, pp. 218–220). Bu ayrım dijital toplum bakımından özel bir önem taşımaktadır; çünkü kişinin çok sayıda dijital bağlantıya sahip olması, kendisini anlamlı biçimde ilişkili hissetmesini garanti etmemektedir.

Bu açıdan dijital yalnızlık bağlantının yokluğundan çok, bağlantı ile ilişki arasındaki ayrışma üzerinden anlaşılabilir. Bir kişinin yüzlerce dijital bağlantısı, takipçisi veya sürekli mesajlaştığı kişiler bulunabilir; buna rağmen kişi anlaşılmadığını, tanınmadığını veya güçlü bir aidiyet ilişkisi kuramadığını hissedebilir. Dolayısıyla dijital yalnızlık, geleneksel yalnızlıktan tamamen farklı yeni bir psikolojik kategori olarak değil, dijital ilişki koşullarında yalnızlık deneyiminin aldığı özgün biçimlerden biri olarak değerlendirilmelidir.

Sosyal medya araştırmaları bu konuda karmaşık bir tablo ortaya koymaktadır. Primack ve arkadaşları (2017, pp. 1–8), genç yetişkinlerde sosyal medya kullanımı ile algılanan sosyal izolasyon arasında ilişki tespit etmiş; Verduyn ve arkadaşları (2017, pp. 274–302) ise sosyal ağ kullanımının öznel iyi oluş üzerindeki etkisinin kullanım biçimine göre farklılaşabileceğini göstermiştir. Daha geniş değerlendirmeler de dijital medya etkilerinin bireysel özelliklere, kullanım biçimine ve sosyal bağlama göre değiştiğini ve genel geçer olumsuz bir etki varsayımının ampirik olarak savunulamayacağını ortaya koymaktadır (Odgers & Jensen, 2020, pp. 336–348; Valkenburg et al., 2022, pp. 58–68).

Bu nedenle dijital yalnızlık bakımından araştırılması gereken asıl değişken yalnızca teknoloji kullanımının miktarı değildir. Daha önemli olan, dijital ortamın hangi tür ilişkiyi teşvik ettiği ve hangi tür ilişkinin yerini aldığıdır.

BAĞLANTI İLE İLİŞKİ ARASINDAKİ NORMATİF FARK

Dijital platform ekonomisinin temel göstergeleri çoğu zaman ölçülebilir niteliktedir: kullanıcı sayısı, bağlantı sayısı, görüntülenme, beğeni, paylaşım, etkileşim ve çevrim içi geçirilen süre. Ancak insan ilişkilerinin değerini aynı ölçütlerle değerlendirmek mümkün değildir.

Bağlantı teknik bir durumu; ilişki ise karşılıklılık içeren insani bir deneyimi ifade eder. İlişki yalnızca ileti aktarımından ibaret olmayıp güven, empati, tanınma, dikkat, sorumluluk ve süreklilik gibi unsurlar içerir. Turkle (2011, 2015), sürekli teknolojik bağlantının yüz yüze konuşmanın ve derin insan ilişkisinin yerini otomatik olarak doldurmadığını ve teknolojik aracılığın insanların birbirleriyle kurdukları ilişkinin biçimini değiştirebildiğini vurgulamaktadır. Bu ayrım dijital yalnızlığın normatif temelini oluşturmaktadır: Bağlantı teknik olarak üretilebilir; fakat ilişki yalnızca bağlantı sayısıyla üretilemez.

Dijital platformların ekonomik modeli açısından ise etkileşimin sürekliliği özel bir değer taşımaktadır. Kullanıcı etkileşimi veri üretmekte; davranışsal veriler kişiselleştirme, tahmin ve ekonomik değer yaratma süreçlerinin girdisine dönüşebilmektedir. Couldry ve Mejias (2019), çağdaş veri ilişkilerinin insan yaşamını giderek daha geniş biçimde veri çıkarım süreçlerine dâhil ettiğini savunmaktadır.

Sorun böylece yalnızca insanın verileştirilmesi değildir. İnsanlar arasındaki ilişkinin kendisi de dijital sistem bakımından ölçülebilir, sınıflandırılabilir ve ekonomik değere dönüştürülebilir hâle gelmektedir.

İLİŞKİSEL İNSANSIZLAŞMA

İnsansızlaştırma literatüründe insanın insana özgü niteliklerinin inkâr edilmesi veya kişinin mekanik, araçsal ve nesne benzeri biçimde algılanması önemli bir yer tutmaktadır. Haslam'ın (2006, pp. 252–264) mekanistik insansızlaştırma yaklaşımı, kişinin sıcaklık, duygusallık, bireysellik ve insan doğasına ilişkin özelliklerinin geri plana itilmesini açıklamaktadır. Nussbaum'ın (1995, pp. 249–291) nesneleştirme analizi ise insanın özerkliği, öznelliği ve araçsal olmayan değeri bakımından önemli bir normatif çerçeve sunmaktadır. Dijital toplumda bu tartışmanın bir adım ileri taşınması mümkündür. Nesneleştirilen yalnızca bireyin kendisi olmayabilir; insanlar arasındaki ilişkinin yapısı da araçsal hâle gelebilir.

İlişkisel insansızlaşma kavramı, insanın insanlık statüsünün reddedilmesi anlamında kullanılmamaktadır. Bu kavram; insanlar arasındaki ilişkinin karşılıklılık, tanınma, empati, dikkat ve aidiyet gibi insani unsurlarının zayıflaması ve ilişkinin giderek ölçülebilir etkileşim, veri, görünürlük ve davranışsal tahmin kategorileri içerisinde değerlendirilmesi riskini ifade etmektedir. Bu nedenle iki süreç birbirinden ayrılmalıdır: Nesneleştirme olarak insanın nesneye indirgenmesi ve İlişkisel insansızlaşma olarak insan-insan ilişkisinin araçsal ve ölçülebilir bir etkileşim birimine

indirgenmesi. Haslam ve Nussbaum'ın yaklaşımları kavramın teorik arka planını sağlamakla birlikte, ilişkinin kendisinin insansızlaşması biçimindeki bu kavramsallaştırma söz konusu çalışmaların doğrudan iddiası değil, bu çalışmada dijital toplum bağlamında geliştirilen bir sentezdir.

HABERMAS: YAŞAM DÜNYASINDAN ALGORİTMİK ARACILIĞA

Habermas'ın sistem ve yaşam dünyası ayrımı, dijital toplumdaki ilişkisel dönüşümü açıklamak için önemli bir kuramsal temel sunmaktadır. Yaşam dünyası kültürel anlamların yeniden üretildiği, toplumsal bütünleşmenin ve kimlik oluşumunun iletişimsel süreçler içerisinde gerçekleştiği alanı ifade etmektedir. Habermas'ın modern toplum eleştirisinin temel unsurlarından biri, para ve yönetsel iktidar gibi sistemik mekanizmaların iletişimsel olarak yapılandırılmış yaşam dünyasına nüfuz etmesidir (Habermas, 1985).

Dijital toplum bu kuramsal çerçevenin yeni koşullar altında yeniden düşünülmesine imkân vermektedir. Dijital platformlarda hangi içeriğin görünür olacağı, hangi etkileşimin teşvik edileceği ve kullanıcının karşısına hangi kişi veya düşüncelerin çıkacağı algoritmik sıralama, profilleme ve tavsiye sistemlerinden etkilenebilmektedir. Algoritma bu durumda yalnızca insanlar arasındaki iletişimi taşıyan teknik bir kanal olmaktan çıkarak iletişim çevresinin mimarisini etkileyen bir aracı hâline gelebilir.

Ancak burada önemli bir kuramsal sınır bulunmaktadır. Algoritmik yönlendirme Habermas'ın özgün sistem–yaşam dünyası modelinin bir unsuru değildir. Bu çalışmada yapılan, Habermas'ın yaşam dünyasının sistemik mantıklar tarafından kolonileştirilmesi yaklaşımından hareketle dijital toplum bakımından yeni bir yorum geliştirmektir.

Bu çerçevede belirli dijital platformlarda; para, iktidar, algoritmik yönlendirme ve iletişimsel yaşam dünyası şeklinde analitik bir genişletme önerilebilir. Çalışmamız, bu süreci yaşam dünyasının algoritmik kolonileşmesi ihtimali olarak değerlendirmektedir. "Algoritmik kolonileşme" Habermas'a ait bir kavram değil, onun kuramsal çerçevesinden hareketle bu çalışmada kullanılan analitik bir genişletmedir. Sorun algoritmanın varlığı değildir. Sorun, algoritmik mimarinin iletişimsel ilişkinin amaçlarını sistematik biçimde değiştirebildiği noktadır. İnsanların amacı karşılıklı anlaşma iken platformun ekonomik amacı etkileşimi ve kullanım süresini artırmak olabilir. Bu amaçların çatıştığı durumlarda iletişimsel ilişkinin araçsallaşması riski ortaya çıkmaktadır.

HONNETH: GÖRÜNÜRLÜKTEN TANINMAYA

Honneth'in tanınma teorisi dijital yalnızlığın ikinci kuramsal boyutunu açıklamak bakımından önemlidir. Bireyin kendisiyle olumlu bir ilişki geliştirmesi, diğer insanlar tarafından tanınmasıyla yakından bağlantılıdır. Tanınma ilişkileri, bireyin özerk ve toplumsal bir özne olarak gelişmesinin temel koşullarından biridir (Honneth, 1996).

Dijital toplum ise tanınma ile görünürlük arasındaki sınırı belirsizleştirebilir.Bir kişi çok sayıda insan tarafından görülebilir ancak tanınmayabilir. Paylaşımı beğenilebilir ancak kişi anlaşılmayabilir. Sürekli geri bildirim alabilir ancak güçlü bir aidiyet hissedemeyebilir. Dijital toplum bakımından; görünürlük ve tanınma ayrımı yapılmalıdır. Platformlarda beğeni, takipçi, görüntülenme ve etkileşim gibi göstergeler toplumsal geri bildirimi sayısallaştırmaktadır. Bu göstergeler gerçek tanınma ilişkilerinin taşıyıcısı olabilir; ancak tanınmanın yerine geçmeye başladıklarında, tanınma, görünürlük, etkileşim ve metrik aşamalarıyla farklı bir dönüşüm ortaya çıkabilir.

Çalışmamızda bu dönüşüm riski, tanınmanın metrikleşmesi olarak adlandırmaktadır. "Tanınmanın metrikleşmesi" Honneth'in kullandığı bir kavram değildir; Honneth'in tanınma teorisinden hareketle dijital toplumun ölçülebilir görünürlük rejimini açıklamak amacıyla bu çalışmada önerilen analitik bir kavramdır. Dijital yalnızlığın önemli görünümlerinden biri böylece daha anlaşılır hâle gelmektedir: İnsan giderek daha görünür olabilir fakat aynı ölçüde tanınmış hissetmeyebilir.

ROSA: BAĞLANTIDAN REZONANSA

Rosa'nın rezonans yaklaşımı, dijital toplumda ilişki miktarı ile ilişki niteliği arasındaki ayrımı değerlendirmeye imkân vermektedir. Rosa'ya göre iyi yaşam yalnızca bireyin sahip olduğu kaynakların, seçeneklerin veya erişilebilir dünyanın genişlemesine bağlı değildir; insanın dünya ve diğer insanlarla kurduğu ilişkinin niteliği de önemlidir. Rezonans, kişinin dünyayla yalnızca araçsal bir ilişki kurmadığı; ondan etkilendiği, ona cevap verebildiği ve bu karşılaşma içerisinde dönüşebildiği bir ilişki biçimini ifade etmektedir (Rosa, 2019).

Dijital toplum erişilebilir dünyayı olağanüstü ölçüde genişletmektedir. İnsan aynı anda çok sayıda kişiyle bağlantı kurabilir, büyük miktarda içeriğe ulaşabilir ve çok sayıda olaya tepki verebilir. Ancak erişilebilirliğin artması rezonansın da arttığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle dijital yalnızlığın bazı biçimleri bağlantı eksikliğinden değil, rezonans eksikliğinden kaynaklanabilir.

Dijital hızlanma da bu açıdan önemlidir. Mesajlara hızla cevap verilmesi, içeriklerin sürekli yenilenmesi ve dikkatin çok sayıda uyaran arasında bölünmesi, derin ilişkinin ihtiyaç duyduğu zaman ve dikkatle gerilim yaratabilir. Güven, empati, dostluk ve karşılıklı anlayış çoğu zaman süreklilik gerektirir.

Burada da kuramsal sınır korunmalıdır. Rosa dijital yalnızlığı bu çalışmada kullanılan anlamıyla "ilişkisel insansızlaşma" olarak kavramsallaştırmamaktadır. Rezonans kaybının ilişkisel insansızlaşmanın boyutlarından biri olarak kullanılması bu çalışmanın kuramsal sentezidir.

İLİŞKİSEL İNSANSIZLAŞMANIN BOYUTLARI

Habermas, Honneth ve Rosa'nın kuramsal katkıları ile insansızlaştırma ve nesneleştirme literatürü birlikte değerlendirildiğinde, ilişkisel insansızlaşmanın dört analitik boyutu belirlenebilir.Birinci boyut karşılıklılığın zayıflamasıdır. İnsan ilişkisi diğer kişinin yalnızca varlığını değil, bağımsız ve öngörülemez bir özne oluşunu kabul etmeyi gerektirir. Aşırı kişiselleştirilmiş dijital çevrelerin kişinin kendisinden farklı olanla karşılaşmasını azaltması durumunda gerçek karşılıklılık bakımından risk ortaya çıkabilir.

İkinci boyut tanınmanın metrikleşmesidir. Beğeni, görüntülenme, takipçi ve etkileşim gibi göstergeler tanınmanın yerine geçtiğinde kişinin toplumsal değerinin nicel geri bildirimlere bağlanması riski doğmaktadır. Üçüncü boyut ilişkinin araçsallaşmasıdır. İnsanlar arasındaki iletişim platform bakımından veri, dikkat ve ekonomik değer üreten bir sürece dönüştüğünde ilişkinin taraflarının amaçları ile sistemin amaçları birbirinden ayrılabilir (Couldry & Mejias, 2019; Calo, 2014). Dördüncü boyut rezonansın zayıflamasıdır. Sürekli ve hızlı dijital etkileşim daha fazla bağlantı üretirken derin karşılaşma ve karşılıklı dönüşüm için gerekli zaman ve dikkati azaltabilir (Rosa, 2019).

Çalışmamızda, karşılıklılığın zayıflamasıyla, tanınmanın metrikleşmesi ve ilişkinin araçsallaşmasıyla rezonansın zayıflaması sonucunda ilişkisel bir insansızlaşma riski ortaya çıkmaktadır. Bu formül, bir nedensellik formülü değil, dijital ilişkilerin niteliğini değerlendirmek amacıyla önerilen analitik bir çerçevedir.

DİJİTAL TEKNOLOJİNİN İLİŞKİLERİ GÜÇLENDİRMESİ

İlişkisel insansızlaşma tezinin teknolojik determinizme dönüşmemesi için karşı literatürün ciddiye alınması gerekir. Dijital teknolojilerin sosyal ilişkilere etkisi tek yönlü değildir. Çevrim içi iletişim uzak mesafelerdeki ilişkilerin

sürdürülmesine, sosyal destek ağlarının oluşturulmasına ve çevrimdışı koşullarda birbirlerine ulaşamayacak insanların bağlantı kurmasına imkân sağlayabilir.

Nowland, Necka ve Cacioppo (2018, pp. 70–87), internet kullanımı ile yalnızlık arasındaki ilişkinin çift yönlü ve kullanım biçimine bağlı olabileceğini göstermektedir. İnternet mevcut sosyal ilişkileri geliştirmek veya yeni anlamlı bağlantılar oluşturmak amacıyla kullanıldığında yeniden bağlantı kurmanın aracı olabilir; çevrimdışı sosyal ilişkinin ikamesi hâline geldiğinde ise yalnızlığı sürdürebilir veya güçlendirebilir.

Benzer şekilde sosyal medya ile ruh sağlığı arasındaki ilişkiye yönelik geniş değerlendirmeler, sonuçların kullanım biçimi, bireysel özellikler, yaş ve sosyal bağlama göre farklılaştığını göstermektedir (Odgers & Jensen, 2020, pp. 336–348; Valkenburg et al., 2022, pp. 58–68). Bu nedenle "Dijital teknoloji insanı yalnızlaştırır." önermesi reddedilmeli ve bunun yerine bu çalışmanın savunabileceği; belirli algoritmik, ekonomik ve tasarımsal ilişki mimarileri, belirli bireysel ve toplumsal koşullar altında insan ilişkilerinin karşılıklılık, tanınma ve rezonans boyutlarını zayıflatabilecek koşullar yaratabilir ve böylece ilişkisel insansızlaşma riskini artırabilir; önergesi kabul edilmelidir.

YAPAY ZEKÂ: ARACIDAN İLİŞKİNİN TARAFINA

Üretken yapay zekâ sistemleri dijital ilişki tartışmasında yeni bir aşamaya işaret etmektedir. Geleneksel dijital teknolojiler büyük ölçüde insan-insan iletişimine aracılık ederken sosyal sohbet botları ve yapay zekâ temelli dijital arkadaşlık sistemleri giderek doğrudan iletişimin tarafı hâline gelebilmektedir.

Bu sistemler yalnızlık yaşayan bireylere iletişim ve destek sağlayabilir. Bu nedenle yapay zekâ ile kurulan ilişkilerin kategorik biçimde olumsuz değerlendirilmesi doğru değildir. Ancak yapay ilişkinin insan ilişkisinin tamamlayıcısı olmaktan çıkarak sistematik biçimde ikamesine dönüşmesi hâlinde yeni normatif sorular ortaya çıkmaktadır.

İnsan ilişkisi karşıdaki kişinin bağımsızlığıyla karşılaşmayı içerir. Diğer insan her zaman beklentilerimize uygun davranmaz; itiraz edebilir, sınır koyabilir ve ilişkiyi sona erdirebilir. İnsan ilişkisinin ahlaki değerinin bir bölümü bu karşılıklılık ve öngörülemezlikten kaynaklanmaktadır. Yapay zekâ sistemleri ise tasarımlarına bağlı olarak kullanıcının beklentilerine yüksek ölçüde uyarlanabilir.

Bu nedenle temel soru yapay zekânın insan gibi konuşup konuşamadığı değildir. Asıl soru, yapay etkileşimin hangi koşullarda insan ilişkisini desteklediği, hangi koşullarda ise onun ikamesine dönüşerek bireyin ilişkisel kapasitesini etkileyebileceğidir.

Teknoloji etiği bakımından teknolojilerin yalnızca insanın ne yaptığı üzerinde değil, hangi alışkanlıkları geliştirdiği ve nasıl bir toplumsal özne hâline geldiği üzerinde de etkileri bulunabileceği dikkate alınmalıdır (Vallor, 2016).

TOPLUMSAL BİR KIRILGANLIK GÖSTERGESİ OLARAK DİJİTAL YALNIZLIK

Dijital yalnızlığın bireysel bir duyguya indirgenmesi sorunun yapısal boyutlarını görünmez kılabilir. Sosyal bağlantının sağlık, iyilik hâli ve toplumsal dayanıklılık üzerindeki önemi dikkate alındığında yalnızlık aynı zamanda kamusal politika bakımından dikkate alınması gereken bir olgudur (WHO, 2025).

Buradaki kırılganlık bireyin kişisel zayıflığı anlamına gelmemektedir. Belirli toplumsal ve teknolojik yapıların bireyi belirli zararlara daha açık hâle getirebilmesini ifade etmektedir. Çocuklar, yaşlılar, sosyal destek ağları sınırlı kişiler ve çevrimdışı sosyal ilişkilere erişimi kısıtlı bireyler dijital ortamların hem bağlantı sağlayıcı faydalarından daha fazla yararlanabilir hem de ikame edici ilişki biçimlerine karşı daha hassas olabilir.

Birleşmiş Milletler Çocuk Hakları Komitesi'nin 25 No.lu Genel Yorumu, dijital çevrenin çocuk haklarının kullanılması bakımından merkezi önem taşıdığını kabul etmekte ve devletlerin dijital çevrede çocuğun üstün yararı, gelişimi, mahremiyeti, katılımı ve diğer haklarını koruması gerektiğini ortaya koymaktadır (Committee on the Rights of the Child, 2021).

Bu yaklaşım önemli bir hukuki dönüşüme işaret etmektedir: Dijital ortam yalnızca hakların kullanıldığı nötr bir alan değildir; hakların kullanılma koşullarını biçimlendiren bir mimaridir.

İNSAN ONURU VE İLİŞKİSEL ÖZERKLİK

Dijital yalnızlığın hukuk bakımından değerlendirilmesinde insan onuru merkezi normatif dayanaklardan biridir. İnsan onuruna dayalı hukuk anlayışı, kişinin yalnızca ekonomik veya teknolojik amaçların aracı olarak görülmesine karşı güçlü bir koruma sağlamaktadır. Dijital toplumda kişinin veri kaynağı, tüketici profili veya davranışsal hedef olarak işlenmesi bu nedenle insanın özne niteliği bakımından sorgulanmalıdır.

Bununla birlikte insan onurunun yalnızca bireyin yalıtılmış özerkliği üzerinden ele alınması yeterli değildir. İnsan kimliği ve özerkliği sosyal ilişkiler içerisinde gelişmektedir. İlişkisel özerklik yaklaşımı, özerkliği yalnızca dış müdahaleden bağımsızlık olarak değil, bireyin özerkliğini oluşturmasını ve kullanmasını mümkün kılan sosyal ilişkiler ve koşullar içerisinde değerlendirmektedir (Mackenzie & Stoljar, 2000). Dijital sistemlerin önemi burada daha belirgin hâle gelmektedir. Bu sistemler yalnızca bireyin tek tek kararlarını etkileyen araçlar değildir; kişinin başkalarıyla karşılaştığı, iletişim kurduğu ve sosyal çevresini oluşturduğu alanın mimarisini de şekillendirebilir.

İnsan onurunun dijital çağdaki ilişkisel boyutu şu şekilde ifade edilebilir: İnsan onurunun korunması yalnızca insanın nesneleştirilmemesini değil, insanın diğer insanlarla özne-özne ilişkisi kurabilme koşullarının sistematik biçimde aşındırılmamasını da gerektirir.

DİJİTAL HUKUKUN İMKÂNLARI VE SINIRLARI

Mevcut dijital hukuk düzeni "ilişkisel bütünlüğü" bağımsız bir hak veya açık bir hukuki ilke olarak tanımamaktadır. Bununla birlikte özellikle Avrupa dijital hukukunda ortaya çıkan bazı düzenlemeler, dijital sistemlerin insan özerkliği, temel haklar ve toplumsal iyilik hâli üzerindeki yapısal etkilerini dikkate alan önemli normatif başlangıç noktaları sunmaktadır.

Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), kişisel verilerin hukuka uygun, adil ve şeffaf biçimde işlenmesini öngörmekte ve profilleme ile otomatik karar verme bakımından belirli koruma mekanizmaları sağlamaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2016). GDPR ilişkisel bütünlüğü doğrudan koruyan bir düzenleme değildir; ancak bireyin davranışsal olarak profillenmesi ve otomatik süreçlerin nesnesi hâline gelmesine ilişkin sınırlamaları, dijital özerkliğin korunması bakımından önem taşımaktadır.

Dijital Hizmetler Tüzüğü (Digital Services Act), özellikle çok büyük çevrim içi platformlar ve çok büyük çevrim içi arama motorları bakımından sistemik risk değerlendirmeleri öngörmektedir. Düzenlemenin 34. maddesi, temel hakların kullanılması, çocukların korunması ve kişilerin fiziksel ve zihinsel iyilik hâli üzerindeki belirli gerçek veya öngörülebilir olumsuz etkilerin sistemik risk değerlendirmesinde dikkate alınmasını gerektirmektedir. Risklerin azaltılmasına yönelik 35. maddeyle birlikte değerlendirildiğinde DSA, dijital hukukun yalnızca tekil veri veya içerik ihlallerine değil,

platformların tasarımından ve işleyişinden doğabilecek daha geniş yapısal risklere de yöneldiğini göstermektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2022, arts. 34–35).

Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü (AI Act) risk temelli bir düzenleme modeli benimsemekte ve insan davranışını zararlı biçimde manipüle eden veya belirli kırılganlıklardan yararlanarak önemli zararlara yol açan bazı yapay zekâ uygulamalarını yasaklamaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2024). Bu yaklaşım, insan özerkliğinin yalnızca biçimsel karar özgürlüğü üzerinden değil, kararların oluştuğu teknolojik çevrenin niteliği üzerinden de korunmasının önemini göstermektedir.

Avrupa Konseyi'nin *Yapay Zekâ ve İnsan Hakları, Demokrasi ve Hukukun Üstünlüğü Çerçeve Sözleşmesi* de yapay zekâ sistemlerinin yaşam döngüsü içerisindeki faaliyetlerin insan hakları, demokrasi ve hukuk devletiyle uyumlu olmasını uluslararası hukuk düzeyinde güvence altına almaya yönelmektedir (Council of Europe, 2024).

UNESCO'nun *Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı* ise insan onurunu, insan haklarını ve temel özgürlükleri yapay zekâ etiğinin merkezine yerleştirmekte; yapay zekânın insan özerkliği, toplumsal ilişkiler ve insanın kendisini ve dünyayı anlama biçimleri üzerindeki etkilerinin dikkate alınmasını öngörmektedir (UNESCO, 2021).

Bu düzenlemelerin hiçbiri doğrudan bir "ilişkisel bütünlük hakkı" yaratmamaktadır. Ancak birlikte değerlendirildiklerinde dijital sistemlerin yalnızca teknik güvenlik ve kişisel veri koruması açısından değil, insanın içerisinde yaşadığı sosyal ve ilişkisel çevre üzerindeki etkileri bakımından da değerlendirilmesine imkân veren normatif bir zemin oluşmaktadır.

NORMATİF BİR İLKE OLARAK İLİŞKİSEL BÜTÜNLÜK

Dijital yalnızlığın hukuki öneminin kabul edilmesi, yeni bir "yalnız olmama hakkı" oluşturulmasını gerektirmez. Hukuk insanlara arkadaşlık sağlayamaz, bireylere belirli sosyal ilişkileri dayatamaz ve yalnızlığı ortadan kaldıramaz. Böyle bir yaklaşım hem uygulanabilirlik hem de bireysel özgürlük bakımından ciddi sorunlar yaratacaktır. Bu nedenle daha ölçülü bir normatif yaklaşım gereklidir.

Çalışmamızda önerilen ilişkisel bütünlük, bağımsız ve yargılanabilir yeni bir temel hak iddiasından önce, dijital sistemlerin insan ilişkileri üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yarayan bir normatif ilke olarak düşünülmektedir. İlişkisel bütünlük; bireyin başka insanlarla karşılıklılık, tanınma ve özerkliğe dayalı anlamlı ilişkiler kurabilme kapasitesinin dijital sistemler tarafından sistematik biçimde aşındırılmamasına ilişkin normatif koruma düşüncesini ifade etmektedir. Bu ilke dört boyutta somutlaştırılabilir.

Karşılıklılığın korunması ilkesinde; dijital sistemlerin insan-insan ilişkisinin koşullarını sistematik biçimde tek yönlü, aşırı kişiselleştirilmiş veya bütünüyle ikame edici yapılara dönüştürmesinin ilişkisel sonuçları değerlendirilmelidir.

Tanınmanın korunması ilkesinde; bireyin toplumsal değerinin yalnızca ölçülebilir dijital metriklere indirgenmesini teşvik eden tasarımların bireyin özne niteliği üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır.

İlişkisel özerkliğin korunması ilkesinde, manipülatif veya aşırı yönlendirici dijital tasarımlar kişinin yalnızca tekil tercihlerini değil, sosyal çevresini oluşturma ve diğer insanlarla karşılaşma kapasitesini etkileyebileceğinden denetlenmelidir.

İlişkisel kırılganlığın gözetilmesi ilkesinde ise çocuklar ve diğer kırılgan kullanıcı grupları bakımından dijital sistemlerin sosyal ve duygusal etkileri daha yüksek bir özen standardıyla değerlendirilmelidir. Tüm ilkelerin birlikte değerlendirilmesiyle ilişkisel bütünlük kavramının, teknolojiye karşı genel bir sınırlama ilkesi olmayıp, tam tersine teknolojinin insani ilişkinin koşullarına etkisini hukuk bakımından görünür kılan normatif bir değerlendirme ölçütü olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Dijital toplum insanlık tarihinde benzeri görülmemiş bir bağlantı kapasitesi yaratmıştır. İnsanlar coğrafi mesafelerden bağımsız biçimde iletişim kurabilmekte, topluluklar oluşturabilmekte ve sosyal ilişkilerini sürdürebilmektedir. Bu nedenle dijital teknolojilerin insan ilişkilerini zorunlu olarak zayıflattığı veya yalnızlığa neden olduğu ileri sürülemez. Ampirik literatür dijital iletişimin sonuçlarının kullanım biçimi, bireysel özellikler ve sosyal bağlama göre önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir (Nowland et al., 2018; Odgers & Jensen, 2020; Valkenburg et al., 2022).

Bununla birlikte bağlantı miktarındaki artış, ilişkinin niteliğinin korunacağını garanti etmemektedir. Bu çalışma dijital yalnızlığın bazı görünümlerini insan ilişkilerinin daha geniş teknolojik dönüşümü içerisinde değerlendirmiştir. Bu dönüşümü açıklamak üzere ilişkisel insansızlaşma kavramı ortaya çıkmaktadır.

Habermas'ın yaşam dünyası yaklaşımı iletişimin sistemik ve araçsal mantıklar tarafından biçimlendirilmesi ihtimalini; Honneth'in tanınma teorisi görünürlük ile gerçek tanınma arasındaki ayrımı; Rosa'nın rezonans yaklaşımı ise bağlantı miktarı ile ilişkinin niteliği arasındaki farkı açıklamak için kullanılmıştır (Habermas, 1985; Honneth, 1996; Rosa, 2019). Ancak "algoritmik kolonileşme", "tanınmanın metrikleşmesi" ve bunların "ilişkisel insansızlaşma" çerçevesinde bir araya getirilmesi söz konusu düşünürlerin doğrudan tezleri değil, bu çalışmada geliştirilen kuramsal sentezdir. Bu sentez sonucunda ilişkisel insansızlaşmanın, karşılıklılığın zayıflaması, tanınmanın metrikleşmesi, ilişkinin araçsallaşması ve rezonansın zayıflaması şeklindeki dört analitik boyut ortaya çıkmaktadır. Dijital yalnızlık bu nedenle çalışmanın teorik mimarisinde doğrudan teknoloji kullanımının kaçınılmaz sonucu değil, belirli koşullar altında ortaya çıkabilecek daha geniş bir ilişkisel dönüşümün göstergelerinden biridir.

Öte yandan çalışmamızda, ilişkisel bütünlük kavramı, ilişkisel insansızlaşma kavramına, normatif bir cevap olarak önerilmektedir. İlişkisel bütünlük bir "yalnız olmama hakkı" değildir. İnsan ilişkilerini devletin düzenlemesi anlamına da gelmemektedir. Kavram, bireyin başka insanlarla karşılıklılık, tanınma ve özerkliğe dayalı ilişki kurabilme kapasitesinin dijital sistemler tarafından sistematik biçimde aşındırılmamasına ilişkin normatif bir koruma düşüncesini ifade etmektedir.

Mevcut dijital hukuk ilişkisel bütünlüğü bağımsız bir hak veya açık bir hukuki ilke olarak tanımamaktadır. GDPR'ın bireyin profilleme ve otomatik karar süreçleri karşısındaki korunmasına ilişkin hükümleri, DSA'nın sistemik risk yaklaşımı, AI Act'in manipülatif ve sömürücü bazı yapay zekâ uygulamalarına getirdiği sınırlamalar, Avrupa Konseyi'nin insan hakları temelli yapay zekâ yaklaşımı ve UNESCO'nun insan onuru merkezli etik çerçevesi, dijital sistemlerin insanın ilişkisel çevresi üzerindeki etkilerinin gelecekte daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi için önemli normatif başlangıç noktaları oluşturmaktadır.

Bu noktada dijital yalnızlık tartışması, yalnızca psikolojik bir sorundan hukuk teorisinin daha temel bir sorusuna dönüşmektedir: Hukuk insanı korurken, insanın başka insanlarla insan olarak ilişki kurabilmesinin koşullarını da korumalı mıdır?

Çalışmamızda bu sorunun cevabı olumludur. Ancak bu koruma, paternalist biçimde ilişkinin içeriğine müdahale ederek değil, insan ilişkilerinin teknolojik ve ekonomik sistemler tarafından sistematik biçimde araçsallaştırılmasına karşı yapısal güvenceler geliştirerek gerçekleştirilmelidir.

Dijital çağda insan onurunun korunması, yalnızca insanın nesneleştirilmesini önlemeyi değil; insanın diğer insanlarla özne-özne ilişkisi kurabilme koşullarının sistematik biçimde aşındırılmasına ve araçsallaştırılmasına karşı korunmasını da gerektirir. Bu korumanın normatif karşılığı ilişkisel bütünlüktür. Dijital yalnızlık, bu açıdan geleceğin hukukunun doğrudan ortadan kaldırması gereken bir duygu değil; hukukun görmesi gereken yeni bir toplumsal kırılganlık göstergesidir.

KAYNAKÇA

Calo, R. (2014). Digital market manipulation. *George Washington Law Review, 82*, 995–1051.

Committee on the Rights of the Child. (2021). *General comment No. 25 (2021) on children's rights in relation to the digital environment* (CRC/C/GC/25). United Nations.

Council of Europe. (2024). *Council of Europe Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, Democracy and the Rule of Law* (CETS No. 225).

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press.

European Parliament & Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union, L 119*, 1–88.

European Parliament & Council of the European Union. (2022). Regulation (EU) 2022/2065 of the European Parliament and of the Council of 19 October 2022 on a single market for digital services and amending Directive 2000/31/EC (Digital Services Act). *Official Journal of the European Union, L 277*, 1–102.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union, L 2024/1689*.

Habermas, J. (1985). *The theory of communicative action: Vol. 2. Lifeworld and system: A critique of functionalist reason* (T. McCarthy, Trans.). Beacon Press.

Haslam, N. (2006). Dehumanization: An integrative review. *Personality and Social Psychology Review, 10*(3), 252–264. https://doi.org/10.1207/S15327957PSPR1003_4

Hawkley, L. C., & Cacioppo, J. T. (2010). Loneliness matters: A theoretical and empirical review of consequences and mechanisms. *Annals of Behavioral Medicine, 40*(2), 218–227. https://doi.org/10.1007/s12160-010-9210-8

Holt-Lunstad, J., Smith, T. B., & Layton, J. B. (2010). Social relationships and mortality risk: A meta-analytic review. *PLOS Medicine, 7*(7), e1000316. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000316

Honneth, A. (1996). *The struggle for recognition: The moral grammar of social conflicts* (J. Anderson, Trans.). MIT Press.

Mackenzie, C., & Stoljar, N. (Eds.). (2000). *Relational autonomy: Feminist perspectives on autonomy, agency, and the social self*. Oxford University Press.

Nowland, R., Necka, E. A., & Cacioppo, J. T. (2018). Loneliness and social Internet use: Pathways to reconnection in a digital world? *Perspectives on Psychological Science, 13*(1), 70–87. https://doi.org/10.1177/1745691617713052

Nussbaum, M. C. (1995). Objectification. *Philosophy & Public Affairs, 24*(4), 249–291. https://doi.org/10.1111/j.1088-4963.1995.tb00032.x

Odgers, C. L., & Jensen, M. R. (2020). Annual research review: Adolescent mental health in the digital age: Facts, fears, and future directions. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 61*(3), 336–348. https://doi.org/10.1111/jcpp.13190

Primack, B. A., Shensa, A., Sidani, J. E., Whaite, E. O., Lin, L. Y., Rosen, D., Colditz, J. B., Radovic, A., & Miller, E. (2017). Social media use and perceived social isolation among young adults in the U.S. *American Journal of Preventive Medicine, 53*(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2017.01.010

Rosa, H. (2019). *Resonance: A sociology of our relationship to the world* (J. C. Wagner, Trans.). Polity.

Susser, D., Roessler, B., & Nissenbaum, H. (2019). Online manipulation: Hidden influences in a digital world. *Georgetown Law Technology Review, 4*(1), 1–45.

Turkle, S. (2011). *Alone together: Why we expect more from technology and less from each other*. Basic Books.

Turkle, S. (2015). *Reclaiming conversation: The power of talk in a digital age*. Penguin Press.

UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO.

Valkenburg, P. M., Meier, A., & Beyens, I. (2022). Social media use and its impact on adolescent mental health: An umbrella review of the evidence. *Current Opinion in Psychology, 44*, 58–68. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2021.08.017

Vallor, S. (2016). *Technology and the virtues: A philosophical guide to a future worth wanting*. Oxford University Press.

Verduyn, P., Ybarra, O., Résibois, M., Jonides, J., & Kross, E. (2017). Do social network sites enhance or undermine subjective well-being? A critical review. *Social Issues and Policy Review, 11*(1), 274–302. https://doi.org/10.1111/sipr.12033

World Health Organization. (2025). *From loneliness to social connection: Charting a path to healthier societies—Report of the WHO Commission on Social Connection*. World Health Organization.

Algoritmik İktidar ve İnsan:
Çıplak Hayatın Dijital Çağda Yeniden Yorumu

ALGORITHMIC POWER AND THE HUMAN BEING:
REINTERPRETING BARE LIFE IN THE DIGITAL AGE

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR[1], Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN[2]

[1]E-mail: gonulbalkir@yahoo.com, Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC, ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

[2]ecemkocaoglan@cau.edu.tr ,Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, GİRNE KKTC, ORCID NO: 0009-0007-9955-4327.

Özet

Yapay zekâ sistemleri, büyük veri analitiği ve algoritmik karar verme mekanizmalarının toplumsal yaşamın her alanında yaygınlaşması, bireyin hukuk, siyaset ve teknoloji karşısındaki konumunun yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüzde bireyler, dijital platformlar tarafından sürekli izlenen, sınıflandırılan, puanlanan ve öngörülebilir veri kümelerine dönüştürülen varlıklar hâline gelmektedir. Bu dönüşüm, bireyin yalnızca dijital görünürlüğünü artırmamakta; aynı zamanda özne olma niteliğini zayıflatarak insanın araçsallaştırılması riskini de beraberinde getirmektedir.

Bu çalışma, Giorgio Agamben'in çıplak hayat kavramını yapay zekâ ve algoritmik yönetim bağlamında yeniden yorumlamayı amaçlamaktadır. Agamben'in egemen iktidarın hukuki ve siyasal düzen içerisinde bireyi hak sahibi bir özne olmaktan çıkararak yalnızca biyolojik varoluşa indirgediği yönündeki yaklaşımından hareketle, günümüz dijital toplumunda algoritmaların bireyi veri profilleri ve davranış kalıpları üzerinden tanımlayan yeni iktidar biçimleri oluşturduğu ileri sürülmektedir. Çalışmada, algoritmik gözetim, otomatik karar verme sistemleri ve veri temelli yönetim süreçlerinin bireyin özerkliği, mahremiyeti, insan onuru ve hukuki güvenceleri üzerindeki etkileri eleştirel bir perspektifle değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak çalışma, dijital çağda çıplak hayat kavramının yalnızca biyopolitik bir olgu olarak kabulünü ötesinde, aynı zamanda algoritmik iktidar ve yönetimi altında hukuki ve toplumsal görünürlüğünü kaybetme riski taşıyan bireyin durumunu açıklayan güncel ve kuramsal bir yaklaşımı

savunmakta ve algoritmik iktidarın sınırlandırılmasıyla insan merkezli hukuki güvencelerin güçlendirilmesi gerekliliğini vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Agamben, çıplak hayat, algoritmik iktidar, biyopolitika, insan onuru.

Abstract

The widespread use of artificial intelligence systems, big data analytics, and algorithmic decision-making mechanisms across all spheres of social life has made it necessary to reconsider the position of the individual in relation to law, politics, and technology. Today, individuals are continuously monitored, classified, scored, and transformed into predictable datasets by digital platforms. While this transformation increases individuals' digital visibility, it simultaneously weakens their status as autonomous subjects and raises the risk of reducing human beings to objects of algorithmic management.

This study aims to reinterpret Giorgio Agamben's concept of **bare life** within the context of artificial intelligence and algorithmic governance. Building upon Agamben's argument that sovereign power reduces individuals from legal and political subjects to mere biological existence, the study argues that contemporary digital society has generated new forms of power in which algorithms define individuals through data profiles and behavioral patterns. From this perspective, algorithmic surveillance, automated decision-making systems, and data-driven governance are critically examined in terms of their implications for individual autonomy, privacy, human dignity, and legal safeguards.

The study argues that, in the digital age, the concept of bare life should be understood not merely as a biopolitical condition but also as a contemporary theoretical framework for explaining the situation of individuals who risk losing their legal and social visibility under algorithmic power and governance. It concludes by emphasizing the necessity of limiting algorithmic power and strengthening human-centered legal safeguards in order to preserve fundamental rights and human dignity.

Keywords: Agamben, bare life, algorithmic power, biopolitics, human dignity.

GİRİŞ

Dijital dönüşüm yalnızca insanların kullandıkları teknolojik araçları değiştirmemekte; bireyin devlet, piyasa ve toplumsal kurumlar tarafından nasıl görüldüğünü, sınıflandırıldığını ve değerlendirildiğini de dönüştürmektedir. Büyük

veri analitiği, makine öğrenmesi ve algoritmik karar verme sistemleri kredi, sigorta, istihdam, güvenlik, sağlık, sosyal yardım ve çevrim içi platform yönetimi gibi çok farklı alanlarda bireylere ilişkin değerlendirmeler üretebilmektedir. Bu süreçte insan, hukuk düzeninin hak ve yükümlülük sahibi tekil öznesi olmayı sürdürürken aynı zamanda ölçülebilir, karşılaştırılabilir ve tahmin edilebilir bir veri profili biçiminde yeniden temsil edilmektedir (Pasquale, 2015; Citron & Pasquale, 2014; Zuboff, 2019).

Verileştirme, insan yaşamının giderek daha geniş bölümlerinin ölçülebilir verilere dönüştürülmesini ifade etmektedir. Couldry ve Mejias (2019), çağdaş veri ekonomisinin insan yaşamının olağan faaliyetlerini veri çıkarım süreçlerine dâhil ettiğini ileri sürerken; Zuboff (2019), davranışsal verilerin gelecekteki davranışları tahmin etmeye ve bazı durumlarda yönlendirmeye yönelik ekonomik bir kaynağa dönüştürüldüğünü savunmaktadır. Böylece dijital iktidar bireyi yalnızca gözlemlememekte, aynı zamanda onun hakkında geleceğe yönelik olasılıklar üretmektedir.

Bu dönüşüm hukuk bakımından önemli bir gerilim yaratmaktadır. Hukuk, bireyi tekil bir hak öznesi olarak tanır. Hukuki muhakeme, ilke olarak bireyin somut koşullarının, gerekçelerinin ve olayın bağlamının değerlendirilmesini gerektirir. Algoritmik sistemler ise operasyonel olarak kişiyi belirli değişkenler, korelasyonlar, kategoriler ve risk skorları üzerinden temsil edebilir. Bu iki yaklaşım zorunlu olarak birbirine karşıt değildir; ancak veri profili kişinin hukuki tekilliğinin yerine geçmeye başladığında normatif bir problem ortaya çıkmaktadır (Citron & Pasquale, 2014; Selbst & Barocas, 2018).

Bu çalışmanın temel araştırma sorusu bu nedenle şöyledir: Bir insan hukuk düzeninde hak sahibi özne olmaya devam ettiği hâlde, kendisi hakkında karar verilen algoritmik süreçlerde veri profiline indirgenmiş bir değerlendirme nesnesine dönüşebilir mi?

Bu soru Giorgio Agamben'in çıplak hayat kavramının dijital çağ bakımından yeniden düşünülmesine imkân vermektedir. Bununla birlikte algoritmik sınıflandırma ile Agamben'in çıplak hayatı arasında doğrudan bir özdeşlik kurulamaz. Algoritmik değerlendirmeye tabi tutulan birey, otomatik olarak Agamben'in anlamında *homo sacer* hâline gelmemektedir. Burada amaç kavramı dijital topluma aynen taşımak değil, Agamben'in hayatın siyasal ve hukuki niteliklerinden soyulması üzerine geliştirdiği eleştirel çerçeveden hareketle dijital çağda ortaya çıkan farklı bir indirgeme biçimini analiz etmektir (Agamben, 1998).

Bu nedenle çalışmanın temel hipotezi şu şekilde formüle edilmektedir: Algoritmik iktidarın temel tehlikesi insanı hukuken özne olmaktan çıkarması değil; belirli karar süreçlerinde bireyin tekilliğini veri profiline indirgeyerek hukuki özne olmanın maddi ve usulî koşullarını zayıflatabilmesidir.

AGAMBEN'DE ÇIPLAK HAYAT VE HUKUKUN SINIRI

Agamben'in siyaset teorisinin merkezinde "çıplak hayat" kavramı bulunmaktadır. *Homo Sacer*'da Agamben, Antik Yunan düşüncesindeki *zoē* ile *bios* ayrımından hareket etmektedir. *Zoē* canlılığın yalın olgusuna, *bios* ise belirli bir siyasal ve toplumsal yaşam biçimine işaret etmektedir. Agamben'in temel sorusu, modern siyasal iktidarın biyolojik hayatı hangi mekanizmalar aracılığıyla siyasal hesaplamanın nesnesi hâline getirdiğidir (Agamben, 1998).

Agamben'in yaklaşımı bu noktada Foucault'nun biyopolitika analizleriyle yakından ilişkilidir. Foucault modern iktidarın yalnızca yasaklayan ve cezalandıran bir güç olmadığını; bedenleri disipline eden, nüfusu yöneten ve yaşam süreçlerini düzenleyen üretken bir iktidar biçimi olduğunu göstermiştir (Foucault, 1977, 1978). Agamben ise biyopolitika analizini egemenlik ve istisna teorisiyle birleştirerek hukuk düzeninin çıplak hayatla kurduğu paradoksal ilişkiye odaklanmaktadır (Agamben, 1998).

Agamben'in *homo sacer* figürü hukuk düzeninin tamamen dışında bulunan bir kişi değildir. Tam tersine kişi, hukuk tarafından dışlanmak suretiyle hukukun içinde tutulmaktadır. Bu yapı, egemenlik ilişkisinin karakteristik biçimlerinden birini oluşturmaktadır. Çıplak hayat bu nedenle basit biçimde biyolojik yaşam anlamına gelmez; siyasal ve hukuki niteliklerinden soyulan hayatın iktidar karşısındaki radikal kırılganlığını ifade etmektedir (Agamben, 1998).

Bu kavramsal sınır dijital topluma yapılacak aktarım bakımından son derece önemlidir. Algoritmik profillemeye tabi tutulan kişi kural olarak hukuk düzeninin dışına çıkarılmış değildir. Temel haklarını ve hukuki kişiliğini korumaktadır. Bu nedenle: çıplak hayat $\neq$ veri profili. Ancak Agamben'in teorisi yine de önemli bir eleştirel soru üretmektedir: Bir insan, hukuki kişiliği biçimsel olarak devam ederken karar süreçlerinde bağlamından ve tekilliğinden soyularak indirgenmiş bir temsil üzerinden yönetilebilir mi? Bu çalışma Agamben'i dijital topluma doğrudan uygulamak yerine, bu sorunun teorik kaynağı olarak kullanmaktadır.

FOUCAULT'DAN ALGORİTMİK GÖZETİME

Algoritmik iktidarın anlaşılması için Foucault'nun gözetim ve normalleştirme analizleri önemli bir başlangıç noktasıdır. Foucault'ya (1977) göre disiplinci iktidarın karakteristik özelliklerinden biri bireyin görünür hâle getirilmesi, kaydedilmesi, sınıflandırılması ve normlarla karşılaştırılmasıdır. Panoptikon metaforu, iktidarın sürekli fiziksel müdahalede bulunmaksızın görünürlüğü kullanarak davranışı şekillendirebilmesini açıklamaktadır.

Dijital toplum bu görünürlük mantığını hem genişletmiş hem dönüştürmüştür. Dijital gözetimin nesnesi yalnızca fiziksel beden veya kamusal davranış değildir. Bireyin konumu, arama geçmişi, sosyal ilişkileri, tüketim davranışı, iletişim örüntüleri, içerik tercihleri ve çevrim içi davranışları veri hâline getirilebilmektedir. Lyon'un gözetim çalışmaları, modern gözetimin yalnızca izleme değil, aynı zamanda kategorize etme ve sosyal sıralama işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır (Lyon, 2003, 2018).

Bu noktada klasik gözetim ile algoritmik iktidar arasındaki temel fark ortaya çıkmaktadır. Geleneksel gözetimde iktidarın amacı büyük ölçüde bireyi görmek ve izlemektir. Algoritmik iktidarda ise görünürlük daha ileri bir sürecin hammaddesine dönüşmekte ve gözetim, verileştirme, sınıflandırma, profilleme, tahmin ve karar aşamalarından geçmektedir. Bu aşamalarda birey yalnızca "görülen" değil, aynı zamanda "hesaplanan" bir özne hâline gelmektedir. Pasquale'nin (2015) "kara kutu toplumu" analizi, algoritmik değerlendirme sistemlerinin özellikle finans, bilgi ve itibar alanlarında bireyler üzerinde önemli sonuçlar yaratabilmesine rağmen karar mantığının çoğu zaman erişilemez veya anlaşılması güç kalabildiğini göstermektedir. Algoritmik iktidarın ayırt edici sorusu, "Kim kimi gözetliyor?" yerine; Kim kimi hangi veri üzerinden, hangi modelle ve hangi kategori içerisinde tanımlıyor? Sorusuna dönüşmüştür.

ALGORİTMİK YÖNETİMSELLİK

Rouvroy ve Berns'in (2013) "algoritmik yönetimsellik" kavramı veri temelli iktidarın yeni niteliğini anlamak bakımından önemlidir. Algoritmik yönetimsellik, kişilerin bilinçli tercihlerini veya öz-anlatılarını doğrudan hedef almak yerine büyük veri kümelerinden elde edilen korelasyonlar üzerinden olası davranışları öngörmeye ve davranış alanını yapılandırmaya yönelmektedir.

Bu yapı geleneksel iktidar modellerinden farklı bir ilişki biçimi üretmektedir. Disiplinci iktidar bireye normu öğretmeye çalışırken algoritmik yönetimsellik, kişinin davranışlarından üretilen veriler aracılığıyla onun hakkında çıkarımlar

yapabilir. Böylece iktidarın bireyi ikna etmesi veya bireyin kendisini anlatmasını dinlemesi zorunlu olmayabilir. Rouvroy ve Berns'in yaklaşımı bu nedenle yalnızca karar verme süreçleri bakımından değil, öznenin görünürlüğü ve özneleşme kapasitesi bakımından da önem taşımaktadır (Rouvroy & Berns, 2013, pp. 163–196).

Kişinin kendi beyanı yerine davranışsal örüntüsü konuşabilir. Bu dönüşüm önemli bir epistemik sorunu ortaya çıkarmaktadır: Birey hakkında geçerli bilgi üretme yetkisi kime aittir?

Algoritmik sistemlerin tahmin kapasitesi arttıkça kişinin kendi anlatısı ile sistemin onun hakkında ürettiği veri temelli temsil birbirinden ayrılabilir. Birey kendisini düşük riskli olarak değerlendirebilirken sistem onu yüksek risk kategorisine yerleştirebilir; kişi kendisini belirli bir tüketici, çalışan veya vatandaş kategorisinde görmezken algoritmik profil onu bu kategori içine yerleştirebilir. Bu nedenle algoritmik iktidar yalnızca karar verme gücü değil, aynı zamanda tanımlama gücüdür.

Yeung'un (2017, pp. 118–136) "hypernudge" yaklaşımı da büyük veri temelli dijital mimarilerin kişilerin karar çevrelerini tasarım yoluyla şekillendirebildiğini göstermektedir. Böylece algoritmik düzenleme yalnızca alınmış kararları değerlendiren değil, kararın oluştuğu davranış çevresini de yapılandırabilen bir iktidar biçimine dönüşebilmektedir.

ALGORİTMİK SINIFLANDIRMA VE PUANLANAN TOPLUM

Algoritmik sınıflandırmanın hukuk bakımından taşıdığı önem, birey hakkında üretilen kategorilerin gerçek fırsatlara erişimi etkileyebilmesinden kaynaklanmaktadır. Citron ve Pasquale (2014, pp. 1–33), büyük veri temelli puanlama sistemlerinin bireylerin kredi, iş, konut ve sigorta gibi önemli alanlara erişimini etkileyebileceğini ve bu nedenle otomatik tahminlerin usul güvencelerine tabi tutulması gerektiğini savunmaktadır. Bu yaklaşım, algoritmik iktidarın veri, puan, kategori ve fırsattan oluşan temel yapısını açık bir şekilde göstermektedir.

Kişi artık yalnızca yaptığı eylemlerin sonuçlarıyla karşılaşmamaktadır. Geçmiş verileri ve kendisine benzeyen kişilerin davranışları üzerinden gelecekte ne yapabileceğine ilişkin olasılıksal değerlendirmeler de onun karşısına çıkabilmektedir.

Burada ortaya çıkan normatif sorun tahminin yalnızca yanlış olabilmesi değildir. Tahmin istatistiksel olarak isabetli olsa dahi şu soru devam etmektedir: Bir kişi kendisi hakkında üretilen bir profile indirgenebilir mi?

Barocas ve Selbst (2016, pp. 671–732), büyük veri ve otomatik karar sistemlerinde görünüşte nötr değişkenlerin ve modellerin ayrımcı sonuçlar üretebileceğini göstermektedir. Bu bulgu, algoritmik sınıflandırmanın yalnızca doğruluk değil, adalet ve hukuki eşitlik bakımından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

VERİ PROFİLİ VE TEKİLLİĞİN KAYBI

Algoritmik sistemlerin çalışabilmesi için sınıflandırma kaçınılmazdır. Kredi değerlendirmesi, dolandırıcılık tespiti, tıbbi risk analizi veya benzeri sistemlerin belirli örüntüler ve kategoriler kullanması teknik bir zorunluluktur. Dolayısıyla sınıflandırmanın kendisi insan onuruna aykırı değildir. Normatif problem, kategorinin kişinin yerine geçtiği durumda ortaya çıkmaktadır. İnsan, veri profilinden daha fazlasıdır.

Bir bireyin geçmiş davranışlarından gelecekteki davranışına ilişkin tahmin üretilebilir. Ancak tahmin kişinin iradesini, yaşam öyküsünü, dönüşme kapasitesini veya somut olayın bütün bağlamını zorunlu olarak içermez. Selbst ve Barocas (2018, pp. 1085–1139), makine öğrenmesi sistemlerinde modelin anlaşılabilir olması ile karar kuralının hukuki veya normatif bakımdan kabul edilebilir olmasının aynı mesele olmadığını göstermektedir.

Hukuk tekil kişiyi dikkate alır. Algoritmik sistem ise örüntü üzerinden çalışır. Hukuki muhakemenin sorusu: “Bu kişinin somut durumunda ne oldu?” olabilir. Algoritmik değerlendirmenin operasyonel sorusu ise: “Bu kişi hangi örüntüye benzemektedir?” şeklinde kurulabilir. Bu iki soru arasındaki mesafe, algoritmik iktidarın insan üzerindeki temel gerilimlerinden biridir.

ALGORİTMİK ÇIPLAKLIK KAVRAMI

Agamben’in çıplak hayat kavramından, algoritmik çıplaklık kavramı önerilebilir mi? Algoritmik çıplaklık, kişinin hukuki kişiliğini kaybetmesi anlamına gelmemektedir. Kişinin Agamben’in *homo sacer* figürü hâline geldiğini de ifade etmez. Çalışmamızda algoritmik çıplaklık; kişinin kendisini oluşturan yaşam öyküsü, bağlam, gerekçeler, ilişkiler ve tekillikten soyutlanarak, kendisi hakkında karar verilmesini mümkün kılan veri noktaları, profiller,

kategoriler ve risk skorları üzerinden temsil edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Burada kavramsal sınırın açık bir şekilde korunmasına ihtiyaç vardır.

Agamben'in Çıplak Hayat kavramından yola çıkılarak çalışmamızda Algoritmik Çıplaklık kavramına ulaşılmıştır. İki kavram arasındaki ilişki, özdeşlik değil, teorik esinlenmedir. Agamben'de çıplak hayat, siyasal-hukuki statünün radikal biçimde kırılganlaştırılmasıyla ilgilidir (Agamben, 1998). Algoritmik çıplaklık ise kişinin hukuk düzeninde hak sahibi olmaya devam ederken kendisini etkileyen belirli karar süreçlerinde veri temelli indirgenmiş temsilinin öne çıkması problemine işaret etmektedir.

Algoritmik çıplaklığın analitik zinciri; insan, veri, profil, kategori, puan ya da olasılık ve karar nesnesi süreçlerinden geçerek oluşur. Bu zincirin varlığı tek başına normatif ihlal anlamına gelmemektedir. Sorun, veri profilinin kişi hakkındaki tek belirleyici gerçeklik statüsüne yükseldiği ve bireyin kendisini karar sürecinde yeniden görünür kılmasının zorlaştığı durumda ortaya çıkmaktadır.

Algoritmik çıplaklığın hukuk bakımından doğurabileceği sonuç, bu çalışmada hukuki öznenin zayıflaması kavramıyla ifade edilmektedir. Hukuki öznenin zayıflaması hukuki kişiliğin kaybı değildir. Kişi hâlâ hak sahibidir. Mahkemeye başvurabilir. Temel haklara sahiptir.

Hukuken kişi olmaya devam etmektedir. Ancak kişi hakkında karar verilen süreç içerisinde: kendisini açıklama, bağlam sunma, yanlış veriyi düzeltme, sınıflandırmaya itiraz etme, kararın dayandığı unsurlara ilişkin bilgi edinme, insan müdahalesi talep etme imkânları, etkisiz veya erişilemez hâle gelirse, biçimsel hukuki öznelik ile maddi hukuki öznelik arasında mesafe oluşabilir.

Citron ve Pasquale (2014, pp. 1–33), otomatik puanlama sistemleri karşısında bireylere anlamlı itiraz imkânı tanınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Kroll ve arkadaşları (2017, pp. 633–705) da bilgisayar temelli kararların yanlış veya haksız sonuçlar doğurabileceği durumlarda geleneksel hesap verebilirlik araçlarının yetersiz kalabileceğini ve algoritmik sistemlerin doğrulanabilir ve denetlenebilir hâle getirilmesi gerektiğini savunmaktadır.

Buradaki sorun bu nedenle: hakların ortadan kalkması değil, hakların kullanılabilirliğinin azalmasıdır. Agamben'in radikal dışlanma yapısının aksine algoritmik iktidarda daha ince bir mekanizma ortaya çıkmaktadır; dışlanma yerine → indirgeme, hak yoksunluğu yerine → hakkın etkili kullanımının zayıflaması, hukuk dışına çıkarılma yerine → karar

sürecinde görünmezleşme. Bu nedenle hukuki öznenin incelmesi, hukuki kişiliğin kaybını değil, karar süreçlerinde bireyin etkin özne olma kapasitesinin zayıflamasını ifade etmektedir.

AÇIKLANABİLİRLİK, ŞEFFAFLIK VE HESAP VEREBİLİRLİK

Algoritmik karar verme hukukunda önemli tartışmalardan biri açıklanabilirlik üzerinedir. İlk bakışta sorun basit görünebilir: Eğer algoritma kişiye kararın nedenini açıklarsa bireyin yeniden özne konumuna dönebileceği düşünülebilir.

Ancak literatür bu yaklaşımın tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Edwards ve Veale (2017, pp. 18–84), GDPR bağlamında tartışılan açıklama hakkının algoritmik zararların tamamı için yeterli bir çözüm oluşturmayabileceğini savunmaktadır. Wachter, Mittelstadt ve Floridi (2017, pp. 76–99) ise GDPR'ın genel ve bağımsız bir "açıklama hakkı" yarattığı yönündeki güçlü yorumun hukuki dayanaklarını sorgulamaktadır.

Selbst ve Barocas (2018, pp. 1085–1139) da teknik açıklanabilirlik ile normatif gerekçelendirme arasında ayrım yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bir algoritmanın nasıl çalıştığının anlaşılması, kararın neden adil, hukuka uygun veya kabul edilebilir olduğunun açıklanmasıyla açıklama ≠ hesap verebilirlik ve şeffaflık ≠ adalet aynı şey değildir. Bu nedenle hukuki öznenin korunması yalnızca algoritmanın nasıl çalıştığının açıklanmasını değil, kararın hukuken sorgulanabilir ve etkili biçimde itiraz edilebilir olmasını gerektirmektedir.

MEVCUT HUKUKTA ALGORİTMİK İKTİDARA KARŞI GÜVENCELER

Algoritmik iktidarın hukuk bakımından sınırlandırılmasının amacı teknolojinin yasaklanması değildir. Normatif amaç, insanın kendisi hakkında verilen kararın hukuki muhatabı olarak kalmasını güvence altına almaktır.

GDPR ve Otomatik Karar Verme

Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü'nün 22. maddesi, kişilerin kendileri hakkında hukuki sonuç doğuran veya benzer ölçüde önemli biçimde etkileyen ve yalnızca otomatik işleme dayanan belirli kararlara karşı korunmasını öngörmektedir. Düzenleme, istisnai durumlarda otomatik karar vermeye izin verilse bile belirli koşullarda kişinin insan müdahalesi istemesi, görüşünü ifade etmesi ve karara itiraz etmesi yönünde güvenceler öngörmektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2016, art. 22).

Bu nedenle GDPR'ın sağladığı korumayı genel ve bağımsız bir "açıklama hakkı" olarak formüle etmek yerine, otomatik kararlar bağlamında bilgilendirme, insan müdahalesi, görüş bildirme ve itiraz güvenceleri üzerinden değerlendirmek daha isabetlidir (Wachter et al., 2017, pp. 76–99; Edwards & Veale, 2017, pp. 18–84).

Bu yaklaşım, Hukuki öznenin zayıflaması problemi bakımından doğrudan önem taşımaktadır. Çünkü kişi algoritmik kararın yalnızca pasif nesnesi olmadığında; kendisini ifade edebildiğinde, sınıflandırmaya itiraz edebildiğinde ve insan müdahalesi talep edebildiğinde hukuki özne konumu maddi olarak güçlenmektedir.

Yapay Zekâ Tüzüğü ve İnsan Gözetimi

Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü, risk temelli bir düzenleme modeli benimsemekte ve özellikle yüksek riskli yapay zekâ sistemleri bakımından insan gözetimini önemli bir güvence olarak kabul etmektedir. Tüzüğün 14. maddesi, yüksek riskli yapay zekâ sistemlerinin kullanım sırasında gerçek kişiler tarafından etkili biçimde gözetilebilecek şekilde tasarlanmasını ve geliştirilmesini öngörmektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2024, art. 14).

İnsan gözetimi burada yalnızca sistemin teknik çalışmasını kontrol eden biçimsel bir unsur olarak görülmemelidir. Hukuki açıdan önemli olan, insan karar vericinin algoritmik çıktıyı sorgulayabilmesi, gerektiğinde reddedebilmesi ve kişinin somut koşullarını yeniden değerlendirebilmesidir. Bu nedenle anlamlı insan gözetimi; algoritmayı onaylayan insan değil, algoritmayı sorgulayabilen insan anlamına gelmelidir.

Avrupa Konseyi Çerçeve Sözleşmesi

Avrupa Konseyi'nin *Yapay Zekâ ve İnsan Hakları, Demokrasi ve Hukukun Üstünlüğü Çerçeve Sözleşmesi*, çalışmanın normatif yaklaşımı bakımından özel önem taşımaktadır. Sözleşme insan onuru ve bireysel özerkliği temel ilkeler arasında kabul etmekte; yapay zekâ sistemlerinden önemli ölçüde etkilenen kişilerin haklarını koruyacak şeffaflık, gözetim, etkili başvuru ve usul güvencelerini düzenlemektedir (Council of Europe, 2024, arts. 7–8, 14–15).

Sözleşmenin etkili başvuruya ilişkin yaklaşımı, özellikle kişi hakkında yapay zekâ sistemi tarafından verilen veya önemli ölçüde şekillendirilen kararlara itiraz edilebilmesi için yeterli bilgiye erişimin önemini ortaya koymaktadır (Council of Europe, 2024, art. 14).

Bu yaklaşım, çalışmanın "hukuki öznenin incelmesi" kavramına doğrudan normatif karşılık sağlamaktadır. Çünkü kişi yalnızca hakkında veri işlenen veya karar verilen biri değildir; karara itiraz edebilen hukuki özne olarak korunmalıdır.

KARARIN HUKUKİ MUHATABI OLARAK KORUNMAK

Mevcut hukuk düzenlemeleri ve algoritmik hesap verebilirlik literatürü birlikte değerlendirildiğinde, insan merkezli algoritmik karar modelinin tek bir güvenceye indirgenemeyeceği görülmektedir. Açıklanabilirlik tek başına yeterli değildir. Şeffaflık tek başına yeterli değildir. İnsan müdahalesi de yalnızca sembolik olduğunda yeterli değildir. Bu nedenle hukuki öznenin korunması bir güvence zinciri olarak düşünülmelidir; bilgiye erişim, görüş bildirme, veri ve sınıflandırmayı düzeltme, anlamlı insan müdahalesi, itiraz ve etkili başvurudan oluşan bir koruma kalkanı oluşturulmalıdır. Bu düzenlemenin amacı insanı algoritmanın karşısına yalnızca "kullanıcı", "müşteri" veya "veri sahibi" olarak değil, hukuki özne olarak yeniden yerleştirmektir.

Algoritmik sistem insan hakkında bir değerlendirme üretebilir.Ancak insan bu değerlendirmenin karşısında konuşabilmelidir. Sistem bir kategori oluşturabilir. Ancak kişi kategoriye itiraz edebilmelidir. Algoritma bir olasılık hesaplayabilir. Ancak hukuk insanın tekilliğini olasılığın ötesinde görebilmelidir.

İNSAN ONURU VE ALGORİTMİK İNDİRGEMENİN SINIRI

Algoritmik iktidarın normatif sınırının belirlenmesinde insan onuru merkezi önem taşımaktadır. İnsan onurunun temel düşüncelerinden biri, kişinin salt araç veya nesne olarak değerlendirilmesine karşı korunmasıdır. Dijital toplumda bu düşüncenin yeni bir görünümü, insanın kendisi hakkında üretilen algoritmik temsil ile özdeşleştirilmemesidir.

Bir algoritma birey hakkında yüksek doğruluk oranıyla tahmin üretse dahi tahmin kişinin kendisi değildir. Bir risk skoru insanın kimliği değildir. Bir veri profili insanın iradesi değildir.

Bir korelasyon insanın kaderi değildir. Bu nedenle insan onuru açısından temel normatif sınır şu şekilde kurulabilir: Algoritmik temsil insan hakkında bilgi sağlayabilir; fakat insanın hukuki ve ahlaki özne olarak yerini alamaz. Bu yaklaşım algoritmik sistemlere karşı mutlak bir yasaklama değildir. Aksine insanı sistemin merkezinde tutan bir hukuki kullanım standardıdır.

Çalışmanın kavramsal mimarisinde üç epistemik düzey birbirinden kesin biçimde ayrılmalıdır. Birinci düzey, Agamben'den alınan kuramsal mercektir: çıplak hayat – homo sacer – egemenlik – istisna – dışlanarak içerilme. İkinci düzey, dijital iktidar literatürünün ortaya koyduğu mekanizmalardır: gözetim – verileştirme – profilleme – algoritmik yönetimsellik – sınıflandırma – puanlama – otomatik karar – açıklanamazlık. Üçüncü düzey ise bu çalışmanın kavramsal katkısıdır: algoritmik çıplaklık ve hukuki öznenin incelmesi.

Bu iki kavram arasında da bir ayrım bulunmaktadır; algoritmik çıplaklık, açıklayıcı bir kavram olarak ifadelendirilirken, Hukuki öznenin zayıflaması doğrudan hukuki sonuç yaratmaktadır. Böylece çalışmanın genel kuramsal akışı şu şekilde özetlenebilir; çıplak hayat, eleştirel kuramsal mercek, verileştirme , profilleme , sınıflandırma, algoritmik çıplaklık, Hukuki öznenin zayıflaması sonucunda; insanın, kararın hukuki muhatabı olarak korunması gereği.

SONUÇ

Dijital toplum iktidarın işleyiş biçimlerinde önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. Gözetim artık yalnızca insanı görmek veya davranışını kaydetmekle sınırlı değildir. Büyük veri ve algoritmik analiz yoluyla kişinin davranışları sınıflandırılabilmekte, profillenebilmekte ve gelecekteki davranışları hakkında tahminler üretilebilmektedir. Böylece insan yalnızca görünür değil, aynı zamanda hesaplanabilir bir varlık hâline gelmektedir (Lyon, 2018; Pasquale, 2015; Zuboff, 2019). Bu dönüşüm Agamben'in çıplak hayat kavramının dijital çağ bakımından yeniden düşünülmesini mümkün kılmaktadır. Ancak bu çalışma algoritmik profillemeye maruz kalan bireyi *homo sacer* ile özdeşleştirmemektedir.

Algoritmik profillemeye maruz kalan kişi Agamben'in anlamında homo sacer değildir. Algoritmik karar istisna hâli değildir. Veri profili çıplak hayat değildir. Buna rağmen Agamben'in siyasal ve hukuki niteliklerinden soyulan hayat üzerine geliştirdiği eleştiri, dijital toplumdaki farklı bir indirgeme mekanizmasını görünür kılmaktadır. Bu mekanizma çalışmada algoritmik çıplaklık olarak kavramsallaştırılmıştır.

Algoritmik çıplaklık, insanın hukuki kişiliğini kaybetmesini değil; bağlamından, yaşam öyküsünden, gerekçelerinden ve tekilliğinden soyutlanarak veri noktaları, kategoriler, profiller ve risk skorları üzerinden temsil edilmesini ifade etmektedir. Bu sürecin hukuk bakımından doğurabileceği temel sonuç ise hukuki öznenin incelmesidir. Hukuki öznenin incelmesi; hakların ortadan kalkması değil, hakların etkili kullanımının zorlaşması; hukuki kişiliğin kaybı değil, karar

sürecindeki etkin özne konumunun zayıflaması; hukuk dışına çıkarılma değil, hukukun içinde bulunurken kararın nesnesi hâline gelme riskidir.

Bu nedenle algoritmik iktidarın sınırlandırılması algoritmaların veya yapay zekâ sistemlerinin karar süreçlerinden bütünüyle çıkarılmasını gerektirmemektedir. Asıl mesele insanın algoritmik karar karşısındaki hukuki konumudur. GDPR'ın otomatik karar verme karşısında öngördüğü insan müdahalesi, görüş bildirme ve itiraz güvenceleri; Yapay Zekâ Tüzüğü'nün yüksek riskli sistemler bakımından insan gözetimi yaklaşımı ve Avrupa Konseyi Çerçeve Sözleşmesi'nin insan onuru, bireysel özerklik, etkili başvuru ve usul güvencelerini birlikte ele alan yapısı, insanın algoritmik kararın pasif nesnesi olmaması gerektiği yönündeki normatif yaklaşımı güçlendirmektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2016, art. 22; 2024, art. 14; Council of Europe, 2024, arts. 7, 14–15).

Dijital çağda hukuki öznenin korunması yalnızca biçimsel hakların tanınmasına değil; bilgiye erişme, görüş bildirme, yanlış veriyi ve sınıflandırmayı düzelttirme, anlamlı insan müdahalesi talep etme, algoritmik karara itiraz etme ve etkili hukuki başvuru yollarına erişme kapasitesinin korunmasına bağlıdır.

İnsan algoritmik olarak temsil edilebilir, sınıflandırılabilir ve hesaplanabilir; ancak hiçbir algoritmik temsil, insanın hukuki özne olarak yerini alamaz. Algoritmik iktidarın sınırı, şurada çizilmek zorundadır: İnsan hesaplanabilir; fakat hesabın kendisine indirgenemez.

KAYNAKÇA

Agamben, G. (1998). *Homo sacer: Sovereign power and bare life* (D. Heller-Roazen, Trans.). Stanford University Press.

Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data's disparate impact. *California Law Review, 104*(3), 671–732.

Calo, R. (2014). Digital market manipulation. *George Washington Law Review, 82*, 995–1051.

Citron, D. K., & Pasquale, F. (2014). The scored society: Due process for automated predictions. *Washington Law Review, 89*(1), 1–33.

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press.

Council of Europe. (2024). *Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, Democracy and the Rule of Law* (CETS No. 225).

Edwards, L., & Veale, M. (2017). Slave to the algorithm? Why a "right to an explanation" is probably not the remedy you are looking for. *Duke Law & Technology Review, 16*, 18–84.

European Parliament & Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union, L 119*, 1–88.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union, L 2024/1689*.

Foucault, M. (1977). *Discipline and punish: The birth of the prison* (A. Sheridan, Trans.). Pantheon Books.

Foucault, M. (1978). *The history of sexuality: Volume 1: An introduction* (R. Hurley, Trans.). Pantheon Books.

Kroll, J. A., Huey, J., Barocas, S., Felten, E. W., Reidenberg, J. R., Robinson, D. G., & Yu, H. (2017). Accountable algorithms. *University of Pennsylvania Law Review, 165*(3), 633–705.

Lazcoz, G., & De Hert, P. (2023). Humans in the GDPR and AIA governance of automated and algorithmic systems: Essential pre-requisites against abdicating responsibilities. *Computer Law & Security Review, 50*, 105833. https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105833

Lyon, D. (2003). Surveillance as social sorting: Computer codes and mobile bodies. In D. Lyon (Ed.), *Surveillance as social sorting: Privacy, risk, and digital discrimination* (pp. 13–30). Routledge.

Lyon, D. (2018). *The culture of surveillance: Watching as a way of life*. Polity.

Pasquale, F. (2015). *The black box society: The secret algorithms that control money and information*. Harvard University Press.

Rouvroy, A., & Berns, T. (2013). Gouvernementalité algorithmique et perspectives d'émancipation: Le disparate comme condition d'individuation par la relation? *Réseaux, 177*(1), 163–196. https://doi.org/10.3917/res.177.0163

Selbst, A. D., & Barocas, S. (2018). The intuitive appeal of explainable machines. *Fordham Law Review*, *87*(3), 1085–1139.

Susser, D., Roessler, B., & Nissenbaum, H. (2019). Online manipulation: Hidden influences in a digital world. *Georgetown Law Technology Review*, *4*(1), 1–45.

Wachter, S., Mittelstadt, B., & Floridi, L. (2017). Why a right to explanation of automated decision-making does not exist in the General Data Protection Regulation. *International Data Privacy Law*, *7*(2), 76–99. https://doi.org/10.1093/idpl/ipx005

Yeung, K. (2017). 'Hypernudge': Big Data as a mode of regulation by design. *Information, Communication & Society*, *20*(1), 118–136. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1186713

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

Opera Eğitimi Ekosistemi (Oee): Türkiye'de Yükseköğretimde Opera Eğitimi İçin Bütüncül Analitik Model

Duygu KÜÇÜK

Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi Dilek Sabancı Devlet Konservatuvarı, Opera Anasanat Dalı

duygukucuk@selcuk.edu.tr · ORCID: 0009-0005-6903-2793

(18. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi – ICAR, 3–4 Eylül 2026, Online)

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'de yükseköğretim bünyesinde yürütülen opera eğitimini pedagojik, sanatsal ve yönetsel boyutlarıyla inceleyerek, uygulamalı sanat eğitimine yönelik bütüncül bir değerlendirme çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Nitel bir kavramsal analiz olarak tasarlanan çalışmada, sanat eğitimi felsefesi, deneyim temelli öğrenme, uygulamalı sanat pedagojisi ve yükseköğretimde neoliberal dönüşüm literatürü bütünleştirilerek Türkiye'deki opera eğitiminin mevcut yapısı değerlendirilmiştir. Bulgular, opera eğitiminin yalnızca teknik beceri kazandıran bir öğretim süreci olmadığını; pedagojik bütünlük, sanatsal üretim, kurumsal iş birlikleri, kültürel süreklilik ve mesleki gelişim boyutlarının karşılıklı etkileşimiyle şekillenen karmaşık bir eğitim ekosistemi oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca yükseköğretimde yaygınlaşan performans odaklı değerlendirme anlayışının, uygulamalı sanat eğitiminin deneyimsel ve disiplinlerarası doğasını yeterince yansıtamadığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmada, Opera Eğitimi Ekosistemi (OEE) adı verilen bütüncül bir kavramsal ve analitik model önerilmektedir. OEE, opera eğitimini pedagojik bütünlük, sanatsal üretim ve deneyim, kurumsal ağlar ve iş birlikleri, kültürel süreklilik ve repertuvar dengesi ile mesleki kimlik ve yaşam boyu gelişim olmak üzere beş temel boyut üzerinden açıklamaktadır. Çalışmanın, konservatuvarlarda program geliştirme ve kalite değerlendirme süreçlerine kavramsal bir çerçeve sunması ve gelecekte yürütülecek ampirik araştırmalar için analitik bir temel oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: opera eğitimi; yükseköğretim; sanat eğitimi; uygulamalı sanatlar; neoliberalizm; Opera Eğitimi Ekosistemi (OEE)

ABSTRACT

This study examines opera education conducted within Turkish higher education across its pedagogical, artistic, and managerial dimensions, aiming to develop a holistic evaluation framework for applied arts education. Designed as a qualitative conceptual analysis, the study integrates the literature on art education philosophy, experiential learning, applied arts pedagogy, and the neoliberal transformation of higher education to evaluate the current structure of opera education in Turkey. The findings indicate that opera education cannot be treated merely as a process that develops technical skills; rather, it constitutes a complex educational ecosystem shaped by the interaction of pedagogical integrity, artistic production, institutional collaboration, cultural continuity, and professional development. The study further finds that the performance-oriented evaluation approach increasingly common in higher education fails to adequately capture the experiential and interdisciplinary nature of applied arts education. Accordingly, the study proposes a holistic conceptual and analytical model called the Opera Education Ecosystem (OEE), which explains opera education through five core dimensions: pedagogical integrity, artistic production and experience, institutional networks and collaboration, cultural continuity and repertoire balance, and professional identity and lifelong development. The study is expected to offer a conceptual framework for curriculum development and quality assessment in conservatories and an analytical foundation for future empirical research.

Keywords: opera education; higher education; art education; applied arts; neoliberalism; Opera Education Ecosystem (OEE)

1. GİRİŞ

Yükseköğretim kurumları, bilgi üretme, kültürel mirası aktarma ve nitelikli insan gücü yetiştirme işlevlerinin yanı sıra toplumsal dönüşümün önemli aktörlerinden biri olarak kabul edilir. Son kırk yılda yükseköğretim sistemlerinde yaşanan yapısal değişimler, üniversitelerin yalnızca örgütsel yapısını değil, eğitimin amacı, akademik başarı ve bilgi üretimi kavramlarını da yeniden tanımlamıştır. Neoliberal politikaların hedeflediği şekilde performans odaklılık, hesap verebilirlik, uluslararası sıralamalar, kalite güvence sistemleri ve ölçülebilir çıktılar günümüzde yükseköğretim politikalarının temel bileşenleri hâline gelmiştir. Bu çalışmanın

merkezinde uygulamalı sanat alanlarında eğitimin değişen niteliğinin nasıl değerlendirileceğine ilişkin görüşler ele alınmıştır.

Bu tartışmaların en belirgin biçimde hissedildiği alanlardan biri opera eğitimidir. Opera eğitimi; müzik, tiyatro, dramaturji, beden kullanımı, yabancı dil ve sahne estetiğini bütünleştiren disiplinlerarası bir öğrenme alanıdır. Öğrenme süreci büyük ölçüde deneyim, sanatsal üretim, uzun dönemli bireysel gelişim ve kolektif çalışma üzerine kuruludur. Buna rağmen Türkiye'de opera eğitimi üzerine yapılan akademik çalışmaların önemli bir bölümü şan pedagojisi, ses eğitimi, repertuvar, teknik gelişim veya konservatuvar tarihi gibi belirli konulara odaklanmaktadır; opera eğitimini sanat eğitimi felsefesi ve yükseköğretim politikaları bağlamında bütüncül olarak ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu doğrultuda çalışma şu sorulara odaklanmaktadır: (i) Opera eğitiminin pedagojik doğasını diğer yükseköğretim programlarından ayıran temel özellikler nelerdir? (ii) Sanat eğitimi felsefesi, opera eğitiminin amaç ve işlevlerini nasıl açıklamaktadır? (iii) Performans odaklı yükseköğretim politikaları ile opera eğitiminin pedagojik yapısı arasında hangi gerilimler ortaya çıkmaktadır? (iv) Türkiye'de opera eğitimini açıklayabilecek bütüncül bir kuramsal model nasıl geliştirilebilir? Bu sorular doğrultusunda çalışma önce opera eğitiminin pedagojik özelliklerini, ardından sanat eğitimi felsefesi ve neoliberal yükseköğretim politikalarının yansımalarını tartışmakta; son bölümde Opera Eğitimi Ekosistemi (OEE) adlı kavramsal model önerilmektedir.

2. OPERA EĞİTİMİNİN PEDAGOJİK DOĞASI: DENEYİM, SANATSAL ÜRETİM VE BEDENLEŞMİŞ ÖĞRENME

Opera eğitimi, yükseköğretimde yürütülen uygulamalı sanat eğitiminin en karmaşık örneklerinden biridir; çünkü opera sanatı yalnızca müzikal performansa değil, dramatik anlatıya, bedensel ifadeye, dil kullanımına ve sahne estetiğine dayanan çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Yükseköğretimde birçok disiplin kuramsal bilgi ile uygulama arasında belirli bir ayrım üzerine kuruluyken, opera eğitiminde bilgi büyük ölçüde uygulamanın içinde üretilmektedir; şan tekniği, dramaturjik çözümleme, oyunculuk, hareket, yabancı dil ve müzikal yorum sahne üzerinde anlam kazanan ve birbirini sürekli dönüştüren süreçlerdir.

Bu bütünleşik yapı, Dewey'in (1934) estetik deneyim anlayışı ve Schön'ün (1983) "eylem içinde düşünme" (reflection-in-action) yaklaşımıyla açıklanabilir: opera sanatçısı, prova sürecinde karşılaştığı yorum sorunlarını hazır reçetelerle değil, sürekli düşünme, deneme ve yeniden değerlendirme süreçleri içinde biçimlendirmektedir. Eisner (2002), sanat eğitiminin değerinin standart başarı ölçütleriyle değerlendirilemeyeceğini; sanatın bireylere belirsizlik içinde karar verebilme ve estetik yargı oluşturabilme becerisi kazandırdığını savunur. Elliott'un (1995) praxial müzik eğitimi yaklaşımı da müziksel bilginin performans, dinleme ve doğaçlama içinde geliştiğini; Wenger'in (1998) "uygulama toplulukları" kuramı ise öğrenmenin bireysel bilgi edinmeden çok sosyal katılım süreci olduğunu göstermektedir — konservatuvar eğitimi, korrepetisyon çalışmaları, toplu provalar ve prodüksiyon süreçleriyle öğrenciyi mesleki topluluğun doğal bir parçası hâline getirir.

Opera eğitiminin çok katmanlı yapısı, bedenleşmiş öğrenme (embodied learning) kavramı çerçevesinde de değerlendirilebilir (Barsalou, 2008; Shapiro, 2019); beden yalnızca ses üretiminin fizyolojik aracı değil, nefes kontrolü, dramatik ifade, karakter inşası ve sahne iletişiminin bütünleştiği temel öğrenme ortamıdır (Miller, 1986; Juntunen & Hyvönen, 2004). Sonuç olarak opera eğitimi; deneyim temelli öğrenme, estetik muhakeme, disiplinlerarası etkileşim ve kolektif sanatsal üretimin bütünleştiği özgün bir pedagojik yapıya sahiptir ve niteliği yalnızca teknik beceri gelişimi üzerinden değerlendirilemez.

3. SANAT EĞİTİMİ FELSEFESİ BAĞLAMINDA OPERA EĞİTİMİ: ESTETİK DENEYİM, ÖZGÜRLEŞME VE SANATÇI KİMLİĞİNİN İNŞASI

Dewey'in (1934) estetik deneyim anlayışına göre sanat, gündelik yaşamdan kopuk ayrıcalıklı bir etkinlik değil, bireyin deneyimlerini bütünleştirerek anlamlandırdığı bir yaşantı biçimidir; opera öğrencisi bir rolü yalnızca teknik açıdan çalışmaz, karakterin psikolojik yapısını ve eserin tarihsel bağlamını deneyimleyerek öğrenir. Bu yaklaşım Greene'in (1995) sanat eğitimi anlayışıyla genişler: estetik deneyim, bireyi dünyayla eleştirel ilişki kurabilen etkin bir özneye dönüştürür. Freire'nin (1970) eleştirel pedagoji yaklaşımı ise opera öğrencisinin yalnızca geleneksel yorum kalıplarını tekrar etmemesi, eserleri tarihsel ve kültürel bağlamları içinde sorgulayabilmesi gerektiğini vurgular.

Nussbaum'un (2010) yaklaşımı, opera eğitiminin toplumsal işlevini açıklar: yükseköğretim yalnızca ekonomik sistemin ihtiyaç duyduğu insan kaynağını değil, eleştirel düşünme, empati ve kültürlerarası anlayış geliştirme sorumluluğunu da taşır; opera repertuvarı farklı dönemlerin toplumsal değerlerini sahne üzerinde yeniden üreterek bu işlevi güçlü biçimde yerine getirir. Bu kuramsal yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, sanat eğitiminin amacının yalnızca meslek kazandırmak olmadığı; bireyin estetik duyarlılığını, hayal gücünü ve etik sorgulama kapasitesini geliştiren bütüncül bir eğitim anlayışını temsil ettiği görülür. Opera eğitiminin temel çıktılarından biri de sanatçı kimliğinin oluşumudur; bu kimlik, estetik değerlerin, etik sorumlulukların ve mesleki aidiyet duygusunun uzun yıllar içinde gelişmesiyle oluşur. Ancak bu felsefi amaçlar ile günümüz yükseköğretim sistemlerinin kısa vadeli, nicel performans göstergelerine dayalı öncelikleri arasında giderek belirginleşen bir gerilim bulunmaktadır.

4. TÜRKİYE'DE OPERA EĞİTİMİ VE YÜKSEKÖĞRETİMİN NEOLİBERAL DÖNÜŞÜMÜ

1980'li yıllardan itibaren etkisini artıran neoliberalizm, üniversiteleri toplumsal ve kültürel sorumlulukları bulunan kamusal kurumlar olmaktan ziyade rekabet eden, verimlilik esasına göre yönetilen ve çıktıları ölçülebilen örgütler olarak yeniden tanımlamıştır (Olssen & Peters, 2005). Eleştirel yükseköğretim literatürü, bu dönüşümün üniversitelerin bilgi üretme ve kültürel yaşamı zenginleştirme gibi kamusal işlevlerini ikinci plana ittiğini ileri sürmektedir (Giroux, 2014; Nussbaum, 2010; Brown, 2015). Bu dönüşüm, çıktıları kısa vadede ölçülemeyen, estetik deneyim üzerine kurulu uygulamalı sanat alanlarında özellikle önemli gerilimler doğurmaktadır.

Opera eğitiminde öğrencinin gelişimi tek bir performans sınavıyla açıklanamaz; öğretim elemanının katkısı da yalnızca akademik yayınlarla sınırlı değildir. Aylar süren rol hazırlıkları, korrepetisyon çalışmaları, sahne provaları ve prodüksiyon süreçleri, akademik emeğin görünürlüğü sınırlı fakat önemli bileşenleridir. Readings (1996), çağdaş üniversitelerde "mükemmeliyet" söyleminin içeriği belirsiz ancak yönetsel açıdan işlevsel bir kavram olarak kullanıldığını belirtirken; Barnett (2011) ve Deem, Hillyard & Reed (2007) yönetsel karar alma süreçlerinin performans ölçümü ve hesap verebilirlik uygulamaları etrafında yeniden şekillendiğini göstermektedir. Bu gerilimin temel niteliği ekonomik olmaktan çok epistemolojiktir: farklı disiplinlerin bilgi

üretme biçimleri aynı değerlendirme mantığıyla ele alınmaktadır; opera eğitiminde üretilen bilgi büyük ölçüde performansın ve sanatsal deneyimin içinde şekillenmektedir.

Türkiye'deki konservatuvarlar açısından da benzer bir durum söz konusudur; öğretim elemanlarının zamanının önemli bir bölümü bireysel dersler, repertuvar hazırlıkları ve sahne provalarına ayrılmakta, ancak bu faaliyetler kurumsal performans göstergelerinde sınırlı biçimde görünür olmaktadır (Altınkurt, 2005; Ürük, İpek, Kamacıoğlu, Uzgören & Çağlar, 2021). Burada vurgulanması gereken nokta, performans değerlendirme sistemlerinin bütünüyle reddedilmesi değil; hesap verebilirliğin uygulamalı sanat eğitiminin doğasına uygun biçimde yeniden tanımlanmasıdır. Sanatsal öğrenmenin niteliği, öğrencinin sahne deneyimi, üretim süreçlerine katılımı, yorumlama becerisi ve mesleki kimlik oluşumu gibi alana özgü göstergelerle birlikte değerlendirilmelidir.

5. TÜRKİYE'DE OPERA EĞİTİMİNİN EKOSİSTEMİ: BÜTÜNCÜL BİR ANALİTİK MODEL ÖNERİSİ

Bu çalışmada, opera eğitimini doğrusal bir öğretim programı olarak değil, pedagojik, sanatsal, kurumsal, kültürel ve mesleki bileşenlerin karşılıklı etkileşimiyle işleyen bütünleşik bir öğrenme sistemi olarak tanımlayan Opera Eğitimi Ekosistemi (OEE) modeli önerilmektedir. Modelin temel varsayımı, eğitimin niteliğinin tek tek bileşenlerin varlığından değil, bu bileşenler arasındaki ilişkinin sürekliliği ve dengesinden oluştuğudur. OEE beş temel boyuttan oluşmaktadır:

Pedagojik Bütünlük: Şan, korrepetisyon, dramaturji, yabancı dil, fonetik, oyunculuk, beden kullanımı, müzik tarihi ve repertuvar çalışmalarının birbirini tamamladığı disiplinlerarası bütünlük; başarı, derslerin sayısından çok aralarındaki entegrasyon düzeyiyle ilişkilidir.

Sanatsal Üretim ve Deneyim: Öğrenme ortamı yalnızca sınıf değildir; prova salonları, konserler, atölyeler ve opera prodüksiyonları öğrenmenin gerçekleştiği temel pedagojik zemindir.

Kurumsal Ağlar ve İş Birliği: Devlet Opera ve Balesi, belediye sanat kurumları, festivaller, bağımsız opera toplulukları ve uluslararası değişim programları öğrencilerin mesleki gelişiminde önemli rol oynar.

Kültürel Süreklilik ve Repertuvar Dengesi: Öğrencilerin uluslararası repertuvar kadar Türk opera repertuvarını da tanıması, farklı dönemlerin estetik anlayışlarını karşılaştırabilmesi ve çağdaş opera üretimini takip edebilmesi gerekmektedir.

Mesleki Kimlik ve Yaşam Boyu Gelişim: Opera sanatçılığı diploma ile tamamlanan bir meslek değildir; seçmelere hazırlık, kariyer planlaması, uluslararası hareketlilik ve mezun izleme sistemleri de eğitimin ayrılmaz parçalarıdır.

OEE, bu beş boyutu karşılaştırmalı olarak inceleyebilecek analitik bir çerçeve de sunmaktadır (Tablo 1). Bu yaklaşım, standart performans değerlendirme sistemlerine alternatif geliştirmeyi değil, bu sistemleri uygulamalı sanat eğitiminin özgün gereksinimleri doğrultusunda tamamlamayı; hesap verebilirlik ile sanatsal özgünlük arasında denge kurabilecek yeni bir değerlendirme perspektifi önermeyi amaçlamaktadır.

Tablo 1. OEE Analitik Çerçevesi

Boyut	Temel Soru	Örnek Göstergeler
Pedagojik bütünlük	Dersler birbirini tamamlıyor mu?	Şan, korrepetisyon, oyunculuk entegrasyonu; disiplinlerarası planlama
Sanatsal üretim	Öğrenci sahnede ne kadar öğreniyor?	Yıllık prodüksiyon sayısı ve çeşitliliği, konserler, rol deneyimi, atölye çalışmaları
Kurumsal ağlar	Eğitim ile meslek arasında güçlü bağlar var mı?	DOB iş birlikleri, festival katılımı, ulusal/uluslararası değişim programları ve projeler
Kültürel süreklilik	Repertuvar dengeli ve güncel mi?	Türk operaları, çağdaş eserler, klasik repertuvar
Mesleki gelişim	Mezuniyetten sonra destek sürüyor mu?	Seçme hazırlığı, kariyer danışmanlığı, mezunlar ağı

6. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'de opera eğitiminin karşı karşıya bulunduğu temel sorunun yalnızca bireysel, pedagojik ya da kurumsal eksikliklerden kaynaklanmadığını; asıl sorunun, opera eğitiminin çok katmanlı yapısını

açıklayabilecek bütüncül bir değerlendirme çerçevesinin henüz geliştirilememiş olduğunu ileri sürmektedir. Pedagojik süreçler, sanatsal üretim, kurumsal iş birlikleri, kültürel aktarım ve mesleki gelişim birbirinden bağımsız değişkenler değil, karşılıklı etkileşim içinde çalışan bir sistemin parçalarıdır. Önerilen Opera Eğitimi Ekosistemi (OEE) modeli, bu bütüncül bakışı somutlaştırarak konservatuvarlarda program geliştirme ve kalite değerlendirme süreçlerine kavramsal bir çerçeve sunmakta; müfredat değişiklikleri, fiziksel altyapı yatırımları ve akademik performans ölçütlerinin tek başına değil, ekosistemin beş bileşeni birbirini destekleyecek biçimde yeniden düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Çalışmanın kavramsal niteliği, gelecekte OEE boyutlarını farklı konservatuvarlarda karşılaştırmalı olarak sınayacak ampirik araştırmalara da bir temel oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

Altınkurt, L. (2005). Türkiye'de sanat eğitiminin gelişimi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 12, 125–136.

Barnett, R. (2011). Being a university. London, England: Routledge.

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. Annual Review of Psychology, 59, 617–645.

Brown, W. (2015). Undoing the demos: Neoliberalism's stealth revolution. New York, NY: Zone Books.

Deem, R., Hillyard, S., & Reed, M. (2007). Knowledge, higher education, and the new managerialism: The changing management of UK universities. Oxford, England: Oxford University Press.

Dewey, J. (1934). Art as experience. New York, NY: Minton, Balch & Company.

Eisner, E. W. (2002). The arts and the creation of mind. New Haven, CT: Yale University Press.

Elliott, D. J. (1995). Music matters: A new philosophy of music education. New York, NY: Oxford University Press.

Freire, P. (1970). Pedagogy of the oppressed. New York, NY: Continuum.

Giroux, H. A. (2014). Neoliberalism's war on higher education. Chicago, IL: Haymarket Books.

Greene, M. (1995). Releasing the imagination: Essays on education, the arts, and social change. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Juntunen, M. L., & Hyvönen, L. (2004). Embodiment in musical knowing: How body movement facilitates learning within Dalcroze eurhythmics. British Journal of Music Education, 21(2), 199–214.

Miller, R. (1986). The structure of singing: System and art in vocal technique. New York, NY: Schirmer Books.

Nussbaum, M. C. (2010). Not for profit: Why democracy needs the humanities. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Olssen, M., & Peters, M. A. (2005). Neoliberalism, higher education and the knowledge economy: From the free market to knowledge capitalism. Journal of Education Policy, 20(3), 313–345.

Readings, B. (1996). The university in ruins. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Schön, D. A. (1983). The reflective practitioner: How professionals think in action. New York, NY: Basic Books.

Shapiro, L. (2019). Embodied cognition (2nd ed.). London, England: Routledge.

Shore, C., & Wright, S. (2015). Governing by numbers: Audit culture, rankings and the new world order. Social Anthropology, 23(1), 22–28.

Ürük, Z. F., İpek, B., Kamacıoğlu, B., Uzgören, G., & Çağlar, S. (2021). Türkiye'de yükseköğretim kurumlarında sanat ve tasarım eğitimi ve geleceği. ART/icle: Sanat ve Tasarım Dergisi, 1(2), 215–248.

Wenger, E. (1998). Communities of practice: Learning, meaning, and identity. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Türkiye Ortaokul Fen Bilimleri Öğretim Programı ve Ders Kitaplarının Yeşil Kimyanın 12 İlkesi Açısından İncelenmesi

Saliha Nur NAYAN [1], Sevgül ÇALIŞ [2]

[1]E-mail: 802551020@ogr.uludag.edu.tr ; Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İl / Türkiye.

[2]E-mail: scalis@uludag.edu.tr ; Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Bursa/ Türkiye.

Özet

Bu araştırma, Yeşil Kimya yaklaşımının Türkiye'deki ortaokul (5–8. sınıf) Fen Bilimleri öğretim programlarına (2018 Fen Bilimleri Öğretim Programı ve 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli) ve ilgili ders kitaplarına nasıl yansıtıldığını incelemeyi amaçlamaktadır. Nitel doküman incelemesi deseninin kullanıldığı çalışmada veriler, Anastas ve Warner'ın 12 ilkesi temelinde içerik analiziyle çözümlenmiştir. Araştırma bulguları, içeriklerin ağırlıklı olarak Atık Önleme, Yenilenebilir Hammadde Kullanımı, Biyobozunma Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Analiz ilkeleriyle sınırlı kaldığını göstermektedir. Müfredatta önleyici (proaktif) felsefeden ziyade geri dönüşüm odaklı reaktif bir anlayışın öne çıktığı; güvenli kimyasal tasarımı, enerji verimliliği ve kataliz gibi teknik ilkelerin eksik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Yeşil Kimya vurgusu üst sınıflara doğru belirgin biçimde azalmaktadır. Sonuç olarak, çevresel sorunların nedenlerine odaklanan Yeşil Kimya ilkelerinin öğretim programına dikey ve sarmal bir yapıyla entegre edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ders Kitapları, Doküman İncelemesi, Fen Bilimleri Öğretim Programı, Ortaokul Eğitimi, Sürdürülebilir Kalkınma, Yeşil Kimya.

Abstract

This study examines how the Green Chemistry approach is reflected in middle school (grades 5–8) Science curricula in Türkiye (the 2018 Science Curriculum and the 2024 Century of Turkey Education Model) and the corresponding textbooks. Employing a qualitative document analysis design, the study analyzed the data through content analysis based on the 12 principles established by Anastas and Warner. The findings indicate that the content is predominantly limited to the principles of Waste Prevention, Use of Renewable Feedstocks, Design for Degradation, and Real-time Analysis.

It was determined that a reactive approach focused on recycling prevails in the curriculum rather than a proactive philosophy, and that technical principles such as inherently safer chemical design, energy

efficiency, and catalysis are absent. Furthermore, the emphasis on Green Chemistry diminishes significantly as the grade level increases. In conclusion, it is recommended that Green Chemistry principles—which address the root causes of environmental problems—be integrated into the curriculum using a vertical and spiral structure.

Keywords: Textbooks, Document Review, Science Curriculum, Middle School Education, Sustainable Development, Green Chemistry.

GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği, iklim krizi ve doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi küresel ölçekli sorunlar, geleneksel kimya anlayışının "yeşil" bir perspektifle yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Geleneksel yaklaşımlar genellikle kirlilik oluştuktan sonra onu temizlemeye veya geri dönüştürmeye (reaktif) odaklanırken; 1990'lı yılların başında Paul Anastas ve John Warner tarafından sistematize edilen Yeşil Kimya (Sürdürülebilir Kimya), kirliliği henüz tasarım aşamasındayken kaynağında önlemeyi (proaktif) hedefleyen bir paradigma değişimini temsil eder. Anastas ve Warner tarafından 1998'de yayımlanan 'Yeşil Kimya: Teori ve Uygulama' kitabı, kimyasal süreçlerde sürdürülebilir tasarımın önemini tartışan temel metin olarak kabul edilir (de Souza ve ark., 2024). Geleneksel anlayışın 'kirlilik oluştuğunda seyreltme/temizleme' mantığının aksine, bu yaklaşım tehlikeli maddelerin kullanımını ve oluşumunu tasarım aşamasında ortadan kaldırmayı hedefler (Zuin ve ark., 2021). Yeşil Kimya'nın 12 temel ilkesi; atık önlemeden atom ekonomisine, yenilenebilir hammadde kullanımından enerji verimliliğine kadar uzanan geniş bir çerçevede sürdürülebilir bir gelecek için bilimsel bir anayasa sunmaktadır. Sürdürülebilir Kimya; kirliliğin azaltılması, karlılık ve sosyal sorumluluğa odaklanan kimyasal endüstriyel süreçleri ele alırken; Yeşil Kimya, atıkları en aza indirerek çevreye daha az toksik maddeler üreten yenilikler arar (de Souza ve ark., 2024).

Sürdürülebilir bir toplumun inşasında bu dönüşümün temelleri, bireylerin çevresel tutumlarının kalıcı hale geldiği ve temel bilimsel kavramların şekillendiği okul sıralarında atılmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma kavramının Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde eğitim programlarında yer bulmasıyla ilgili en somut gelişme, 2018 yılında yenilenen İlköğretim Fen Bilgisi Öğretim Programı'dır (Karagölge ve ark., 2020). Yeşil kimya konusu farklı öğretim kademelerinde programlara dahil edilmelidir (Çakmak ve ark., 2012). Özellikle ortaokul düzeyi (5-8. sınıf), öğrencilerin madde,

değişim ve çevre arasındaki ilişkiyi anlamlandırmaya başladığı kritik bir gelişim dönemidir. Sürdürülebilirlik eğitiminin etkili olabilmesi için sadece bilgi aktarımının ötesine geçerek davranış ve tutumları aktif olarak şekillendirmesi gerekir (Basheer ve ark., 2025).

Ancak mevcut literatür incelendiğinde, çevre eğitiminin sıklıkla "çöp toplama" veya "geri dönüşüm" gibi yüzeysel uygulamalarla sınırlı kaldığı; kimyanın modern ve önleyici ilkelerinin eğitim programlarına entegrasyonunda eksiklikler olduğu görülmektedir. Yeşil Kimya eğitimine yönelik küresel eğilime rağmen, akademik yazında bu konunun ortaokul düzeyindeki yansımalarına dair ciddi bir boşluk bulunmaktadır. Yeşil kimyada eğitim ve araştırma, son yıllarda giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir (Clapson ve ark., 2025). Web of Science (WoS) veri tabanı üzerinden yapılan taramalar, dünya genelinde Yeşil Kimya üzerine yazılan 39.533 makalenin sadece 818'inin eğitim odaklı olduğunu; Türkiye örnekleminde ise bu sayının yalnızca 3 makale ile sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Türkiye'de öğretmenlerin yeşil ve sürdürülebilirlik eğitimi hakkındaki görüşlerine ilişkin sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Akaygun ve ark., 2025). Bu istatistiksel veri, konunun güncelliğine karşın ulusal literatürde henüz yeterince yer bulamadığını ve doldurulması gereken özgün bir alan olduğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışma, hem güncel müfredat değişikliğini (Maarif Modeli) kapsaması hem de ortaokul düzeyindeki boşluğu doldurması bakımından özgün bir değer taşımaktadır. Türkiye'de son dönemde hayata geçirilen Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (5. ve 6. sınıflar) ile mevcut 2018 Fen Bilimleri Öğretim Programı'nın (7. ve 8. sınıflar) Yeşil Kimya prensipleri açısından karşılaştırmalı bir analizi, eğitim sistemimizin sürdürülebilirlik hedefleriyle ne derece örtüştüğünü anlamak bakımından stratejik bir öneme sahiptir.

Bu çalışma; ortaokul Fen Bilimleri dersi öğretim programı ve ders kitaplarını Paul Anastas ve John Warner'ın 12 ilkesi temelinde inceleyerek, mevcut kazanımların "atık önleme" odaklı modern bilimsel standartlara uygunluğunu sorgulamayı amaçlamaktadır. Çalışmadan elde edilecek bulguların, gelecekteki müfredat geliştirme süreçlerine rehberlik etmesi ve fen eğitimi literatürüne bütüncül bir bakış açısı kazandırması beklenmektedir.

Kavramsal Çerçeve

Yeşil Kimya (Sürdürülebilir Kimya), kimyasal ürünlerin ve üretme süreçlerinin tasarımı aşamasında tehlikeli maddelerin kullanımını ve oluşumunu azaltmayı veya tamamen ortadan kaldırmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu çalışmanın teorik temelini, Paul Anastas ve John Warner tarafından ortaya konulan "Yeşil Kimyanın 12 Prensibi"

oluşturmaktadır. Yeşil Kimyanın 12 İlkesi; sağlık tehlikesi, ekolojik risk ve kaynak verimliliği gibi konuları ele alan, daha yeşil kimyasalları veya süreçleri tanımlamak için kapsamlı bir çerçevedir (Widyantoro vd., 2025). Bu prensipler şu başlıklar altında toplanır:

Atık Önleme: Atık oluşumunu engellemek, oluştuktan sonra temizlemekten daha sağlıklı bir seçenektir.

Atom Ekonomisi: Tasarlanan üründe, süreçte kullanılan tüm maddelerin maksimum düzeyde yer almasını sağlamaktır. Bir kimyasal reaksiyonda hammadde kullanımını maksimize etmeye odaklanır.

Daha Az Tehlikeli Kimyasal Sentezi: İnsan sağlığına ve çevreye az zarar veren yöntemler seçmektir. Çevre dostu sentez yollarının geliştirilmesi, son on yılda artmıştır.

Güvenli Kimyasalların Tasarımı: İşlevini yerine getirirken toksisitesi en az olan ürünler tasarlamaktır. Toksisite, patlayıcılık veya yanıcılık gibi fiziksel ve kimyasal tüm tehlikeler ve süreçlerinin tasarımı ele alınmalıdır.

Güvenli Çözücü ve Yardımcı Maddeler: Mümkünse yardımcı madde kullanmamak veya en zararsız olanı seçmektir. Çözücüler, ayrıcı maddeler veya diğer yardımcı kimyasallardan kaçınılmalıdır. Bu kimyasallar kullanılmak zorunda olursa en güvenli olanlar seçilmelidir.

Enerji Verimliliği: Enerji gereksinimlerini en aza indirmek ve süreçleri oda sıcaklığında yürütmektir.

Yenilenebilir Hammadde Kullanımı: Teknik ve ekonomik olarak mümkünse geri dönüştürülebilir kaynaklar kullanmaktır. Tükenebilir değil, yenilenebilir başlangıç malzemeleri kullanılmalıdır. Yenilenebilir hammaddelerin kaynağı genellikle tarım ürünleri veya diğer süreçlerin atıklarıdır.

Kimyasal türevleri Azaltmak: Gereksiz türetilme işlemleri, blokaj grupları, fiziksel/kimyasal süreçlerin geçici değişiklikleri, koruma/çıkarma gibi adımlar mümkünse azaltılmalı veya kaçınılmalıdır.

Kataliz: Bilindiği gibi, birçok durumda atık oluşumu, geleneksel olarak stokiyometrik miktarda reaktanın kullanımına bağlıdır. Katalitik reaktanlar stokiyometrik reaktanlara üstündür. Çevre koruma açısından, kataliz ilkesi biyobozunur katalizatörlerin kullanımını teşvik eder. Bu da daha az enerji kullanımını, organoklorin bileşiklerin kullanımından kaçınılmasını ve daha az atık su ve enerji kullanımını gösterir.

Biyobozunma Tasarımı: Kimyasal ürünler, çevreye herhangi bir tehlike oluşturmadan zararsız bozunma ürünlerine dönüştürülecek şekilde tasarlanmalıdır.

Kirliliği Önlemek İçin Gerçek Zamanlı Analiz: Yan ürün oluşumunu en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için sentezler sırasında süreç içinde, gerçek zamanlı izleme ve kontrol yapmaktır.

Kaza Önleme İçin Güvenli Kimya: Kimyasalları ve fiziksel formlarını (katı, sıvı veya gaz) patlamalar, yangınlar ve çevreye salınımlar dahil kimyasal kazaların potansiyelini en aza en indirerek tasarım oluşturmaktır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman incelemesi deseninden faydalanılmıştır. Doküman incelemesi, araştırılması hedeflenen olgu veya olgular hakkında bilgi içeren yazılı materyallerin analiz edilmesini kapsayan sistematik bir süreçtir (Yıldırım & Şimşek, 2013). Araştırma kapsamında, ortaokul Fen Bilimleri dersi öğretim programı ve ders kitapları; Yeşil Kimya'nın 12 temel ilkesi referans alınarak sistematik bir analize tabi tutulmuştur. Bu desen, müfredatın mevcut içeriğini ve kazanımların modern sürdürülebilir kimya anlayışıyla ne ölçüde örtüştüğünü anlamaya olanak sağlamıştır. Araştırmanın evrenini, Türkiye'deki ortaöğretim düzeyinde uygulanan tüm fen bilimleri öğretim programları oluşturmaktadır. Örneklem belirleme aşamasında ise "amaçlı örnekleme" yöntemi tercih edilmiştir. Bu bağlamda, kimya konularının ağırlıklı olduğu ve yeşil kimya prensiplerinin doğrudan işlendiği 5, 6, 7 ve 8. sınıf düzeyindeki üniteler araştırmanın çalışma grubunu oluşturmaktadır.

Veri kaynakları

Sınıf Düzeyi	İncelenen Öğretim Programı	Temel Analiz Birimi (Üniteler)	Veri Kaynağı (Ders Kitabı)
5. Sınıf	Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (2024)	Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm	MEB Yayınları, 5. Sınıf Fen Bilimleri 1. ve 2. Ders Kitabı (2024)
6. Sınıf	Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (2024)	Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim	MEB Yayınları, 6. Sınıf Fen Bilimleri 1. ve 2. Ders Kitabı (2025)
7. Sınıf	Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (2018)	Saf Madde ve Karışımlar	Ferman Yayıncılık, 7. Sınıf Fen Bilimleri Ders Kitabı (2022)
8. Sınıf	Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (2018)	Madde ve Endüstri	Hece Yayıncılık, 8. Sınıf Fen Bilimleri Ders Kitabı (2023)

Araştırmanın verileri, yapılan kıyaslamalar 2025-2026 eğitim-öğretim yılında ortaokullarda okutulmak üzere onaylanan Fen Bilimleri ders kitaplarından alınmıştır.

Ayrıca, analizlerin kapsamını genişletmek amacıyla Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı tarafından yayımlanan güncel **Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı** (2018/2024) (7. ve 8. sınıf) ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programı (5. ve 6. sınıf) incelenmiştir.

Elde edilen verilerin çözümlenmesinde içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Analiz sürecinde, Paul Anastas ve John Warner tarafından literatüre kazandırılan "Yeşil Kimyanın 12 Prensibi" temel analiz kategorileri (kodlar) olarak belirlenmiştir. Müfredatta yer alan her bir kazanım ve ünite içeriği bu 12 prensip ile karşılaştırılmış; hangi sınıf düzeyinde hangi prensibin ne yoğunlukta temsil edildiği betimsel bir yaklaşımla raporlanmıştır. Araştırmanın güvenirlik analizleri kapsamında, veriler iki araştırmacı tarafından bağımsız olarak kodlanmış, ayrıca analizlerin niteliğini doğrulamak amacıyla bir alan uzmanının görüşüne başvurulmuştur. Kodlayıcılar ve uzman arasındaki tutarlılık Miles

ve Huberman (1994) formülü ile hesaplanmış ve görüşler arasında %90 oranında bir görüş birliği (uzlaşı) sağlandığı saptanmıştır.

Kategori Belirleme: Yeşil Kimya'nın 12 ilkesi analiz kriterleri olarak seçildi. **Birim Belirleme:** Müfredattaki kazanımlar, metinler ve etkinlikler inceleme birimi olarak kabul edildi. **Kodlama ve Eşleştirme:** Hangi konunun hangi ilkeye hizmet ettiği tablolaştırıldı.

Sayıltılar (Varsayımlar)

İncelenen 2018 Fen Bilimleri Öğretim Programı, 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ve seçilen ders kitaplarının mevcut durumu doğru şekilde yansıttığı kabul edilmiştir.

Anastas ve Warner'ın "Yeşil Kimyanın 12 İlkesi"nin müfredattaki sürdürülebilirlik boyutunu incelemede geçerli bir çerçeve sunduğu varsayılmıştır.

Bağımsız araştırmacıların veri analizi ve %90 oranındaki kodlayıcılar arası uzlaşının objektif sonuçlar verdiği kabul edilmiştir.

Sınırlılıklar

Araştırma nitel doküman incelemesi ile sınırlı olup sınıf içi uygulama veya paydaş görüşlerini kapsamamaktadır.

Çalışma, 5, 6, 7 ve 8. sınıf düzeylerinde belirlenen 4 ünite (*Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm, Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim, Saf Madde ve Karışımlar, Madde ve Endüstri*) ve ilgili ders kitaplarıyla kısıtlıdır.

Müfredat kazanımları ve etkinlikler yalnızca Yeşil Kimya'nın 12 temel prensibi çerçevesinde değerlendirilmiştir.

BULGULAR

Bu bölümde, ortaokul Fen Bilimleri dersi öğretim programı ve ders kitaplarının Yeşil Kimya'nın 12 ilkesiyle ne ölçüde örtüştüğüne dair veriler sunulmuştur.

Araştırma verileri, Türkiye'de halihazırda uygulanan iki farklı öğretim programı arasında Yeşil Kimya ilkelerinin temsili açısından bir farklılaşma olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında hazırlanan 5. ve 6. sınıf düzeylerinde Yeşil Kimya ile ilişkili etkinliklerin yoğunluğu, 2018 programına tabi olan 7. ve 8. sınıflara göre anlamlı düzeyde yüksektir. Yapılan içerik analizi sonucunda, 5, 6, 7 ve 8. sınıf düzeyindeki öğrenme çıktılarının (kazanımların) Yeşil Kimya ilkeleriyle sınırlı düzeyde eşleştiği görülmüştür.

5. Sınıf düzeyinde "Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm" ünitesindeki 3 kazanım; Atık Önleme (Prensip 1), Yenilenebilir Hammadde Kullanımı (Prensip 7) ve Kirliliği Önlemek İçin Gerçek Zamanlı Analiz (Prensip 11) ile ilişkilidir. Özellikle 5. sınıf düzeyinde toplam 6 etkinliğin 5'inin Yeşil Kimya prensipleriyle doğrudan ilişkili olması, bu sınıf düzeyini en yüksek ilgi oranına sahip kademe yapmaktadır. Bu durum, yeni "Türkiye Yüzyılı Maarif Modelinin sürdürülebilirlik ve çevresel farkındalık konularını müfredatın merkezine yerleştiren güncel vizyonunun somut bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Buna karşın, 2018 programı ile yürütülen 7. sınıfta bu ilginin azaldığı (yalnızca 1 etkinlik), kimya endüstrisinin doğrudan işlendiği 8. sınıf "Madde ve Endüstri" ünitesinde ise Yeşil Kimya ilkelerini ele alan hiçbir etkinliğin bulunmadığı saptanmıştır. 7. Sınıf düzeyinde "Saf Madde ve Karışımlar" ünitesinde Prensip 1, 7 ve 11 odaklı kazanımlar yer almaktadır.

Etkinlik sayıları ve yoğunluğu açısından ders kitaplarındaki etkinliklerin Yeşil Kimya ile ilgisi incelendiğinde sınıflar arası belirgin farklar görülmektedir.

6. Sınıf, 12 etkinlik ile en fazla toplam etkinliğe sahipken, Yeşil Kimya ile ilgili etkinlik sayısı 4'tür. 5. Sınıf, toplam 6 etkinliğinin 5'inin Yeşil Kimya ile ilgili olmasıyla en yüksek ilgi oranına sahip sınıf düzeyidir. 8. Sınıf düzeyinde Yeşil Kimya ilkelerini doğrudan ele alan bir etkinlik saptanmamıştır.

Tablo 1. *Kazanımların Yeşil Kimya İlkeleriyle Eşleşmesi*

Sınıf Düzeyi	Ünite Adı	Öğrenme Çıktısı ve Kodu	İlgili Yeşil Kimya Prensibi
5. Sınıf	Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm	• FB.5.7.1.1. Evsel atıklarda geri dönüştürülebilen ve dönüştürülemeyen maddeleri sınıflandırabilme • FB.5.7.1.2. Kaynakların etkili kullanımı konusunda geri dönüşümün önemli olduğuna yönelik bilimsel çıkarımda bulunabilme • FB.5.7.1.3. Yakın çevresinde atık yönetiminin uygulanabilirliğine ilişkin deneyimlerini yansıtabilme	• **Prensip 1** • **Prensip 7** • **Prensip 11**
6. Sınıf	Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim	• FB.6.7.1.1. Biyoçeşitliliğin doğal yaşam için önemini sorgulayabilme • FB.6.7.2.1. Isınma amaçlı yakıt kullanımının insan ve çevre üzerine etkilerini tartışabilme • FB.6.7.2.2. Yakın çevresindeki veya ülkemizdeki bir çevre problemine ilişkin çözüm üretebilme	• **Prensip 7** • **Prensip 10** • **Prensip 11**
7. Sınıf	Saf Madde ve Karışımlar	• F.7.4.5.3. Geri dönüşümü, kaynakların etkili kullanımı açısından sorgular. • F.7.4.5.4. Yakın çevresinde atık kontrolüne özen gösterir.	• **Prensip 1** • **Prensip 7** • **Prensip 11**
8. Sınıf	Madde ve Endüstri	• F.8.4.6.1. Geçmişten günümüze Türkiye'deki kimya endüstrisinin gelişimini araştırır.	-

Analiz edilen 12 ilke arasından müfredatta sadece Prensip 1 (Atık Önleme), Prensip 7 (Yenilenebilir Hammadde Kullanımı), Prensip 10 (Biyobozunma Tasarımı) ve Prensip 11 (Kirliliği Önlemek İçin Gerçek Zamanlı Analiz) ilkelerine yer verildiği görülmektedir.

Bulgular, Yeşil Kimya'nın "atığı kaynağında önleme" felsefesi yerine, müfredatın daha çok "atık oluştuktan sonraki süreç" olan geri dönüşüme odaklandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, proaktif bir yaklaşım yerine reaktif bir yaklaşımın baskın olduğunu kanıtlar.

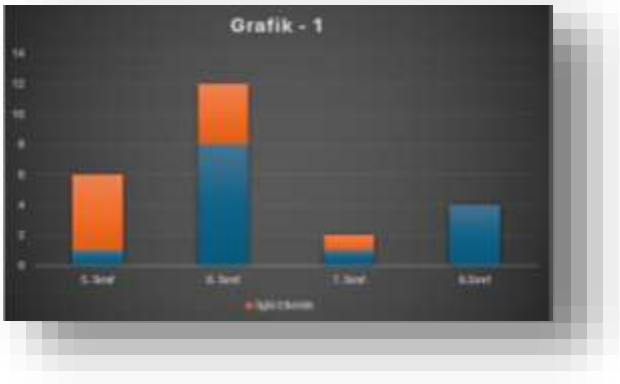
Tabloya göre, "Güvenli Kimyasal Tasarımı", "Güvenli Çözücüler" ve "Kimyasal Türevleri Azaltmak" gibi Yeşil Kimya'nın teknik ve modern bilimsel boyutunu oluşturan ilkeler müfredatta eksiktir.

Tablo 2: *Ders Kitaplarındaki Etkinliklerin Yeşil Kimya ile İlişkisi*

Sınıf Düzeyi	Ünite Adı	Toplam Etkinlik Sayısı	İlgili Etkinlikler
5. Sınıf	Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm	6	5
6. Sınıf	Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim	12	4
7. Sınıf	Saf Madde ve Karışımlar	2	1
8. Sınıf	Madde ve Endüstri	4	-

Yeşil Kimya ile ilgili etkinliklerin en yoğun olduğu kademeler 5. ve 6. sınıflardır. Özellikle 5. sınıf düzeyi, toplam 6 etkinliğin 5'inin Yeşil Kimya ile ilişkili olmasıyla en yüksek ilgi oranına sahip kademe olarak dikkat çekmektedir. Bu durum, yeni "Türkiye Yüzyılı Maarif Modelinin sürdürülebilirlik konularına daha fazla ağırlık verdiğinin bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

En dikkat çekici bulgu, kimya endüstrisinin doğrudan işlendiği 8. sınıf "Madde ve Endüstri" ünitesinde Yeşil Kimya ilkelerini ele alan hiçbir etkinliğin saptanmamış olmasıdır. Bu, öğrencilerin kimya endüstrisini modern ve çevreci bir perspektifle öğrenmesi açısından ciddi bir eksiklik olarak vurgulanmalıdır.



Grafik-1: *Ortaokul Fen Bilimleri Ders Kitaplarındaki Etkinliklerin Yeşil Kimya Prensipleriyle Örtüşme Oranları*

Elde edilen bulgulara göre 5. 6. 7. ve 8. Sınıf öğretim programında yeşil kimya kavramından dolaylı ve de doğrudan bahsedildiği görülmektedir.

Öğrenme çıktılarının ilgili olduğu prensiplerin yoğunluğunu aynı prensipler oluşturmaktadır. Mevcut öğretim programı yeşil kimya kavramının ilkelerinden ‘’güvenli kimyasal tasarım’’, ‘’güvenli çözücüler’’, ‘’kimyasalları azaltmak’’ gibi prensiplere değinmemiştir. Mevcut program daha çok ‘’geri dönüşüm’’ safhasına yoğunlaşmış, yeşil kimyanın ana teması olan ‘’atık oluşturmamak’’ durumunda eksik kalmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırma, Türkiye’deki ortaokul Fen Bilimleri Öğretim Programı ve ders kitaplarının, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahip olan Yeşil Kimya’nın 12 ilkesiyle ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular ışığında şu temel sonuçlara ulaşılmıştır:

İlke düzeyinde sınırlı temsiliyet ve reaktif yaklaşım incelemeler sonucunda, Yeşil Kimya’nın 12 ilkesinden yalnızca dördünün (Atık Önleme, Yenilenebilir Hammadde Kullanımı, Biyobozunma Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Analiz) müfredatta yer bulduğu tespit edilmiştir. Ancak bu ilkelerin işleniş biçimi, Yeşil Kimya’nın temel felsefesi olan "proaktif" (önleyici) yaklaşımdan ziyade, "reaktif" (onarıcı) bir karakter sergilemektedir. Müfredat, atığın oluşmadan önce tasarım aşamasında engellenmesine odaklanmak yerine, ağırlıklı olarak atık oluştuktan sonraki süreci kapsayan "geri dönüşüm" uygulamalarına yoğunlaşmaktadır. Bu durum, öğrencilerin çevresel sorunları yalnızca bir "atık yönetimi" sorunu olarak algılamasına yol açabilir ve kirliliği kaynağında kurutacak bilimsel tasarım süreçlerini anlamalarını kısıtlayabilir.

Teknik İlkelerin Eksikliği ve Bilimsel Perspektif Boşluğu: Araştırmanın en çarpıcı sonuçlarından biri, Yeşil Kimya’nın modern ve teknik boyutunu oluşturan; güvenli kimyasalların tasarımı, güvenli çözücüler, enerji verimliliği ve kataliz gibi ilkelerin müfredatta ve ders kitaplarında tamamen eksik olmasıdır. Literatürle karşılaştırıldığında, Türkiye’deki ortaokul seviyesindeki çevre eğitiminin "çöp toplama" veya "kaynak tasarrufu" gibi yüzeysel bir düzeyde kaldığı, kimyanın çevreci ve yenilikçi yüzünü temsil eden bilimsel ilkelerin ise bu kademeye henüz entegre edilmediği görülmektedir. Bu eksiklik, öğrencilerin kimya endüstrisini modern bilimsel standartlara göre değerlendirme yetisini sınırlamaktadır.

Kademeler arası kopukluk ve 8. sınıf paradoksu analiz sonuçları, Yeşil Kimya vurgusunun sınıflar arasında sistematik bir bütünlük göstermediğini ortaya koymuştur. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ile hazırlanan 5. ve 6. sınıf programlarında sürdürülebilirlik vurgusu ve Yeşil Kimya ile ilişkili etkinlik yoğunluğu oldukça yüksekken (özellikle 5. sınıfta %83 oranında), üst kademelere çıkıldıkça bu ilginin azaldığı saptanmıştır. Özellikle kimya konularının en yoğun işlendiği ve endüstriyel süreçlerin tanıtıldığı 8. sınıf "Madde ve Endüstri" ünitesinde Yeşil Kimya ilkelerine dair hiçbir etkinliğe rastlanmamış olması, eğitim süreci açısından ciddi bir kopukluk ve eksiklik olarak değerlendirilmektedir.

Programlar Arası Karşılaştırma: Yeni uygulanmaya başlanan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (5. ve 6. sınıflar), 2018 programına (7. ve 8. sınıflar) kıyasla Yeşil Kimya ve sürdürülebilirlik konularına daha fazla ağırlık vermektedir. 5. sınıf düzeyindeki etkinliklerin neredeyse tamamının Yeşil Kimya prensipleriyle ilişkilendirilmiş olması, müfredat geliştirme süreçlerinde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik olumlu bir eğilimin göstergesidir. Ancak bu olumlu yaklaşımın, kimyanın asıl uygulama alanı olan üst sınıflardaki ünitelere taşınamamış olması, "dikey süreklilik" ilkesinin zayıf kaldığını kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, mevcut Fen Bilimleri öğretim programı çevre bilinci kazandırma noktasında önemli adımlar atmış olsa da Yeşil Kimya'nın tasarım odaklı ve önleyici bilimsel paradigmasını bütüncül bir şekilde yansıtmaktan uzaktır. Öğrencilerin sürdürülebilir bir gelecek inşa edebilmeleri için, çevre eğitiminin sadece davranışsal bir tutum (geri dönüşüm yapma gibi) olmaktan çıkarılıp, bilimsel bir çözüm yöntemi olan Yeşil Kimya ilkeleriyle dikey ve sarmal bir yapıda zenginleştirilmesi zorunludur.

Öneriler

Paradigma Değişimi: Fen Bilimleri öğretim programlarında yer alan çevre eğitimi; sadece "atık oluştuktan sonra geri dönüştürme" (reaktif) odaklı olmaktan çıkarılmalı, Yeşil Kimya'nın temel felsefesi olan "atığı kaynağında önleme" (proaktif) prensibine evrilmelidir.
Teknik İlkelerin Entegrasyonu: Müfredatta henüz yer bulamayan; "güvenli kimyasal tasarımı", "güvenli çözücü kullanımı" ve "atom ekonomisi" gibi teknik ama ortaokul düzeyine indirgenebilecek ilkeler, özellikle kimya konularının ağırlıklı olduğu ünitelere dahil edilmelidir.
Dikey Sürekliliğin Sağlanması: Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ile 5. ve 6. sınıflarda yakalanan yüksek sürdürülebilirlik ivmesi, üst kademelere de taşınmalıdır. Özellikle endüstriyel süreçlerin tartışıldığı 8. sınıf "Madde ve Endüstri"

ünitesine, Yeşil Kimya'nın endüstriyel uygulama örnekleri (yeşil sentez, yenilenebilir enerji kullanımı vb.) dikey bir sarmallıkla eklenmelidir.

Tasarım Odaklı Etkinlikler: Ders kitaplarındaki etkinlikler "çöp toplama" veya "kâğıt ayırma" gibi yüzeysel davranışların ötesine geçmelidir. Öğrencilere, bir kimyasal süreci en az atıkla nasıl tasarlayabileceklerini sorgulatan "Yeşil Tasarım" temelli deneyler ve problem çözme senaryoları sunulmalıdır.
Öğretmen Eğitimi (Hizmet İçi): Fen bilimleri öğretmenlerinin Yeşil Kimya'nın 12 ilkesine yönelik farkındalıklarını artırmak amacıyla hizmet içi eğitimler düzenlenmelidir. Bu eğitimlerde, geleneksel laboratuvar deneylerinin "yeşil alternatifleri" ile nasıl değiştirilebileceği (mikro ölçekli kimya uygulamaları gibi) uygulamalı olarak gösterilmelidir.

Öğrenci ve Öğretmen Farkındalığı: Öğretmen adaylarının ve öğretmenlerin Yeşil Kimya konusundaki bilgi düzeylerini ve bu yaklaşımı derslerine entegre etme konusundaki öz yeterliliklerini belirlemeye yönelik karma yöntemli çalışmalar planlanabilir.
Uygulama Temelli Çalışmalar: Bu çalışma doküman incelemesi ile sınırlıdır. Gelecek araştırmalarda, Yeşil Kimya ilkelerine göre zenginleştirilmiş bir öğretim sürecinin, öğrencilerin 21. yüzyıl becerileri, sürdürülebilir yaşam tutumları ve bilimsel süreç becerileri üzerindeki etkisi deneysel yöntemlerle incelenmelidir.

Bu öneriler, fen eğitiminin sadece çevreyi koruma bilinci kazandırmasını değil, aynı zamanda öğrencilerin modern ve sürdürülebilir bir bilimsel bakış açısı geliştirmesini de hedeflemektedir.

KAYNAKÇA

Akaygun, S., Budak, U. S., Nalcakan, N., Sözbilir, M., & Delaney, S. (2025). How green is green chemistry? Exploring the experiences and views of Turkish chemistry teachers on practical activities including green and sustainable chemistry. *Chemistry Teacher International*. https://doi.org/10.1515/cti-2025-0037

Aydem Enerji. (t.y.). *Yeşil Kimya Nedir? Neden Önemlidir?*. https://www.aydemenerji.com.tr/blog/270/yesil-kimya-nedir-neden-onemlidir-/

Basheer, A., Gulacar, O., Sindiani, A., & Eilks, I. (2025). The impact of an intervention on plastics and bioplastics on pre-service science teachers' green chemistry and sustainability awareness and their attitudes toward environmental education. *Education Sciences, 15*(3), 322. https://doi.org/10.3390/educsci15030322

Clapson, M. L., Bannard, G., Daliaho, G., Hong, J., Davy, E., Pitsiaeli, J., Durfy, C. S., & Schechtel, S. (2025). Waving the green flag: Incorporating sustainable and green chemistry practices into research and education. *RSC Sustainability, 3*, 4492. https://doi.org/10.1039/d5su00554j

Çakmak, R., Topal, G., & Çakmak, M. (2012). Kimya öğretiminde yeni bir kavram: Yeşil kimya [A new concept in chemistry teaching: Green chemistry]. *The Journal of Academic Social Science Studies, 5*(8), 359-371.

de Souza, A. S., Ferreira, P. G., de Jesus, I. S., de Carvalho, A. S., Futuro, D. O., & Ferreira, V. F. (2024). Sustainability, sustainable development, sustainable chemistry, and green chemistry: Parallels and interconnections. *Química Nova, 47*(9), e-20240049. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20240049

Karagölge, Z., Sarı, F., Kolomuç, A., & Ceyhun, İ. (2020). Öğrencilerin yeşil kimya ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik algılarının belirlenmesi. *Turkish Studies - Education, 15*(6), 4309-4328. https://doi.org/10.47423/TurkishStudies.46345

U.S. Environmental Protection Agency. (t.y.). *Basics of Green Chemistry.* https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry

Widyantoro, C., Han, J. Y., Ong, J. S. H., Goh, K. H., & Fung, F. M. (2025). Teaching sustainability through green chemistry: An experiential learning approach. *Journal of Chemical Education, 102*(7), 2743–2754. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01476

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry, 23*, 1594. https://doi.org/10.1039/d0gc03313h

Beyond Communication: Foreign Language Education and Epistemic Agency in the Age of AI-Mediated Meaning

Bora BAŞARAN[1]

[1]bbasaran@anadolu.edu.tr; Anadolu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Yabancı Diller Bölümü, Eskişehir/ Türkiye.

Özet

Üretken yapay zekâ, yabancı dil eğitiminin temel gerekçelerinden biri olan iletişimsel erişime meydan okumaktadır. Yapay zekâ sistemleri artık yalnızca dil öğrenimini desteklemekle kalmamakta; kullanıcılar adına iletişimi giderek daha fazla çevirmekte, taslak haline getirmekte, yeniden formüle etmekte, yanıtlamakta ve iletişime aracılık etmektedir. Bu durum, yabancı dil eğitimi için temel bir soruyu gündeme getirmektedir: Eğer yapay zekâ bizim adımıza başka bir dilde konuşup yazabiliyorsa, o dili öğrenmenin amacı ne olarak kalmaktadır? Bu kavramsal makale, üretken yapay zekâ çağında yabancı dil eğitiminin yalnızca bir iletişimsel erişim aracı olarak değil, aynı zamanda epistemik özerklik için bir koşul olarak yeniden çerçevelenmesi gerektiğini savunmaktadır. Yapay zekâ aracılı anlam, epistemik bağımlılık ve iletişim sonrası yabancı dil eğitimi kavramlarından yararlanan makale, kullanıcıların bağımsız olarak değerlendiremedikleri dillerde yapay zekâ tarafından temsil edildiklerinde ortaya çıkan riskleri tartışmaktadır. Merkezi argüman, yapay zekâ çok dilli iletişimi kolaylaştırabilirken, kullanıcıların kendi adlarına üretilen anlamları anlama, doğrulama ve bunlara itiraz etme kapasitelerini de zayıflatabileceğidir. Analiz, dilsel kapalılığın kullanıcıların anlamın diller arasında nasıl dönüştüğünü görmesini engellemesi nedeniyle, yaygın olarak kabul gören insan denetimi varsayımının yapay zekâ aracılı çok dilli iletişimde kırılgan hale geldiğini göstermektedir. Bu nedenle yabancı dil eğitimi, yapay zekâ destekli iletişime veya çeviri verimliliğine indirgenmemelidir. Bunun yerine, öğrenenlerin yapay zekâ aracılı anlamı değerlendirme, pragmatik ve kültürel sapmaları tespit etme ve çok dilli iletişim üzerinde özerkliklerini koruma becerilerini geliştirmelidir. Makale, yapay zekâ çağındaki yabancı dil eğitiminin, iletişimsel yetkinliğin ötesine geçerek yapay zekâ aracılı çok dilli ortamlarda epistemik özerkliğe ve insani sorumluluğa doğru ilerlemesi gerektiği sonucuyla tamamlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: üretken yapay zekâ, yabancı dil eğitimi, epistemik özerklik, epistemik bağımlılık, yapay zekâ aracılı anlam, iletişimsel yetkinlik, iletişim sonrası.

Abstract

Generative artificial intelligence challenges one of the central rationales of foreign language education: communicative access. AI systems no longer merely support language learning; they increasingly translate, draft, reformulate, respond, and mediate communication on behalf of users. This raises a fundamental question for foreign language education: if AI can speak and write for us in another language, what remains the purpose of learning that language? This conceptual paper argues that, in the age of generative AI, foreign language education should be reframed not only as a means of communicative access but also as a condition for epistemic agency. Drawing on the concepts of AI-mediated meaning, epistemic dependence, and post-communicative foreign language education, the paper discusses the risks that emerge when users are represented by AI in languages they cannot independently evaluate. The central argument is that while AI may facilitate multilingual communication, it may also weaken users' capacity to understand, verify, and contest the meanings produced in their name. The analysis shows that the widely held assumption of human oversight becomes fragile in AI-mediated multilingual communication, because linguistic opacity prevents users from seeing how meaning is transformed across languages. Therefore, foreign language education should not be reduced to AI-supported communication or translation efficiency. Instead, it should cultivate learners' ability to evaluate AI-mediated meaning, detect pragmatic and cultural distortions, and maintain agency over multilingual communication. The paper concludes that foreign language education in the AI age must move beyond communicative competence toward epistemic agency and human responsibility in AI-mediated multilingual environments.

Keywords: generative AI, foreign language education, epistemic agency, epistemic dependence, AI-mediated meaning, communicative competence, post-communicative.

INTRODUCTION

Consider a routine scene of contemporary multilingual life. A Turkish-speaking academic prepares an email to a German-speaking institutional partner. She drafts her message in Turkish, pastes it into a generative artificial intelligence (AI) system, and asks for a German version that is polite, professional, and appropriate for the addressee. The system translates the message, adjusts the tone, softens a request that might have sounded abrupt, selects the formal Sie register, and proposes a closing formula she has never used before. The reply from Germany arrives; the system summarizes it, drafts a response, and the exchange continues smoothly. Communication, by any functional measure, has succeeded. Yet at no point in this exchange could the user fully know what was said in her name. She could not judge whether the German version preserved the deliberate caution of her Turkish phrasing, whether an idiomatic choice

introduced an unintended connotation, or whether the proposed closing formula carried social meanings she would not have chosen. The exchange was communicatively successful and epistemically opaque at the same time.

This scenario captures the central problem addressed in this paper. Generative AI is beginning to unsettle one of the most established rationales of foreign language education: the idea that people must learn another language in order to communicate, access texts, participate in intercultural encounters, and act independently in academic, professional, and social contexts. For decades, foreign language education has been justified through communicative access. Learners were expected to acquire the target language in order to understand others, express themselves, read and write appropriately, and participate in multilingual and intercultural communication. This rationale underpinned the communicative turn in language teaching and continues to structure curricula, proficiency frameworks, and assessment regimes worldwide (Council of Europe, 2020). However, generative AI systems are no longer merely tools that support language learning. They increasingly translate, summarize, draft, reformulate, respond, adapt tone, and mediate communication on behalf of users (Godwin-Jones, 2024; Kohnke et al., 2023). Machine translation had already begun this transformation well before the release of large language models, prompting sustained debates about the place of translation technology in language classrooms (Jolley & Maimone, 2025; Vinall et al., 2024). Generative AI radicalizes the development: it does not only transfer propositional content between languages, but performs the interactional work of communication itself, including register selection, politeness management, and audience design.

This creates a new and more fundamental question for foreign language education: if AI can speak, write, translate, and respond for us in another language, what remains the purpose of learning that language? The question is not rhetorical. Language educators report growing pressure to justify the value of language study when free, instant, and increasingly fluent machine mediation is available to anyone with a smartphone (Chapelle, 2024; Kern, 2024). Enrollment debates, curricular reforms, and public commentary frequently invoke translation technology as evidence that language learning has become optional. The field has responded with a spectrum of positions, from integrating machine translation as a legitimate pedagogical resource (Knowles, 2022; Pym & Hao, 2025) to reasserting the irreducibly human dimensions of language learning (Kern, 2024). What these responses share, however, is that they largely remain within the communicative paradigm: they ask how communication can still be taught, supported, or protected. This paper argues that the challenge posed by generative AI cannot be fully addressed within that paradigm.

The central claim developed here is that generative AI shifts the purpose of foreign language education from communicative access toward epistemic agency. A person who does not know the target language may still be able to communicate through AI. However, they may not be able to verify whether the AI-generated message accurately represents their intention, whether the tone is appropriate, whether the register fits the situation, whether cultural meanings have been flattened or distorted, or whether the response carries pragmatic risks. In such situations, the user depends on AI not only as a technical tool but as a mediator of meaning: the system interprets intentions, selects expressions, adjusts tone, reformulates content, and represents the user in another linguistic and cultural space. This paper describes this condition as a form of epistemic dependence and argues that foreign language education should be reframed not only as a means of communication, but as a condition for maintaining epistemic agency in AI-mediated multilingual environments.

The argument is conceptual rather than empirical. The paper does not ask whether AI can improve foreign language learning, a question addressed by a rapidly growing empirical literature (Fang & Han, 2025; Jeon & Lee, 2023). Instead, it asks what happens to the purpose of foreign language learning when AI can communicate on behalf of users. To develop this argument, the paper addresses five questions: (a) How does generative AI challenge the communicative rationale of foreign language education? (b) What forms of epistemic dependence emerge when AI speaks, writes, or translates on behalf of users? (c) Why is the assumption of human oversight fragile in AI-mediated multilingual communication? (d) How can foreign language education be reframed beyond communicative competence? (e) What new pedagogical priorities emerge if foreign language learning is understood as a means of preserving epistemic agency?

The paper proceeds as follows. The next section reviews three bodies of literature that frame the argument: research on education and technological change, scholarship on machine translation and generative AI in language education, and philosophical work on epistemic agency and human oversight of AI systems. The subsequent section describes the conceptual methodology of the paper. The main discussion then develops the three core concepts of the proposed framework; AI-mediated meaning, epistemic dependence, and post-communicative foreign language education, and uses them to answer the research questions. The paper closes with pedagogical implications, limitations, and conclusions.

LITERATURE REVIEW

The relationship between education and technological change has typically been described as one of delayed adaptation. Major technological and economic transformations create new skill demands, and education systems respond to these demands over time, through curriculum reform, teacher training, and institutional restructuring. Agrarian societies transmitted local, embodied, and intergenerational knowledge; industrial societies required disciplined, literate, standardized, and time-regulated workers; bureaucratic, digital, and service-oriented economies elevated professional credentials, written communication, information processing, and symbolic work. In each of these transitions, the technological object to which education had to adapt remained external to education itself. Schools taught the skills that factories, offices, or digital workplaces required, but the factory did not enter the classroom as an agent performing the pupils' work.

Artificial intelligence in education has often been discussed within this adaptive frame, as a set of tools (intelligent tutoring systems, automated feedback, learning analytics) whose promise and risks education systems must learn to manage (Holmes & Tuomi, 2022). Yet several features of generative AI strain the adaptive model. First, the speed and breadth of its diffusion have outpaced the cycles of educational research, policy formation, and teacher preparation; international policy responses have explicitly acknowledged that regulation and pedagogical guidance lag behind classroom reality (UNESCO, 2023). Second, and more fundamentally, generative AI does not simply create new external demands for education systems to follow. It directly intervenes in the core practices through which education defines and measures learning: reading, writing, translating, summarizing, explaining, assessing, and giving feedback (Jeon & Lee, 2023; Wu et al., 2025). Education is not only adapting to a changed world of work; it is being transformed from within by the same technology it is trying to evaluate.

This paper describes this condition as adaptation lag collapse: the situation in which education systems can no longer rely on slow institutional adaptation because the technological object to which they must adapt changes before educational research, policy, and pedagogy can stabilize a response. For foreign language education, adaptation lag collapse is particularly acute. The practices that generative AI performs most fluently (translation, paraphrase, register adjustment, text production) are precisely the practices that language education exists to teach. Whereas other school subjects face the question of how AI changes the teaching of their content, language education faces the question of

whether its content still needs to be taught at all. This existential dimension distinguishes the current debate from earlier waves of technological anxiety in computer-assisted language learning and explains why responses formulated for previous technologies do not simply transfer (Chapelle, 2024; Kern, 2024).

This difference can be summarized as a shift from delayed adaptation to adaptation lag collapse, as shown in Figure 1.

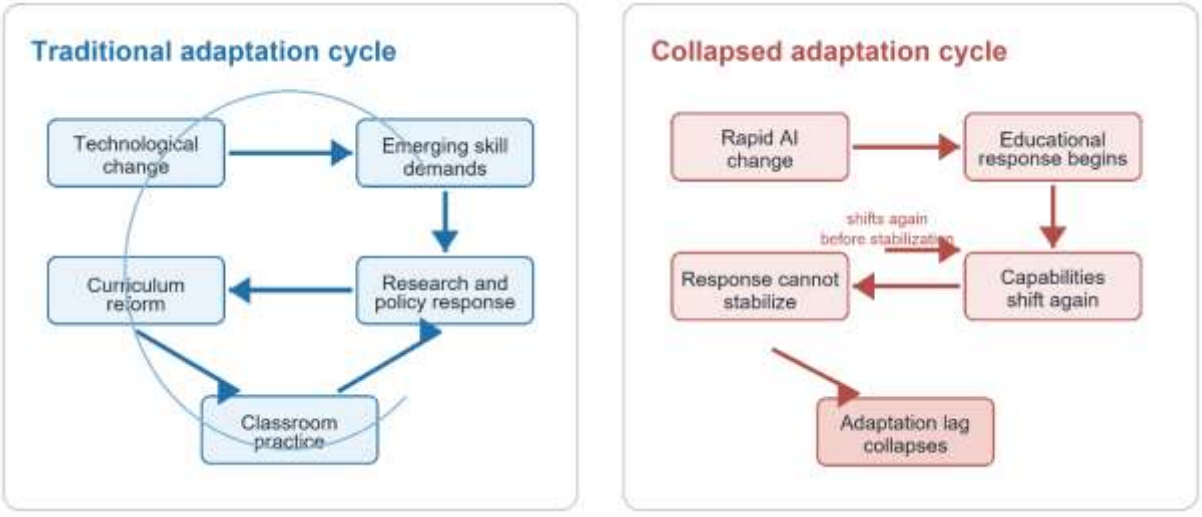


Figure 1. *Adaptation lag and its collapse under generative AI*

In the traditional model, education systems respond to technological change through a delayed but relatively stable cycle of research, policy, curriculum reform, and classroom implementation. Generative AI compresses and destabilizes this cycle because the technological object changes before educational responses can consolidate.

From Machine Translation to Generative AI: The Erosion of the Communicative Rationale

The challenge that AI mediation poses to language education did not begin with large language models. Neural machine translation had already confronted language teachers with students who could produce target-language texts well beyond their independent proficiency, triggering debates about academic honesty, learning short-circuits, and pedagogical legitimacy (Jolley & Maimone, 2025). Empirical research documented that learners use machine translation pervasively and strategically, regardless of classroom policies. Vinall et al. (2024) showed through screen recordings that second language (L2) writers overwhelmingly rely on machine translation tools while writing and engage in complex, layered actions with them, shaped by their language knowledge, their beliefs about the tools, and classroom rules. Hellmich and Vinall (2023) found a persistent gap between widespread student use and instructors' ambivalent beliefs. Systematic reviews concluded that machine translation can support vocabulary, writing, and reading development when it is pedagogically framed, while unguided use raises concerns about dependence and superficial engagement (Deng & Yu, 2022).

A critical strand of this research is directly relevant to the present argument: learners' limited capacity to evaluate machine output. Chang (2022) demonstrated that Chinese language learners had considerable difficulty judging the accuracy of machine translation output, particularly at higher proficiency demands; the ability to detect errors depended on exactly the linguistic knowledge that the tool was replacing. Pedagogical proposals responded by embedding machine translation within structured evaluation cycles, in which learners pre-edit input, compare alternative outputs, and post-edit results (Knowles, 2022; Pym & Hao, 2025). These proposals implicitly concede the central point: unsupervised machine mediation is epistemically risky for users who cannot independently assess the output, and the remedy is language knowledge deployed in an evaluative role.

Generative AI extends this problem from translation to communication as a whole. Large language models do not only translate; they draft, reformulate, summarize, respond, adjust tone, manage politeness, and sustain interaction (Kohnke et al., 2023). Reviews of the emerging research field document both enthusiasm about personalized, always-available language support and concern about accuracy, bias, and overreliance (Fang & Han, 2025). Godwin-Jones (2022) had already observed with earlier writing assistants that intelligent tools participate substantively in text production, raising questions about authorship and learning; with generative AI he describes a condition of distributed agency, in which

communicative outcomes emerge from human–machine collaboration rather than from the learner alone (Godwin-Jones, 2024). Chapelle (2024) notes that openly accessible generative AI changes many operating assumptions of language teaching, while insisting that it does not change everything: the social, identity-related, and cognitive dimensions of language learning are not automated away. Kern (2024) similarly argues that twenty-first-century technologies require the field to rearticulate, not abandon, its purposes.

What this literature has not yet systematically theorized is the epistemic asymmetry at the heart of AI-mediated communication. Research on machine translation evaluation (Chang, 2022), on critical engagement with AI output (Pérez-Paredes et al., 2025; Tacelosky et al., 2025), and on distributed agency (Godwin-Jones, 2024) circles around the problem, but the field still predominantly frames AI as a resource within language learning, rather than asking what happens when AI substitutes for language knowledge in communication itself. The present paper addresses this gap.

Communicative Competence, Mediation, and Their Limits

Foreign language education has long been shaped by the concepts of communicative competence, intercultural competence, and, more recently, mediation. The communicative paradigm moved the field beyond grammar and accuracy toward meaningful language use, social appropriateness, and interaction; its intercultural extension added the capacity to interpret and relate across cultural difference. The Common European Framework of Reference consolidated this trajectory and, in its Companion Volume, elevated mediation (translating, summarizing, relaying, and facilitating communication for others) to a central category of language use (Council of Europe, 2020). It is a striking historical irony that mediation, the newest pillar of the communicative edifice, is precisely the activity that generative AI performs most readily. When the framework describes a competent language user as someone who can relay the content of a text to an audience that cannot access it directly, it describes, almost exactly, what a large language model does on demand.

These frameworks are not rendered irrelevant by AI mediation. Communication between humans remains the horizon of language education, and unmediated interaction (conversation, embodied encounter, participation in communities) remains irreplaceable for many learners' goals (Kern, 2024). However, the frameworks were constructed on an assumption that no longer universally holds: that the human learner is the one performing the linguistic work. Communicative competence models describe capacities of persons; they have no vocabulary for situations in which the "speaker" is a hybrid of a person's intention and a system's linguistic execution (Godwin-Jones, 2024). When AI

performs the mediation, the competence that matters is no longer the ability to produce the mediated text, but the ability to evaluate a mediation one did not produce and may not fully understand. This evaluative capacity is not captured by existing communicative or intercultural competence constructs, nor by emerging digital competence frameworks that focus on operating tools rather than on assessing meanings (Pérez-Paredes et al., 2025).

Epistemic Agency, Epistemic Dependence, and the Fragility of Human Oversight

The third body of literature comes from the philosophy and ethics of AI. Epistemic agency refers to a person's capacity to form, revise, and act on beliefs through their own epistemic capacities; to be the subject, rather than merely the site, of knowledge processes. Coeckelbergh (2023) argues that AI threatens the epistemic agency of citizens when it shapes the information environments in which beliefs are formed, undermining both trust in one's own epistemic capacities and the exercise of those capacities. In educational contexts, Wu et al. (2025) warn that learners who delegate cognitive work to generative AI risk a weakening of their epistemic agency and propose deliberate pedagogical designs to strengthen human epistemic contributions within human–AI partnerships. A related concern is raised by analyses of large language models' truth-indifference: because such systems generate plausible text without any intrinsic orientation toward accuracy, their outputs demand external verification as a matter of principle, not merely as a precaution against occasional error (Hicks et al., 2024).

The standard institutional answer to such risks is human oversight: humans remain "in the loop" as supervisors, evaluators, or final decision-makers. The literature on meaningful human control, however, shows that effective oversight presupposes demanding conditions. Cavalcante Siebert et al. (2022) argue that meaningful human control requires, among other properties, that the humans involved have appropriate knowledge and the genuine ability to influence the system's behavior; without these, responsibility becomes nominal. Oversight arrangements that assign accountability to humans who lack the epistemic capacity to evaluate system outputs produce what may be called symbolic oversight: the human signs, sends, and answers for outputs they cannot substantively assess.

Multilingual communication is a paradigm case of this fragility, yet it has received little attention in the oversight literature. If a user does not know the target language, they cannot fully evaluate whether an AI-generated message is accurate, culturally appropriate, pragmatically safe, or faithful to their intention. They may ask another AI system to back-translate or verify the output, but this merely transfers trust from one AI-mediated layer to another; the verification

is itself unverifiable by the user. Empirical findings on learners' limited error-detection capacities (Chang, 2022) and on the cultural skewing of model outputs (Tao et al., 2024) indicate that the risk is not hypothetical. Large language models exhibit measurable cultural bias, aligning by default with particular cultural value profiles and flattening variation unless explicitly prompted otherwise (Tao et al., 2024). A user who cannot read the output cannot see the flattening. The conditions for meaningful human control are thus structurally absent in AI-mediated communication conducted in languages the user does not know, and language education is the only institution whose core business is to restore them.

METHOD

This is a conceptual paper. Its contribution lies not in reporting new empirical data but in constructing an argument that reframes an established problem, introduces new concepts, and derives implications for research and practice. Conceptual scholarship of this type proceeds by identifying a tension in existing frameworks, integrating literatures that have developed separately, and proposing a vocabulary that renders a previously diffuse problem analyzable. Accordingly, the paper follows a three-step argumentative procedure.

First, it performs an integrative reading of three literatures that rarely intersect: applied-linguistic research on machine translation and generative AI in language education (e.g., Fang & Han, 2025; Godwin-Jones, 2024; Jolley & Maimone, 2025), competence frameworks in language education policy (Council of Europe, 2020), and philosophical work on epistemic agency and meaningful human control of AI systems (Cavalcante Siebert et al., 2022; Coeckelbergh, 2023). The selection criterion for sources was systematic in intent though not exhaustive in scope: the paper prioritizes peer-reviewed publications from 2020 onward, reflecting the period in which neural machine translation became ubiquitous and generative AI emerged, and anchors each conceptual claim in at least one empirical or theoretical source from these literatures.

Second, the paper subjects the communicative rationale of foreign language education to a thought experiment grounded in current technological capabilities: the case of a user who communicates successfully in a language they do not know. This case functions analytically, in the manner of philosophical counterexamples, to isolate what communicative

competence frameworks presuppose but do not state; namely, that the communicator understands the messages exchanged in their name. The scenario is deliberately conservative: it assumes no malfunction, no hallucination, and no adversarial misuse, only the normal operation of a well-performing system. If the communicative rationale proves insufficient even under these favorable assumptions, the argument holds a fortiori under realistic conditions of model error and bias (Hicks et al., 2024; Tao et al., 2024).

Third, the paper develops three interlocking concepts (AI-mediated meaning, epistemic dependence, and post-communicative foreign language education) and tests their usefulness by applying them to the five research questions stated in the introduction. The criterion of success for a conceptual framework of this kind is generativity: whether it renders visible phenomena that existing vocabularies obscure, and whether it yields researchable questions and actionable pedagogical priorities. The paper's scope is correspondingly delimited. It does not address AI-supported feedback, automated assessment, personalized learning, conversational practice, or material development, which are treated extensively elsewhere (Fang & Han, 2025; Kohnke et al., 2023). It focuses on the narrower but foundational question of what happens to the purpose of foreign language education when AI can communicate on behalf of users in languages they do not know.

AI-Mediated Meaning, Epistemic Dependence, and the Post-Communicative Turn

The communicative rationale justifies language learning instrumentally: one learns a language in order to do things with it; understand, speak, read, write, participate. Generative AI attacks this rationale at its instrumental core, because the doing can now be delegated. This is a categorically different challenge from those posed by earlier technologies. Dictionaries, grammar checkers, and even early machine translation supported the learner's own performance; generative AI replaces the performance. The appropriate historical comparison is not the pocket calculator, which automates a sub-skill within a task that remains the human's, but the chauffeur, who takes over the task entirely while the passenger retains responsibility for the journey.

Within the communicative paradigm, the field's responses to this challenge take two main forms, both of which are necessary but insufficient. The first response integrates AI mediation into pedagogy: machine translation literacy, pre-editing and post-editing skills, and strategic tool use become learning objectives (Knowles, 2022; Pym & Hao, 2025). This response is valuable, but it presupposes rather than supplies a rationale for language learning itself; teaching

learners to post-edit machine output already assumes they have the linguistic knowledge that post-editing requires (Chang, 2022). The second response reasserts the non-instrumental values of language learning: cognition, identity, intercultural sensitivity, the pleasure of the language itself (Chapelle, 2024; Kern, 2024). This response is also valuable, but it concedes the instrumental terrain to the machine, and it speaks past the policymakers, parents, and students whose decisions about language education are largely instrumental.

The argument developed here occupies a third position: the instrumental rationale for language learning survives, but it changes location. What can be delegated is the production of communication; what cannot be delegated is the evaluation of communication produced in one's name. Responsibility is not transferable to the system. The Turkish academic in the opening scenario remains the author of record of her German email: she will be held to its commitments, judged by its tone, and bound by its errors. The instrumental value of knowing German, for her, no longer lies primarily in being able to write the email, the system writes it better and faster; but in being able to know what she has written. Generative AI thus does not abolish the instrumental case for language learning; it relocates that case from production to oversight, from communicative access to epistemic agency.

Forms of Epistemic Dependence in AI-Mediated Communication

AI-mediated meaning refers to the process through which AI systems translate, reformulate, summarize, interpret, or produce meaning on behalf of human users. The concept emphasizes that mediation is never mere transfer. In moving a message from Turkish to German, a system makes consequential choices about tone, register, cultural framing, pragmatic force, and textual form; choices that in human mediation would be recognized as interpretive acts. Because large language models generate output by modeling plausible continuation rather than by representing the user's intention (Hicks et al., 2024), and because their defaults are culturally patterned (Tao et al., 2024), these choices systematically embody assumptions the user did not make and may not share. The message that arrives is not the user's message transported; it is the system's rendering of what a user of that kind, in a situation of that kind, would plausibly say.

Epistemic dependence, in the sense developed here, is the condition in which users rely on AI to produce, interpret, or validate meanings that they cannot independently evaluate. Three forms can be distinguished, in ascending order of severity. The first is productive dependence: the user cannot produce the target-language message themselves. This is

the mildest form, familiar from all translation contexts, and is compatible with full evaluative capacity; as when a proficient bilingual uses machine translation for speed and reviews the output. The second is evaluative dependence: the user cannot assess whether the produced message is accurate, appropriate, and faithful to their intention. Empirical research shows that this form is widespread even among language learners, whose error-detection capacity lags well behind their consumption of machine output (Chang, 2022; Vinall et al., 2024). The third and severest form is validative dependence: the user cannot even evaluate the evaluation, so that any verification must itself be delegated to an AI system; back-translation, AI-based quality checks, a second model's opinion. Here trust circulates entirely within the machine layer, and the human's acceptance of the message rests on nothing the human can inspect.

The three forms differ in kind, not only in degree. Productive dependence is a division of labor; evaluative dependence is a loss of oversight; validative dependence is a loss of the very possibility of oversight. Foreign language knowledge is the only resource that moves a user back down this scale. Even partial knowledge of the target language converts validative dependence into evaluative dependence; the user can at least notice that a register seems off, that a word seems stronger than intended, that a formula seems unfamiliar, and higher proficiency converts evaluative dependence into a mere division of labor. This graduated relationship between proficiency and epistemic position, rather than the binary of knowing or not knowing a language, is what makes the framework pedagogically productive: every increment of language learning purchases an increment of epistemic agency, even when it never reaches the threshold of independent communicative performance.

The distinction among productive, evaluative, and validative dependence is summarized in Table 1.

Table 1 *Forms of epistemic dependence in AI-mediated communication*

Form of dependence	What the user cannot do independently	Main risk	Educational response
Productive dependence	Produce the target-language message	Reduced communicative autonomy	Tool-aware production practice and guided AI use
Evaluative dependence	Judge whether AI output is accurate, appropriate, and faithful to intent	Weak human oversight	Comparative output analysis, revision tasks, and pragmatic awareness
Validative dependence	Verify whether the AI-mediated meaning is trustworthy at all	Loss of meaningful oversight	Risk calibration, source triangulation, and development of epistemic agency

The three forms are cumulative but not identical. Productive dependence concerns the ability to produce language; evaluative dependence concerns the ability to judge AI output; validative dependence concerns the ability to verify meaning when the user lacks independent access to the linguistic and cultural context.

The pedagogical significance of this distinction is that language education need not aim to eliminate AI mediation. Rather, it should help learners move from validative or evaluative dependence toward forms of mediated communication in which they retain meaningful oversight.

The Fragility of Human Oversight in Multilingual Contexts

The assumption that humans will remain in the loop as supervisors of AI output is foundational to AI governance and to institutional policies on AI use (UNESCO, 2023). The meaningful human control literature specifies what this assumption requires: the human must track the system's behavior against their own reasons, possess relevant knowledge, and have real capacity to intervene (Cavalcante Siebert et al., 2022). In AI-mediated multilingual communication, these conditions fail in a specific and instructive way. The user has the formal position of overseer; the message is not sent until they approve it, but linguistic opacity deprives them of the epistemic access that oversight requires. They see the

output; they cannot read it. They approve the message; they cannot know what they are approving. Oversight becomes a signature.

Three features make this fragility more consequential than in other oversight contexts. First, unlike the operator of an industrial system, the user of AI-mediated communication cannot observe outcomes directly: a subtly inappropriate email does not sound an alarm; it silently reshapes a relationship. Feedback, when it comes, is delayed, indirect, and itself linguistically mediated. Second, the errors at stake are not primarily propositional but pragmatic and cultural (tone, register, politeness, implicature) precisely the dimensions on which model output is least reliable and most biased toward dominant cultural defaults (Tao et al., 2024), and least detectable by low-proficiency users (Chang, 2022). Third, responsibility does not migrate with capability. The human remains socially and legally answerable for the message, producing a structural gap between accountability and epistemic capacity that Coeckelbergh (2023) identifies, in the political domain, as a threat to agency itself: the erosion not only of the ability to judge, but of the confidence that one's judgment matters.

It is important to state the limits of this analysis. The fragility argument does not entail that AI-mediated communication should be avoided; for vast numbers of users it is enabling, and for some; migrants, patients, refugees, it is a lifeline that no feasible amount of language instruction would replace. Nor does the argument require perfection from human oversight; human interpreters and translators also make interpretive choices their clients cannot audit. The difference is one of scale, availability, and awareness: human mediation is marked as mediation, embedded in professional norms and accountability, and typically reserved for recognized high-stakes situations, whereas AI mediation is ambient, unmarked, and increasingly the default channel of everyday multilingual life. The argument, then, is not against AI mediation but against total dependence on it: a population that communicates across languages exclusively through systems nobody in the exchange can evaluate has lost something that the communicative paradigm has no vocabulary to name.

Reframing Foreign Language Education Beyond Communicative Competence

Post-communicative foreign language education names the reframing that follows. The term requires immediate clarification: post-communicative does not mean anti-communicative. Communication remains a central goal of language education, and communicative methodology remains the most defensible way to organize instruction. The

prefix marks a shift in justification, not in method: communication alone is no longer sufficient as the main rationale for foreign language learning, because communication alone is precisely what AI now offers without learning. What AI does not offer (what it structurally cannot offer, since it is the object of the problem) is the capacity to understand, evaluate, and contest AI-mediated meaning itself.

A post-communicative framework retains the architecture of communicative and intercultural competence but adds a reflexive layer with five components. First, learners need to recognize how AI transforms meaning across languages: that translation involves interpretive choices, that models have cultural defaults, and that fluency of output is no indicator of fidelity to intention (Hicks et al., 2024; Tao et al., 2024). Second, they need the evaluative capacity to compare an AI-generated message against their own intention; the capacity that converts validative into evaluative dependence. Third, they need diagnostic sensitivity to pragmatic, cultural, and register-based distortion, the error types that matter most in social life and are hardest to detect (Chang, 2022). Fourth, they need a calibrated understanding of risk: which communicative situations tolerate unverified mediation (booking a hotel room) and which do not (negotiating a contract, apologizing to a colleague, consenting to treatment). Fifth, they need the disposition to maintain agency: the habit of treating AI-mediated messages as drafts to be interrogated rather than utterances to be dispatched, and the willingness to invest linguistic effort proportional to communicative stakes.

This reframing converges with, and gives a specific rationale to, the emerging literature on critical AI literacy in language education (Pérez-Paredes et al., 2025; Tacelosky et al., 2025). What distinguishes the present framework is the claim that such literacy is not an add-on to language education but continuous with its core content. Critical AI literacy in general education can teach students that models hallucinate and carry bias; only language education can give them the specific capacity to see how a particular German sentence fails to say what their Turkish sentence meant. The evaluation of AI-mediated meaning is, irreducibly, a linguistic and intercultural skill. In this sense, generative AI does not make language education obsolete; it makes a particular justification of language education obsolete, while simultaneously creating the strongest new justification the field has had in decades: language learning as the condition of epistemic citizenship in a multilingual world whose communication infrastructure is increasingly machine-mediated (Coeckelbergh, 2023; Wu et al., 2025).

The resulting framework can be represented as a layered extension of communicative competence rather than a rejection of it, as shown in Figure 2.

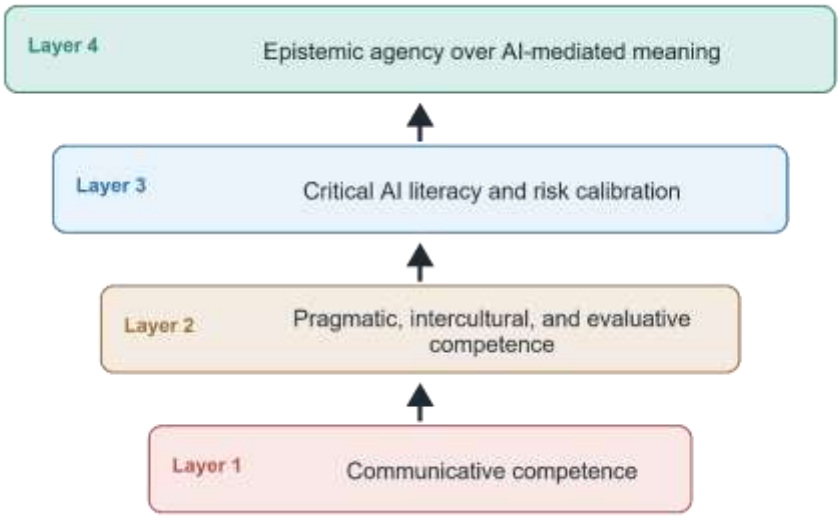


Figure 2. *A post-communicative framework for foreign language education*

The framework does not replace communicative competence but adds a reflexive layer oriented toward AI-mediated meaning, critical evaluation, risk calibration, and epistemic agency. This layered model clarifies why the pedagogical implications of generative AI are not limited to tool use. They concern the learner's capacity to understand, evaluate, and take responsibility for meanings produced through AI mediation.

Pedagogical Implications

If foreign language education is understood as a means of preserving epistemic agency, a set of pedagogical priorities follows. These are proposed as design principles rather than prescriptions, and their empirical evaluation is an explicit task for future research.

The first priority is to make AI mediation itself an object of classroom analysis. Rather than banning or ignoring the tools that learners demonstrably use (Hellmich & Vinall, 2023; Vinall et al., 2024), instruction can place AI-

generated translations at the center of analytic tasks: learners compare an AI-generated target-language version of their own message with their original intention, identify shifts in tone, register, and pragmatic force, and articulate what was gained and lost. Such tasks operationalize the evaluative capacity that the framework identifies as the core post-communicative skill, and they extend existing proposals for structured machine translation pedagogy (Knowles, 2022; Pym & Hao, 2025) from accuracy checking toward meaning stewardship.

The second priority is comparative output analysis. Because model output varies with prompt, system, and sampling, the same source message yields multiple defensible renderings. Having learners generate and compare several AI versions of one message; more formal, more direct, more hedged, makes visible the interpretive space that mediation occupies and dismantles the naive picture of translation as unique correct transfer. This activity directly targets the recognition component of the framework: learners experience, rather than being told, that AI-mediated meaning is constructed (Godwin-Jones, 2024).

The third priority is focused work on pragmatics, register, and politeness; the distortion-prone dimensions of mediation. The framework predicts that instructional time invested in pragmatic and sociocultural awareness yields disproportionate epistemic returns, because these are the error types that low-proficiency users cannot detect (Chang, 2022) and that models render according to culturally biased defaults (Tao et al., 2024). Curriculum design under a post-communicative rationale would accordingly rebalance toward interactional and intercultural meaning, even at early proficiency levels.

The fourth priority is explicit instruction in risk calibration. Learners should analyze scenarios of AI-mediated communication that differ in stakes (administrative routine, professional negotiation, medical consent, personal apology) and decide, with justification, what level of verification each requires and whether unverified mediation is acceptable. This connects language education to the broader agenda of critical AI literacy (Pérez-Paredes et al., 2025; Tacelosky et al., 2025) while grounding it in concrete linguistic judgment.

The fifth priority is reflective work on dependence itself. Learners can document their own AI-mediated communication over a period, classify instances by the three forms of dependence (productive, evaluative, validative), and reflect on where they stand and where they wish to stand. The goal of such reflection is not guilt but agency: an

informed, deliberate stance toward one's own reliance on machine mediation, consistent with evidence that learner beliefs and self-positioning shape tool use more strongly than institutional rules (Vinall et al., 2024).

Finally, the framework has implications for assessment and teacher education. If the purpose of language education includes evaluation of mediated meaning, then assessment should include tasks in which candidates critique, revise, and justify AI-generated target-language texts against stated intentions; tasks in which AI use is not cheating but the object of the exam. Teacher education, correspondingly, must prepare teachers who can model epistemic vigilance rather than merely enforce tool policies, a need already documented in studies of teacher beliefs and preparedness regarding AI (Fang & Han, 2025; Kohnke et al., 2023; UNESCO, 2023).

LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH

Three limitations of this paper define an agenda for further work. First, the argument is conceptual, and its empirical presuppositions are testable. The framework predicts, for example, that target-language proficiency correlates with detection of pragmatic distortion in AI-mediated messages; that even modest proficiency shifts users from validative toward evaluative dependence; and that reflective instruction changes verification behavior in high-stakes communication. Each prediction is operationalizable with existing methods from machine translation evaluation research (Chang, 2022; Vinall et al., 2024).

Second, the paper treats "AI mediation" generically, abstracting from differences among systems, language pairs, and modalities. The severity of epistemic dependence plausibly varies with the typological distance and resource asymmetry between languages; mediation between English and German raises different risks than mediation between Turkish and Korean, and with modality, since spoken real-time mediation forecloses the review practices available in writing. Mapping this variation is an empirical task with direct pedagogical consequences.

Third, the framework has a sociopolitical dimension that this paper only gestures toward. If epistemic agency in multilingual communication depends on language knowledge, and language knowledge is unequally distributed, then ambient AI mediation may deepen rather than flatten linguistic inequality: those who know languages gain a supervised amplifier, while those who do not inherit an unsupervisable proxy. The equity implications of this asymmetry; for

migration, for lingua franca dynamics, and for the languages that AI systems serve poorly, deserve sustained analysis (Coeckelbergh, 2023; Tao et al., 2024).

CONCLUSION

This paper began with a question that generative AI has made unavoidable: if AI can speak, write, translate, and respond for us in another language, what remains the purpose of learning that language? The answer developed here is that the purpose survives, but it moves. Foreign language education justified as communicative access is genuinely threatened, because communicative access is now available without learning. Foreign language education justified as the condition of epistemic agency is not threatened but newly necessary, because AI mediation creates, at scale, a novel human situation: being represented in languages one cannot evaluate, and bearing responsibility for meanings one cannot inspect.

The paper has offered three concepts for analyzing this situation. AI-mediated meaning names the interpretive, culturally patterned work that AI systems perform when they communicate on behalf of users. Epistemic dependence names the graduated condition (productive, evaluative, validative) in which users rely on systems for meanings they cannot independently assess. Post-communicative foreign language education names a reframing in which communicative competence remains the method but epistemic agency becomes the rationale: language education as the institution that equips people to understand, evaluate, and contest the meanings produced in their name.

The core claim can be stated in one sentence: when AI can speak for us, foreign language education becomes less about gaining access to communication and more about preserving human agency over AI-mediated meaning. The value of knowing another language was never only the ability to say things; it was the ability to know what is being said. Generative AI has automated the first. It has thereby made the second, for the first time in the history of language education, the heart of the discipline.

REFERENCES

Cavalcante Siebert, L., Lupetti, M. L., Aizenberg, E., Beckers, N., Zgonnikov, A., Veluwenkamp, H., Abbink, D., Giaccardi, E., Houben, G.-J., Jonker, C. M., van den Hoven, J., Forster, D., & Lagendijk, R. L. (2022). Meaningful

human control: Actionable properties for AI system development. AI and Ethics, 3(1), 241–255. https://doi.org/10.1007/s43681-022-00167-3

Chang, L.-C. (2022). Chinese language learners evaluating machine translation accuracy. The JALT CALL Journal, 18(1), 110–136. https://doi.org/10.29140/jaltcall.v18n1.592

Chapelle, C. A. (2024). Open generative AI changes a lot, but not everything. The Modern Language Journal, 108(2), 534–540. https://doi.org/10.1111/modl.12927

Coeckelbergh, M. (2023). Democracy, epistemic agency, and AI: Political epistemology in times of artificial intelligence. AI and Ethics, 3(4), 1341–1350. https://doi.org/10.1007/s43681-022-00239-4

Council of Europe. (2020). Common European Framework of Reference for Languages: Learning, teaching, assessment-Companion volume. Council of Europe Publishing.

Deng, X., & Yu, Z. (2022). A systematic review of machine-translation-assisted language learning for sustainable education. Sustainability, 14(13), Article 7598. https://doi.org/10.3390/su14137598

Fang, S., & Han, Z. (2025). On the nascency of ChatGPT in foreign language teaching and learning. Annual Review of Applied Linguistics, 45, 148–178. https://doi.org/10.1017/S026719052510010X

Godwin-Jones, R. (2022). Partnering with AI: Intelligent writing assistance and instructed language learning. Language Learning & Technology, 26(2), 5–24. https://doi.org/10.64152/10125/73474

Godwin-Jones, R. (2024). Distributed agency in second language learning and teaching through generative AI. Language Learning & Technology, 28(2), 5–31. https://doi.org/10.64152/10125/73570

Hellmich, E. A., & Vinall, K. (2023). Student use and instructor beliefs: Machine translation in language education. Language Learning & Technology, 27(1), 1–27. https://doi.org/10.64152/10125/73525

Hicks, M. T., Humphries, J., & Slater, J. (2024). ChatGPT is bullshit. Ethics and Information Technology, 26(2), Article 38. https://doi.org/10.1007/s10676-024-09775-5

Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. European Journal of Education, 57(4), 542–570. https://doi.org/10.1111/ejed.12533

Jeon, J., & Lee, S. (2023). Large language models in education: A focus on the complementary relationship between human teachers and ChatGPT. Education and Information Technologies, 28(12), 15873–15892. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11834-1

Jolley, J., & Maimone, L. (2025). Machine translation and language teaching and learning. Language Teaching, 58(2), 173–191. https://doi.org/10.1017/S0261444824000466

Kern, R. (2024). Twenty-first century technologies and language education: Charting a path forward. The Modern Language Journal, 108(2), 515–533. https://doi.org/10.1111/modl.12924

Knowles, C. L. (2022). Using an ADAPT approach to integrate Google Translate into the second language classroom. L2 Journal, 14(1). https://doi.org/10.5070/L214151690

Kohnke, L., Moorhouse, B. L., & Zou, D. (2023). ChatGPT for language teaching and learning. RELC Journal, 54(2), 537–550. https://doi.org/10.1177/00336882231162868

Pérez-Paredes, P., Curry, N., & Ordoñana-Guillamón, C. (2025). Critical AI literacy for applied linguistics and language education students. Journal of China Computer-Assisted Language Learning, 5(2), 175–214. https://doi.org/10.1515/jccall-2025-0005

Pym, A., & Hao, Y. (2025). How to augment language skills: Generative AI and machine translation in language learning and translator training. Routledge.

Tacelosky, K., Sue Kasun, G., Shapiro, B. R., Liao, Y., & Harris, K. (2025). Exploring critical AI literacy in language education: A case study. Foreign Language Annals, 58(4), 966–994. https://doi.org/10.1111/flan.70029

Tao, Y., Viberg, O., Baker, R. S., & Kizilcec, R. F. (2024). Cultural bias and cultural alignment of large language models. PNAS Nexus, 3(9), Article pgae346. https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae346

UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. https://doi.org/10.54675/EWZM9535

Vinall, K., Wen, W., & Hellmich, E. A. (2024). Investigating L2 writers' uses of machine translation and other online tools. Foreign Language Annals, 57(2), 499–526. https://doi.org/10.1111/flan.12733

Wu, J.-Y., Lee, Y.-H., Chai, C. S., & Tsai, C.-C. (2025). Strengthening human epistemic agency in the symbiotic learning partnership with generative artificial intelligence. Educational Researcher, 54(6), 358–368. https://doi.org/10.3102/0013189X251333628

Who Owns Intelligence? A Conceptual Framework of Epistemic Inequality and Teacher Professionalism in the Age of Personal AI

Bora BAŞARAN[1]

1bbasaran@anadolu.edu.tr; Anadolu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Yabancı Diller Bölümü, Eskişehir/ Türkiye.

Özet

Üretken yapay zekâ (YZ), sıklıkla bilgiye erişimi genişleten veya daraltan bir teknoloji olarak tartışılmaktadır. Bu kavramsal makale, böylesi bir çerçevenin yaşanan dönüşümün derinliğini hafife aldığını savunmaktadır. Tarihsel bilgi rejimleri, dijital eşitsizlik, eğitimde yapay zekânın eleştirel incelemesi, bilişsel yük aktarımı (cognitive offloading) ve öğretmen profesyonelliği üzerine yapılan çalışmaları bir araya getiren bu makale; bilginin artık yalnızca erişilen/geri çağrılan istikrarlı bir nesne olmadığı, aksine eşit olmayan kapasitelere sahip sistemler tarafından gerçek zamanlı olarak üretilen, kişiselleştirilen ve eyleme dönüştürülebilir hale getirilen bir hizmet olduğu, YZ aracılı yeni bir bilgi düzenine dair teorik bir açıklama geliştirmektedir.

Makale, bu düzen içinde epistemik (bilgisel) erişilebilirliği; maddi erişim, yetkinlik erişimi ve epistemik erişimden oluşan üç boyutlu bir yapı olarak kavramsallaştırmakta ve YZ destekli analiz, sentez, planlama ve karar alma süreçlerine katmanlı erişimi tanımlamak için "bilişsel artırım uçurumu" (cognitive augmentation divide) kavramını ortaya koymaktadır.

Ardından makale, bu dönüşümün okulların ve öğretmenlerin temel bilgi aracıları olan tarihsel rolünü ortadan kaldırmadan sarstığını savunmakta ve altı rol etrafında şekillenen aktarım sonrası (post-transmission) bir öğretmen profesyonelliği modeli önermektedir: epistemik küratör, anlam arabulucusu, YZ-insan etkileşimi tasarımcısı, epistemik güven kalibratörü, bilişsel özerklik koruyucusu ve kültürel ile etik çapa. Bu roller, "epistemik yönetişim" üst kavramı altında bütünleştirilmiştir.

Makale, öğretmen eğitimi için temel zorluğun, mevcut müfredata YZ araçlarının eklenmesi değil; bilgi üretiminin, yorumlanmasının ve pedagojik karar alma süreçlerinin akıllı sistemlerle giderek daha fazla paylaşıldığı koşullar için mesleki uzmanlığın yeniden inşa edilmesi olduğu sonucuna varmaktadır. Bu çerçeve, eşlik eden ampirik bir çalışmada rapor edilen, öğretmen adaylarına yönelik "Epistemik

Erişilebilirlik Ölçeği" aracılığıyla şu anda uygulanabilir hale getirilmektedir (operasyonelleştirilmektedir).

Anahtar Kelimeler: üretken yapay zekâ; epistemik eşitsizlik; epistemik yönetişim; öğretmen profesyonelliği; öğretmen eğitimi; bilişsel artırım; dijital uçurum

Abstract

Generative artificial intelligence (AI) is frequently discussed as a technology that widens or narrows access to information. This conceptual article argues that such framing understates the depth of the transformation. Drawing together scholarship on historical knowledge regimes, digital inequality, the critical study of AI in education, cognitive offloading, and teacher professionalism, the article develops a theoretical account of an emerging AI-mediated knowledge order in which knowledge is no longer only a stable object to be retrieved but a service that is generated, personalized, and rendered actionable in real time by systems of unequal capability. Within this order, the article conceptualizes epistemic accessibility as a three-dimensional construct comprising material access, competency access, and epistemic access, and introduces the notion of a cognitive augmentation divide to describe stratified access to AI-supported analysis, synthesis, planning, and decision making. The article then argues that this transformation destabilizes (without abolishing) the historical role of schools and teachers as primary intermediaries of knowledge, and it proposes a post-transmission model of teacher professionalism organized around six roles: epistemic curator, meaning mediator, AI–human interaction designer, epistemic trust calibrator, cognitive autonomy protector, and cultural and ethical anchor. These roles are integrated under the superordinate concept of epistemic governance. The article concludes that the central challenge for teacher education is not the addition of AI tools to existing curricula but the reconstruction of professional expertise for conditions in which knowledge production, interpretation, and pedagogical decision making are increasingly shared with intelligent systems. The framework is currently being operationalized through the Epistemic Accessibility Scale for preservice teachers, currently being operationalized in an ongoing companion empirical study.

Keywords: generative artificial intelligence; epistemic inequality; epistemic governance; teacher professionalism; teacher education; cognitive augmentation; digital divide.

INTRODUCTION

For much of the history of formal education, the central problem of education could be summarized in a single imperative: make knowledge accessible. Schools, textbooks, libraries, and teachers were organized around the scarcity of reliable knowledge and the difficulty of distributing it. The expansion of the internet appeared to resolve much of this problem by making unprecedented volumes of information retrievable at low cost, and the study of digital inequality accordingly shifted from access to devices toward differences in skills, uses, and outcomes (Lythreatis et al., 2022). Generative AI, however, introduces a change of a different kind. Large language models do not primarily store and return existing documents; they generate text, explanations, translations, analyses, plans, and code in response to individual prompts, adapting their output to the user's stated purpose, context, and level (Kasneci et al., 2023). In doing so, they shift the locus of transformation from access to information toward the production and personalization of knowledge itself.

This article develops the theoretical implications of that shift for schools, teachers, and the universities that prepare them. Ownership in the title is used not in a narrowly legal sense but as a composite of access, control, evaluative authority, and accountability over AI-mediated intelligence. Its central claim is that generative AI is best understood not as another information technology but as the infrastructure of an emerging AI-mediated knowledge order, in which what an individual can know and do with knowledge depends increasingly on the capability of the AI systems available to that individual. Because access to the most capable systems is distributed unevenly (through pricing, infrastructure, language coverage, and the competencies required to use them well) this order is simultaneously democratizing and stratifying. International policy analysis has already warned that generative AI may deepen existing inequities in education if questions of access, data, and capability are left unaddressed (Miao & Holmes, 2023). The conceptual vocabulary needed to analyze this stratification, however, remains fragmented. Three bodies of scholarship speak to parts of the problem without integrating them. First, research on the digital divide has documented inequalities at the levels of access, skills and uses, and outcomes (Lythreatis et al., 2022), and communication research has identified algorithmic knowledge gaps; socioeconomically patterned differences in people's understanding of the algorithmic systems that curate their information environments (Cotter & Reisdorf, 2020). This literature, however, was largely developed for search and social media rather than for generative systems that produce personalized knowledge. Second, critical scholarship on AI in education has traced the history, politics, and commercial dynamics of the field (Williamson

& Eynon, 2020) and has warned against hype, harms, and value-laden claims (Selwyn, 2022), while reviews of AI in education have mapped what existing systems actually do and on which pedagogical assumptions they rest (Holmes & Tuomi, 2022). This work problematizes AI in education but has devoted less systematic attention to the specific question of how stratified access to generative capability reshapes the epistemic foundations of teaching as a profession. Third, an expanding literature defines AI literacy and AI competencies for learners and teachers (Markauskaite et al., 2022; Miao & Cukurova, 2024; Ng et al., 2021), yet a scoping review indicates that research on AI literacy in teacher education remains scarce and conceptually unsettled (Sperling et al., 2024), and competency frameworks by design specify what teachers should be able to do rather than re-examining what teaching is for when knowledge transmission no longer provides a sufficient or exclusive basis for professional authority. The gap addressed here is therefore theoretical and integrative rather than empirical: existing literatures describe unequal access, criticize AI in education, and enumerate competencies, but they do not provide a coherent account that connects (a) the historical transformation of knowledge from scarce object to generated service, (b) the resulting new forms of epistemic inequality, and (c) the consequences of both for the professional identity of teachers and the epistemological assumptions of teacher education. The article addresses this gap by pursuing four questions. First, how does generative AI reconfigure the production, personalization, and use of knowledge relative to earlier knowledge regimes? Second, what forms of epistemic inequality emerge when access to advanced personal AI is stratified, and along which dimensions should such access be analyzed? Third, in what sense does an AI-mediated knowledge order destabilize; rather than abolish the historical knowledge functions of schools and teachers? Fourth, what conception of teacher professionalism follows from this analysis, and what would it imply for the restructuring of teacher education?

The article contributes in three ways. Conceptually, it proposes epistemic accessibility as a three-dimensional construct (material, competency, and epistemic access) and introduces the notions of a cognitive augmentation divide and an algorithmically stratified knowledge order. Theoretically, it advances a destabilization thesis regarding the school's historical position as knowledge intermediary and elaborates a post-transmission model of teacher professionalism whose six roles are integrated under the superordinate concept of epistemic governance. For practice and policy, it derives implications for teacher education programs that go beyond the integration of AI tools into existing curricula. Throughout, the article distinguishes explicitly between claims grounded in the cited literature, theoretical interpretations advanced by the author, and open questions that require empirical investigation.

Nature of the Argument and Conceptual Approach

This is a conceptual, theory-building article, not an empirical study. It contains no data collection, participants, or statistical analysis, and none of its claims should be read as empirical findings of the present work. The argument is constructed through integrative conceptual synthesis: literatures on historical knowledge regimes, digital inequality, the critical study of AI in education, cognitive offloading, AI literacy, and teacher professionalism are brought into a single analytical frame, and new constructs are proposed where existing vocabulary proves insufficient. Empirical studies are cited to ground premises, and their evidential status; including design limitations such as correlational data, is stated where relevant. Four criteria guided the construction of the argument. First, conceptual precision: each proposed construct is defined and differentiated from adjacent constructs such as digital divide, AI literacy, and teacher-as-facilitator. Second, internal coherence: the diagnosis of the knowledge order, the account of inequality, and the model of teacher professionalism are designed to follow from one another. Third, restraint: where the argument moves beyond what the literature supports, this is marked as theoretical interpretation, and deterministic formulations are avoided. Fourth, generativity: constructs are formulated so that they can be operationalized in subsequent empirical research, and directions for such research are specified. The reference base was deliberately restricted to sources whose bibliographic details could be independently verified; this keeps the citation apparatus defensible at the cost of breadth, a trade-off discussed in the limitations section.

From Stable Knowledge Objects to On-Demand Generative Services: Transforming the Knowledge Order

Historical scholarship on print culture provides a useful baseline for understanding what is new in the present transformation. Eisenstein (1979) argued that the printing press changed European knowledge not merely by multiplying copies but by stabilizing texts: typographical fixity allowed knowledge to accumulate, to be compared across editions, and to circulate beyond the institutions that had previously controlled manuscript reproduction. Two structural features of this print-based knowledge regime deserve emphasis. First, knowledge was scarce and bound to material carriers, so that access was stratified by wealth, class, language, and institutional membership. Second, and crucially for the present argument, print made the object of access relatively stable and publicly shared. Readers of the same edition generally confronted a common textual reference; what differed was their capacity to read, interpret, contextualize, and apply it. Inequality under this regime therefore operated primarily at the points of access and interpretation, while the printed

knowledge object functioned as a comparatively stable common reference. This shared-reference property became especially pronounced with print and was subsequently retained in most forms of digital documentation. The internet altered the economics of this regime without abolishing its logic. Search engines and open repositories dramatically lowered the cost of locating and retrieving documents, shifting the analytically interesting inequalities from physical access toward skills, uses, and outcomes (Lythreatis et al., 2022). Yet what users retrieved were still, for the most part, stable objects: pages, articles, and videos that existed prior to and independently of the individual query. Algorithmic curation already personalized which objects users encountered, and understanding of this curation was itself unequally distributed (Cotter & Reisdorf, 2020). Generative AI therefore does not introduce personalization for the first time; rather, it moves personalization from the selection and ranking of existing objects into the generation of the content itself. Even so, the retrieved objects of the internet era generally remained shared referents in principle.

Generative AI and the Emergence of Personalized Knowledge Services

Generative AI breaks with the same-text property. Large language models produce output that did not exist before the interaction and that is conditioned on the individual prompt, the conversation history, the user's language and framing, and the capability of the specific model employed (Kasneci et al., 2023). Reviews of AI in education have described the broader family of such systems and emphasized that their significance lies less in automating instruction than in changing how knowledge-related tasks are distributed between humans and machines (Holmes & Tuomi, 2022), a perspective elaborated in the concept of hybrid human–AI configurations in which control over cognitive and regulatory tasks is shared and shifted between learner and system (Molenaar, 2022). Seen through this lens, knowledge in an AI-mediated order takes on the character of a service rather than an object: it is generated on demand, adapted to the individual, and frequently delivered together with proposed interpretations, comparisons, plans, and courses of action. It is important to formulate this claim with care. Generated output is not necessarily knowledge in the classical epistemological sense of justified true belief; models produce plausible text that may be inaccurate, and their internal operations are not inspectable in ways that permit users to trace how a given judgment was formed (Bearman & Ajjawi, 2023). The claim developed here therefore uses "knowledge service" in a functional and sociological sense; it does not

imply that every generated proposition satisfies the epistemological conditions of knowledge. Precisely for this reason, however, the practical epistemic situation of the individual changes: what the user receives is not a stable, publicly shared text whose provenance can be examined, but a personalized artifact whose reliability must be evaluated without direct access to its sources or reasoning. The transformation can be summarized as three transitions, each of which is a theoretical characterization rather than an empirical finding: from knowledge scarcity to generated abundance; from equal texts to unequal generative capability; and from information access to cognitive augmentation, in which analysis, synthesis, writing, planning, and decision support (not only information retrieval) are externalized to machine systems. A fourth transition, from knowledge transmission to epistemic governance, concerns institutions and is developed later in the article. As summarized in Figure 1, these developments represent a progression from object-based knowledge regimes toward an AI-mediated order in which knowledge is generated, personalized, and increasingly subject to epistemic governance.

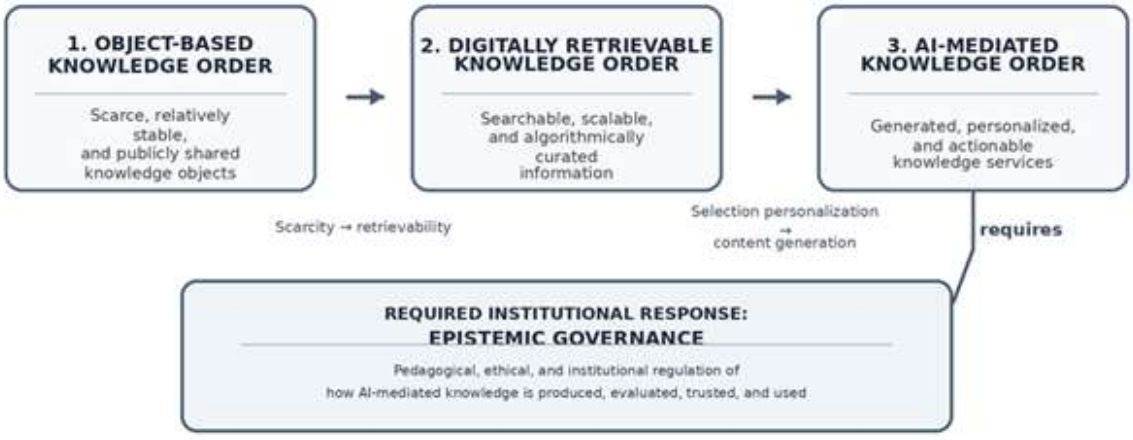


Figure 1. *The Transformation of the Knowledge Order and the Emergence of Epistemic Governance*

The figure traces the movement from relatively stable and publicly shared knowledge objects, through digitally retrievable and algorithmically curated information, to AI-mediated knowledge services that are generated, personalized, and rendered actionable. Epistemic governance is not presented as a fourth knowledge regime, but as the pedagogical, ethical, and institutional response required to regulate how AI-mediated knowledge is produced, evaluated, trusted, and used.

Epistemic Inequality in an AI-Mediated Knowledge Order

If knowledge increasingly reaches individuals as a generated, personalized service, then the question of who can access that service; and at what level of quality, becomes a question about the distribution of epistemic capability itself. The digital divide literature offers a starting point: research distinguishes divides of access, of skills and uses, and of outcomes (Lythreatis et al., 2022). Building on but extending this framework, the present article proposes that access to AI-mediated knowledge should be analyzed as epistemic accessibility, a construct with three interdependent dimensions. Material access denotes access to devices, connectivity and computation and, distinctively for generative AI, access to the more capable tiers of AI systems. Frontier models are typically commercialized through tiered subscriptions and usage-based pricing, and their performance differs across languages and domains; international guidance has explicitly identified the risk that such conditions reproduce and deepen existing digital inequities (Miao & Holmes, 2023). Material access is thus no longer binary (connected or not) but graduated: individuals may be connected yet confined to lower-capacity systems. Competency access denotes the operational and strategic ability to formulate goals, prompt, compare outputs, and use AI systems effectively and ethically for a given task. This dimension corresponds to the rapidly developing literature on AI literacy, which encompasses knowing and understanding AI, using and applying it, evaluating and creating with it, and attending to its ethical implications (Ng et al., 2021), as well as to broader accounts of the capabilities people need to live and work productively in a world with AI (Markauskaite et al., 2022). Two individuals with identical material access can extract very different epistemic value from the same system, because outcomes depend on the quality of their goals, prompts, task strategies, and domain knowledge.

Epistemic access, the third and least developed dimension, denotes access to the conceptual resources, disciplinary standards, provenance cues, and evaluative conditions needed to judge the reliability, limits, assumptions, and orientations of AI-generated claims. Its antecedent in the pre-generative literature is the algorithmic knowledge gap: understanding of how algorithms shape information environments is unevenly distributed and patterned by socioeconomic background (Cotter & Reisdorf, 2020). Generative systems intensify the problem because their outputs are fluent, individualized, and detached from inspectable sources, so that evaluating them requires a form of evaluative judgment that must be exercised against an opaque system (Bearman & Ajjawi, 2023). Epistemic access is therefore not reducible to operational skill; it concerns whether users possess the epistemic resources required to hold generated claims accountable. The three dimensions are proposed as jointly necessary. Free or subsidized access to AI tools

addresses only the material dimension; without competency and epistemic access, nominally equal access can coexist with (and even mask) deep inequality in what individuals are actually able to know and do. This is a conceptual claim, but it is consistent with the digital divide literature's repeated finding that inequalities persist and re-form at the levels of use and outcomes even where physical access has been broadly achieved (Lythreatis et al., 2022).

The Cognitive Augmentation Divide

The potential-level counterpart of unequal epistemic accessibility is unequal cognitive augmentation capacity; the cognitive augmentation divide refers more specifically to systematic differences in the realized educational and practical outcomes produced when that capacity is used. Individuals with sustained access to advanced personal AI systems, together with the competencies to direct and evaluate them, may acquire an epistemic and practical advantage (in the speed and quality of analysis, writing, planning, and decision preparation) over those whose access is limited, intermittent, or confined to lower-capacity systems. The formulation is deliberately probabilistic; the size and persistence of such advantages are empirical questions that current evidence does not settle. What the divide concept adds analytically is a shift of attention from who reaches information to whose thinking and acting are augmented, by systems of what capability, under whose control.

Framed in terms of epistemic injustice, this stratification has a distributive face and a hermeneutical face. Fricker (2007) distinguished injustices in which individuals are wronged in their capacity as knowers, including hermeneutical injustice, in which people lack the shared interpretive resources needed to make sense of their own social experience, and she noted that epistemic goods such as information and education can also be unjustly distributed. Extending this vocabulary; as a theoretical interpretation rather than a claim found in Fricker's text, one may say that an AI-mediated knowledge order risks a distinctive distributive epistemic injustice, in which the good being unequally distributed is not information but augmented epistemic agency; and a new hermeneutical risk, insofar as the interpretive frames embedded in widely used models are produced by a small number of actors and may not represent the languages, cultures, and experiences of all user communities equally. Figure 2 illustrates how the three dimensions of epistemic accessibility jointly shape cognitive augmentation capacity and how inequalities across these dimensions may culminate in a cognitive augmentation divide.

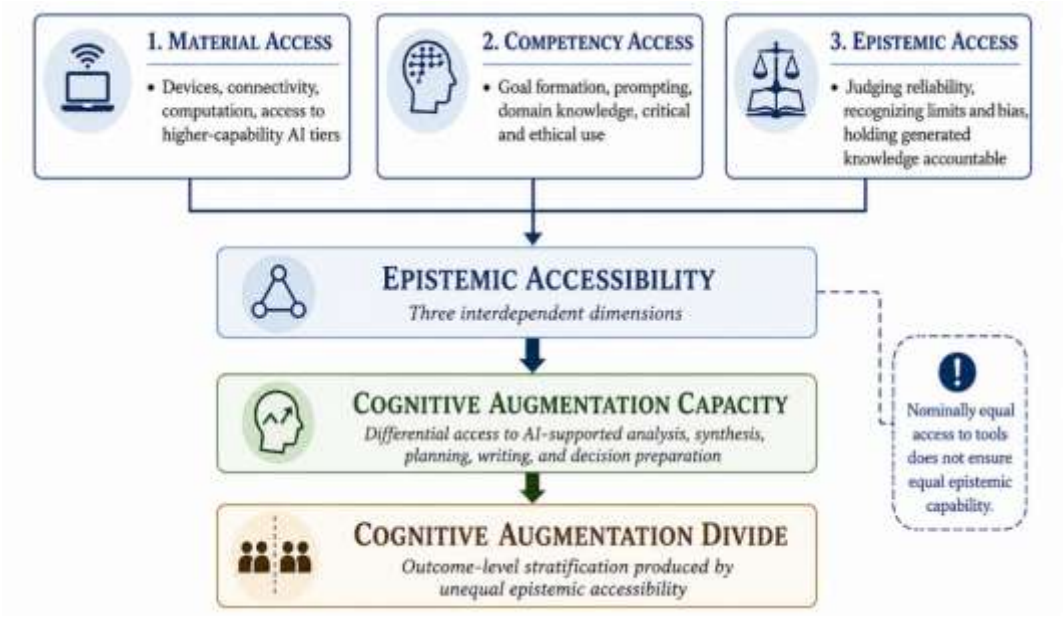


Figure 2. *Epistemic Accessibility and the Cognitive Augmentation Divide*

Epistemic accessibility comprises three interdependent dimensions: material access, competency access, and epistemic access. Together, these dimensions shape an individual's capacity to benefit from AI-supported analysis, synthesis, planning, writing, and decision preparation. Unequal epistemic accessibility may therefore produce an outcome-level cognitive augmentation divide. Nominally equal access to AI tools does not necessarily ensure equal epistemic capability.

PERSONALIZED KNOWLEDGE, CENTRALIZED INTELLIGENCE: A HUMANISTIC PARADOX

These considerations sharpen a paradox that historical analogies tend to obscure. It is tempting to describe generative AI as a new printing press and to expect a correspondingly emancipatory redistribution of knowledge. Yet the analogy is imperfect in a decisive respect. Print multiplied identical objects whose interpretation was decentralized to readers; generative AI personalizes knowledge while centralizing the infrastructure of its production in a small number of models, platforms, and firms. Critical scholarship on AI in education has documented the commercial and political interests embedded in the field and cautioned against treating its technologies as neutral instruments (Selwyn, 2022; Williamson & Eynon, 2020). The paradox, stated as a guiding question rather than a conclusion, is this: can an

AI-mediated knowledge order remain humanistic; in the sense of expanding the epistemic agency of persons as such, if access to cognitive augmentation is economically and technologically stratified and the means of knowledge generation are concentrated? Unlike the long unfolding of print culture, moreover, the present transformation is compressed into years rather than centuries, leaving institutions little time to develop the interpretive and normative frameworks through which the tension between personalized access and centralized control might be addressed. The article does not claim that a countervailing intellectual movement is impossible, only that its emergence cannot be assumed and that education systems are among the few institutions positioned to cultivate it deliberately.

What Schools Do Besides Transmit Knowledge

A recurring inference in public debate holds that if machines can generate, store, and deliver knowledge, then the institutions built to transmit it become redundant. This inference fails because its premise mischaracterizes schools. Schools transmit knowledge, but they also legitimize it, deciding (through curricula, examinations, and credentials) what counts as worth knowing; they sequence and organize learning over years; they socialize members of a society into shared practices, norms, and collective memory; and they form identities and citizens. These functions are analytically separable from transmission, and most of them are not performed by generative systems. Critical analyses of AI in education have likewise warned against evaluating the technology through narrow visions of education's purposes (Holmes & Tuomi, 2022; Selwyn, 2022). The defensible thesis is therefore one of destabilization rather than obsolescence: artificial intelligence does not make schools redundant, but it destabilizes their historically privileged position as primary intermediaries in the organization, interpretation, and transmission of knowledge. When students with sufficient access can obtain fluent, personalized explanations, worked examples, translations, and feedback outside school, the school's claim to be the primary intermediary of knowledge weakens, and the value it adds must be relocated in the functions that generative systems do not perform: legitimation, curation, socialization, the formation of judgment, and the protection of learning processes themselves.

Cognitive Offloading and the Protection of Learning Processes

The last of these functions requires elaboration, because it is where the risks of the new order intersect most directly with pedagogy. Cognitive offloading; the use of external actions or artifacts to reduce the information-processing demands of a task, is a well-documented and often adaptive feature of human cognition (Risko & Gilbert,

2016). Generative AI, however, extends offloading from memory and calculation into the core operations that education exists to develop: analysis, synthesis, argumentation, and composition. Early evidence gives grounds for vigilance. In a mixed-methods study of 666 participants in the United Kingdom, Gerlich (2025) reported a negative association between frequent AI tool use and measured critical thinking, statistically mediated by cognitive offloading, with younger participants showing both higher AI reliance and lower critical thinking scores and with educational attainment buffering part of the association. Because the design was cross-sectional, these findings support concern rather than causal conclusions; heavier reliance may erode critical thinking, weaker critical thinking may invite reliance, or both may reflect third factors. Precisely this uncertainty, however, is pedagogically consequential: education systems cannot wait for longitudinal resolution before deciding how to organize students' relations to systems that make the wholesale delegation of thinking effortless. A complementary risk concerns trust. Because generative systems are opaque and their outputs fluent, learners must calibrate trust in judgments whose derivation they cannot inspect; pedagogy in such conditions, it has been argued, must deliberately develop evaluative judgment; the capacity to appraise the quality of one's own and others' work, including machine-generated work, against internalized standards (Bearman & Ajjawi, 2023). Research on hybrid human–AI learning likewise emphasizes that the distribution of control between learner and system is a design decision with consequences for the development of self-regulation, not an automatic by-product of the technology (Molenaar, 2022). Taken together, these strands indicate that the school's emerging comparative advantage lies less in delivering knowledge than in governing the conditions under which learners think with, against, and without intelligent systems.

Post-Transmission Teacher Professionalism: Six Roles and an Integrating Concept

What, then, becomes of the teacher? The familiar answer; that the teacher shifts from sage on the stage to facilitator, predates generative AI and no longer discriminates among the tasks that actually matter. Facilitation described a redistribution of activity between teacher and learner; the present transformation redistributes epistemic functions among teacher, learner, and machine. The following six roles are proposed as an analytical model of teacher professionalism under these conditions. They are theoretical constructions, grounded where possible in the cited literature, and are intended as hypotheses for empirical and design-based investigation rather than as descriptions of current practice. Table 1 summarizes the model. The six roles can be summarized as follows. Table 1 presents the model in full, and a fuller elaboration of each role; including illustrative practices and testable propositions, is reserved for the

extended journal version. The epistemic curator evaluates which knowledge, human- or machine-generated, is reliable and worth learning, responding to generated abundance with warranted selection. The meaning mediator restores the context, provenance, consequences, and limits of application that generated answers strip away. The AI–human interaction designer decides for which tasks students use AI and where human reasoning must intervene, operationalizing the deliberate distribution of control described in hybrid human–AI research (Molenaar, 2022). The epistemic trust calibrator develops conditional, verification-based trust toward opaque systems, translating the problem of evaluative judgment (Bearman & Ajjawi, 2023) and unevenly distributed algorithmic understanding (Cotter & Reisdorf, 2020) into pedagogy. The cognitive autonomy protector safeguards developmentally necessary cognitive operations from premature offloading, taking seriously both its adaptive value (Risko & Gilbert, 2016) and the associations between heavy AI reliance and weaker critical thinking reported in early, cross-sectional research (Gerlich, 2025). Finally, the cultural and ethical anchor ties knowledge practices to local culture, language, and values, counterbalancing the homogenizing tendencies of centrally produced models and the equity risks identified in international guidance (Miao & Holmes, 2023; Selwyn, 2022; Williamson & Eynon, 2020).

Epistemic Governance as the Integrating Concept

The six roles are not a list of additional duties; they are facets of a single professional function that this article terms epistemic governance: the deliberate pedagogical, ethical, and institutional regulation of the relations among learners, knowledge, and intelligent systems. Under this concept, the teacher is no longer primarily a carrier of knowledge but the professional who governs how a particular community of learners produces, evaluates, trusts, and uses knowledge in an environment populated by machine generators of it. The concept deliberately echoes the language of governance rather than of delivery or facilitation, because the object of professional action is a set of relations: between students and systems, between generated output and disciplinary standards, between augmentation and autonomy, rather than a body of content. Stated as the article's central thesis: the teacher becomes the pedagogical, epistemic, and ethical regulator of the human–knowledge–AI relationship, and teacher professionalism should be reconstructed around this function.

Table 1. *A Post-Transmission Model of Teacher Professionalism*

Role	Core question	Primary function	Principal risk addressed
Epistemic curator	Which knowledge deserves attention?	Evaluates and selects reliable, significant knowledge; makes selection criteria visible	Generated abundance without warrant
Meaning mediator	What does this knowledge mean here?	Restores context, provenance, consequences, and limits of application	Decontextualized, answer-shaped knowledge
AI–human interaction designer	How should learners work with AI?	Designs task allocation and shifting control between learner and system	Unreflective, default-driven AI use
Epistemic trust calibrator	When is reliance on AI justified?	Develops conditional trust and verification practices toward opaque systems	Blind trust or blanket rejection
Cognitive autonomy protector	What must learners still do themselves?	Protects developmentally necessary cognitive operations from premature offloading	Dependence and erosion of independent thinking
Cultural and ethical anchor	Whose knowledge, values, and language?	Ties knowledge practices to local culture, ethics, and social responsibility	Homogenization by centrally produced models

The six roles are proposed as facets of a single professional function, epistemic governance, defined as the deliberate pedagogical, ethical, and institutional regulation of the relations among learners, knowledge, and intelligent systems. The model is a theoretical construction intended for empirical and design-based investigation. As illustrated in Figure 3, the six proposed roles converge within the broader professional function of epistemic governance. They should therefore be understood not as separate additions to the teacher's workload, but as interdependent dimensions of a reconstructed professional responsibility for regulating how knowledge is produced, evaluated, trusted, and used in human–AI educational environments.

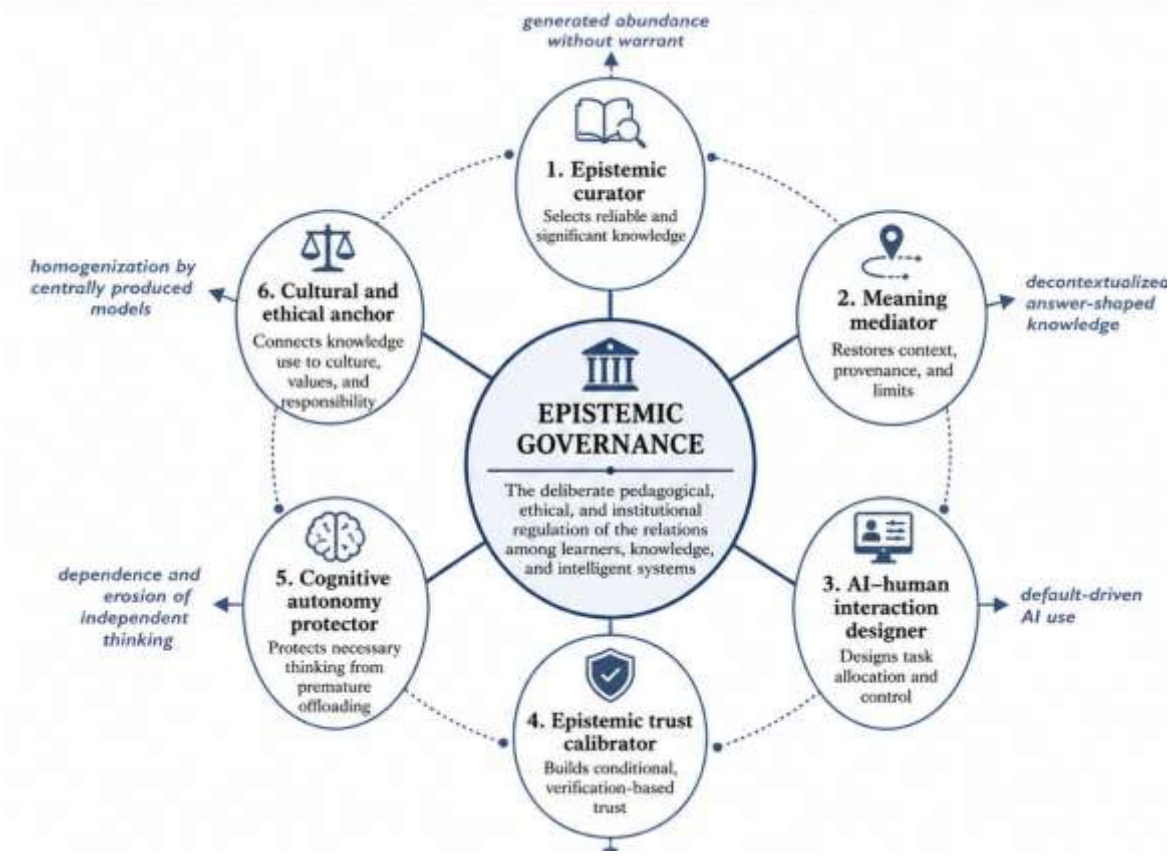


Figure 3. *Epistemic Governance in Post-Transmission Teacher Professionalism*

The six roles are conceptualized as interdependent facets of epistemic governance rather than as unrelated professional duties. The epistemic curator, meaning mediator, AI–human interaction designer, epistemic trust calibrator, cognitive autonomy protector, and cultural and ethical anchor collectively regulate the relations among learners, knowledge, and intelligent systems. Each role responds to a distinct risk arising within an AI-mediated knowledge order.

IMPLICATIONS FOR TEACHER EDUCATION

Teacher education institutions are doubly implicated in the transformation described above: their graduates must exercise epistemic governance, and their own programs rest on assumptions that generative AI weakens. At least five such assumptions can be identified analytically. First, that the teacher commands more subject knowledge than the student can readily obtain elsewhere; second, that the teacher is the principal explainer of content; third, that course

content can be specified in advance and remains relatively stable; fourth, that student performance can be assessed through outputs presumed to be individually produced; and fifth, that academic and professional competence consists in possessing knowledge and reproducing it correctly. Each assumption is challenged when fluent explanation, personalized content, and high-quality text generation are ubiquitously available; concerns about assessment integrity and the the redistribution of explanatory work have been raised since the earliest analyses of large language models in education (Kasneci et al., 2023). The five-assumption formulation itself is offered as an analytical scheme, not as an empirical inventory of existing programs.

The prevailing institutional response has been additive: courses, modules, and frameworks that equip prospective teachers to use AI tools. Such work is necessary. Conceptualizations of AI literacy specify what knowing, using, evaluating, and ethically situating AI involve (Ng et al., 2021); capability frameworks articulate what living and working with AI demands of learners (Markauskaite et al., 2022); and UNESCO's competency framework for teachers organizes fifteen competencies across a human-centered mindset, the ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional development (Miao & Cukurova, 2024). Yet the research base underneath these efforts remains thin: a scoping review found the literature on AI literacy in initial teacher education to be scarce and conceptually unsettled (Sperling et al., 2024). More fundamentally; and this is the article's theoretical claim rather than a finding of that review, tool-oriented approaches leave untouched the epistemological self-understanding of teacher education: they add AI to a curriculum whose implicit model of teaching remains transmission. If the analysis developed here is correct, the central challenge for teacher education is not the integration of AI tools into existing curricula but the reconstruction of teacher professionalism for conditions in which knowledge production, interpretation, and pedagogical decision making are increasingly shared with intelligent systems.

Programmatic Directions

Four directions follow from the model, formulated as design propositions open to evaluation. First, epistemology must move from the implicit background to the explicit foreground of professional preparation: prospective teachers need structured opportunities to study how knowledge is produced, stabilized, personalized, and contested in an AI-mediated order, including the historical perspective that makes the present transformation legible. Second, programs should cultivate evaluative judgment about machine output as a core professional capability; through

recurring practice in appraising, verifying, and improving generated artifacts against disciplinary standards, rather than as an add-on skill (Bearman & Ajjawi, 2023). Third, equity must be treated as curriculum content and not only as policy context: the three dimensions of epistemic accessibility give prospective teachers an analytical instrument for recognizing how their own students' AI access; material, competency-based, and epistemic, differs, and for designing instruction that does not silently presuppose the most advantaged configuration (Lythreatis et al., 2022; Miao & Holmes, 2023). Fourth, assessment in teacher education itself requires redesign toward formats in which the candidate's judgment, design decisions, and governance of AI-supported processes; rather than the unaided production of text, constitute the object of evaluation. These directions reposition frameworks such as the UNESCO teacher competencies (Miao & Cukurova, 2024) as necessary components within a larger reconstruction, rather than as sufficient responses in themselves.

DISCUSSION

The article's contribution is primarily conceptual and theoretical. Conceptually, it introduces and defines epistemic accessibility (material, competency, epistemic), the cognitive augmentation divide, the algorithmically stratified knowledge order, and epistemic governance, and it specifies how these constructs relate to, and differ from, the digital divide, algorithmic knowledge gaps, AI literacy, and facilitation discourse. Theoretically, it links three literatures that have developed largely in parallel (digital inequality, critical studies of AI in education, and teacher professionalism) into a single argument that runs from the transformation of the knowledge order, through its stratification, to the reconstruction of the teaching profession. For policy and practice, it reframes the question institutions should ask: not only how teachers can use AI, but how the profession and its preparation should be reorganized when transmission no longer sufficiently defines it. What the analysis enables, in short, is a way of seeing tool adoption, inequality, and professional identity as one problem rather than three.

Several objections deserve explicit treatment. First, the argument could be read as technological determinism. The intention is otherwise: the destabilization thesis claims that generative AI changes the conditions under which schools'

knowledge functions operate, not that any particular institutional outcome is inevitable; how systems, policies, and professions respond remains contingent, which is precisely why the concept of governance is central. Second, the empirical trajectory of the technology is uncertain, and critical scholarship rightly warns against building educational arguments on speculative capabilities (Selwyn, 2022). The present argument is therefore anchored in properties that current systems already exhibit (generation, personalization, fluency, opacity, and tiered commercialization) rather than in projected ones. Third, one might object that free access tiers blunt the stratification claim. The three-dimensional construct answers this objection analytically: free tiers address material access only partially, because capability differences across tiers persist, and they leave competency and epistemic access untouched. Fourth, the profession's historical resilience counsels modesty: teaching has absorbed successive technologies that were predicted to transform it, and the history of AI in education is itself long and cyclical (Williamson & Eynon, 2020). The claim here is accordingly not that teaching will change automatically, but that the epistemic ground on which its professional claims rest has shifted in a way earlier technologies; which reproduced rather than generated knowledge, did not effect.

LIMITATIONS

Three limitations bound the argument. First, it is conceptual: the proposed constructs and the six-role model have not been empirically validated, and the article deliberately refrains from claims about how widespread the described dynamics currently are in classrooms or teacher education programs. The model therefore does not license the practical conclusion that specific programs are failing; it identifies what should be examined, not what has been found. Second, the empirical premises drawn upon are early and partly fragile: the association between AI reliance and critical thinking rests on cross-sectional evidence (Gerlich, 2025), and the distributional consequences of tiered model access have not yet been quantified in education-specific research; where such evidence matures differently than anticipated, the weighting (though not the structure) of the argument would require revision. Third, the verified literature synthesized here is predominantly Anglophone and produced in well-resourced research systems, which is a substantive constraint for an argument about global epistemic inequality; the reference base was also deliberately confined to sources whose bibliographic details could be independently confirmed, which limited its breadth. Claims should therefore be generalized to low-resource and non-Anglophone contexts with caution, even though those contexts are where the stratification analyzed here may matter most.

Future Research

The framework presented here is not offered as an endpoint but as the first step of a three-stage research program, of which this paper constitutes the conceptual foundation. In the second stage, currently underway, the construct of epistemic accessibility is being operationalized as the Epistemic Accessibility Scale (EAS) for preservice teachers, with its three hypothesized dimensions (material, competency, and epistemic access) as first-order factors. The planned validation follows established psychometric practice: item development and expert review, exploratory factor analysis in a first subsample, and confirmatory analysis in a second, including the comparison of correlated-factor, higher-order, and bifactor solutions and tests of measurement invariance across gender, socioeconomic background, and year of study. The target population is preservice teachers recruited from several universities differing in region and resource level, sampled with attention to socioeconomic diversity and to differences in AI subscription status, since the material-access dimension presupposes such variance; the planned total is approximately 600 participants, split between the two analytic subsamples. In the third stage, the validated scale will be embedded in a structural model relating epistemic accessibility to the quality of AI use, cognitive offloading, and critical thinking, with the causal ambiguity of cross-sectional designs (Gerlich, 2025) stated explicitly as a boundary of interpretation. Comparative policy analysis of how national AI-in-education strategies conceptualize equity across the three dimensions remains a complementary line of inquiry.

Conclusion

This article asked what follows for schools, teachers, and teacher education when knowledge ceases to be only a scarce, shared object and becomes, additionally, a generated and personalized service whose quality depends on the AI systems a person can access and command. Its answer proceeds in three steps. The emerging knowledge order is algorithmically stratified: inequality attaches no longer mainly to the possession of texts but to material, competency-based, and epistemic access to cognitive augmentation. This order destabilizes, without abolishing, the school's historical position as the primary intermediary of knowledge, relocating its value in legitimation, curation, socialization, and the protection of learning processes. And it requires a post-transmission conception of teacher professionalism; articulated here as six roles integrated under epistemic governance, whose development is the proper task of teacher education, over and above the integration of tools. The question in the article's title is therefore not rhetorical. Who owns intelligence; who can afford it, direct it, evaluate it, and hold it accountable, is becoming a central educational

question of the period, and the profession best positioned to keep the answer humanistic is the one whose historical function the technology most visibly unsettles.

REFERENCES

Bearman, M., & Ajjawi, R. (2023). Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. British Journal of Educational Technology, 54(5), 1160–1173. https://doi.org/10.1111/bjet.13337

Cotter, K., & Reisdorf, B. C. (2020). Algorithmic knowledge gaps: A new dimension of (digital) inequality. International Journal of Communication, 14, 745–765. https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/12450

Eisenstein, E. L. (1979). The printing press as an agent of change: Communications and cultural transformations in early-modern Europe. Cambridge University Press.

Fricker, M. (2007). Epistemic injustice: Power and the ethics of knowing. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198237907.001.0001

Gerlich, M. (2025). AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking. Societies, 15(1), Article 6. https://doi.org/10.3390/soc15010006

Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. European Journal of Education, 57(4), 542–570. https://doi.org/10.1111/ejed.12533

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., … Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, Article 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Lythreatis, S., Singh, S. K., & El-Kassar, A.-N. (2022). The digital divide: A review and future research agenda. Technological Forecasting and Social Change, 175, Article 121359. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121359

Markauskaite, L., Marrone, R., Poquet, O., Knight, S., Martinez-Maldonado, R., Howard, S., Tondeur, J., De Laat, M., Buckingham Shum, S., Gašević, D., & Siemens, G. (2022). Rethinking the entwinement between artificial intelligence and human learning: What capabilities do learners need for a world with AI? Computers and Education: Artificial Intelligence, 3, Article 100056. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100056

Miao, F., & Cukurova, M. (2024). AI competency framework for teachers. UNESCO. https://doi.org/10.54675/ZJTE2084

Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. https://doi.org/10.54675/EWZM9535

Molenaar, I. (2022). Towards hybrid human-AI learning technologies. European Journal of Education, 57(4), 632–645. https://doi.org/10.1111/ejed.12527

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2, Article 100041. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041

Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. Trends in Cognitive Sciences, 20(9), 676–688. https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.07.002

Selwyn, N. (2022). The future of AI and education: Some cautionary notes. European Journal of Education, 57(4), 620–631. https://doi.org/10.1111/ejed.12532

Sperling, K., Stenberg, C.-J., McGrath, C., Åkerfeldt, A., Heintz, F., & Stenliden, L. (2024). In search of artificial intelligence (AI) literacy in teacher education: A scoping review. Computers and Education Open, 6, Article 100169. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100169

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. Learning, Media and Technology, 45(3), 223–235. https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995

Azerbaycan Komünist Gazetesinde İkinci Dünya Savaşı İzlenimleri

Dr. Aynur Asgarova PINAR[1]

[1]E-mail: 1E-mail: aynuraskerovapinar@gmail.com Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Tarih Bölümü, Eskişehir / Türkiye. ORCID: 0000-0003-2273-5270

Özet

İkinci Dünya Savaşı, Almanya'nın 22 Haziran 1941 tarihinde Sovyetler Birliği'ne saldırmasıyla bambaşka bir içerik kazanmıştır. Nazi ordularının, müttefik askeri güçlerin yanı sıra Kızıl Ordu'yu da düşman olarak kabul etmesi, Sovyet topraklarını doğal bir harp sahasına çevirmiştir. Bu geniş imparatorluğun özellikle batıdaki ve Kafkasya'daki toprakları doğrudan veya dolaylı biçimde savaştan etkilenmiş ve Kafkasya'nın merkezi konumundaki Azerbaycan da savaştan payına düşeni almak zorunda kalmıştır. Sovyet tarih yazıcılığında Büyük Vatan Savaşı olarak adlandırılan bu dönem boyunca Azerbaycan halkı, evlatlarını cephe hattına göndermek zorunda kalmıştır. Kızıl Ordu üniforması altında cepheye giden yaklaşık 600 bin Azerbaycan askerinin yarısından fazlası hayatını kaybetmiştir. Azerbaycan Türkleri'nin, Kızıl Ordu'daki faaliyetinin yanı sıra bir petrol sahası olarak Bakü'nün de savaş boyunca ordunun ihtiyaç duyduğu yakıtın neredeyse tamamına yakınını karşıladığı görülür. Savaşın, aynı zamanda rejimi güçlendirmek için en iyi fırsatlardan biri olduğu gerçeğinden hareketle dönemin Azerbaycan Komünist idaresi de basın yoluyla propaganda faaliyeti yürütmeyi ihmal etmemiştir. Özellikle Azerbaycan Komünist Gazetesi, savaşla ilgili haberlere yer verdiği gibi Azerbaycan halkına savaşı bir vatan savunması olarak sunmakta da hayli titiz davranmıştır.

Anahtar Kelimeler: İkinci Dünya Savaşı, Azerbaycan, Azerbaycan Komünist Gazetesi, Bakü Petrolleri

Abstract

The Second World War has entirely changed after the declaration of War by Germany against the Soviet Union. After the German Army has declared the Red Army as enemy the lands of the Union turned into a great battle field. Especially the western parts of the Soviet Empire and the lands in Caucasia had been directly or indirectly affected by the War. Certainly Azerbaijan as the heartland of the Caucasia has been also affected by the War. Almost six hundred thousand young people of Azerbaijan were sent to the front and more than half of them never turned back to their homes. On the other hand the rich oil sources of Azerbaijan has been presented to the service of the Red Army. In other words the Azerbaijan Turks have played important roles both in the Army and the production of the oil. The Second World War has been also utilized by the Soviet authorities to strenghten the

Communist Regime and especially the Azerbaijan Communist Newspaper has made very important activities of propaganda. The Newspaper has explained the war as the defence of homeland.

Keywords: The Second World War, Azerbaijan, Azerbaijan Communist Newspaper, Baku Oils

GİRİŞ

Her savaşın nedeni, genellikle tek ve basit bir açıklamaya indirgenemeyecek kadar karmaşıktır. Ancak özünde, İkinci Dünya Savaşı'nın temel sebebi Mihver Devletleri'nin imparatorluklarını genişletme arzusu ile Müttefik Devletlerin buna izin vermek istememesiydi. (Dowswell, 2003: 8) 1 Eylül 1939'da başlayan İkinci Dünya Savaşı, başlangıçta iki emperyalist blok arasındaki bir çatışma niteliği taşısa da kısa sürede Sovyetler Birliği için de önemli bir güvenlik tehdidi oluşturmuştur. Savaşın ilk döneminde Sovyetler Birliği, tehlikeyi kendi sınırlarından uzaklaştırmak ve ülkenin savunmasını güçlendirmek politikasını izledi. Almanya ile diplomatik ve ekonomik ilişkilerini sürdürürken aynı zamanda askerî-siyasî potansiyelini ve sınır güvenliğini de güçlendirdi. Sovyetler Birliği, Alman emperyalizminin dünya hâkimiyetini kurma hedefi önündeki en önemli engel olarak görülmekteydi. Bu kapsamda Nazi yönetimi, yalnızca Sovyet topraklarını işgal etmeyi değil aynı zamanda sosyalist toplumsal düzeni ortadan kaldırmayı da amaçlamaktaydı. Bu yönüyle, Nazi Almanya'sının, Sovyetler Birliği'ne karşı yürüttüğü savaşın hedefleri, kapitalist devletlere karşı giriştiği askeri harekatların amaçlarından temel nitelikleri itibarıyla farklılık göstermektedir. (Der Zweite Weltkrieg 1939-1945, 1985: 142) Almanya'nın Sovyetler Birliği'ne yönelik saldırı planı olan Barbarossa Harekâtı, 22 Haziran 1941'de uygulamaya konulmuş ve Alman orduları SSCB topraklarına saldırmıştır. Bu gelişmeyle birlikte İkinci Dünya Savaşı'nın seyri değişmiş, Sovyetler Birliği savaşa doğrudan dâhil olmuştur.

Savaşın ilk döneminde iyi silahlandırılmış çok sayıda askere, kapsamlı askerî tecrübeye ve üstün savaş teknolojisine sahip Almanya başarı elde ederek ülkenin iç kesimlerine kadar ilerledi. Şiddetli saldırılar karşısında geri çekilmek durumunda kalan Sovyet ordusunun kaderinin değişmesinde, Doğu Cephesi'nde Oryol-kursk çevresinde Alman ordusuna karşı gerçekleştirdiği harekatların belirleyici rolü olmuştur. (Babaş, 2020: 83-84) Almanya'nın hedefine ulaşamadığı ve stratejik durumunun belirgin biçimde kötüleştiği, Doğu'da artık yalnızca tehlikeli bir rakibinin değil uzlaşması mümkün olmayan bir düşmanın ortaya çıktığı bir durum yaşanmıştı. Bu durum, Almanya'nın yenilgiye uğrama ihtimalini büyük ölçüde artırıyordu. (Bazil, 1999: 801-814) Artık bu muharebelerde düşman ordusunun büyük

ve geniş ölçekli bir taarruz harekâtı gerçekleştirme imkânından yoksun olduğu ortaya çıkmıştır. Böylelikle, muharebenin kesin sonucunun belirleneceğine ilişkin düşmanın taşıdığı inanç tamamen ortadan kalkmıştır.

Sovyet tarih yazımında Büyük Vatan Savaşı olarak adlandırılan bu dönem, Sovyet halklarının topyekûn seferberliğiyle yürütülmüş; Azerbaycan da dâhil olmak üzere birlik içindeki tüm cumhuriyetler askerî ve ekonomik açıdan savaşa katılmıştır. (Şelemanov, 2009: 10) Azerbaycan, doğrudan bir askerî harekât sahasına dönüşmemiş olmasına rağmen, savaşın başlangıcından sonuna kadar Alman işgaline karşı yürütülen savaşta etkin bir rol üstlenmiştir. Savaşın başlamasının hemen ardından Azerbaycan Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti'nde olağanüstü hâl ve genel seferberlik ilan edilmiş, toplumun tüm kesimleri savaş ekonomisi ve savunma faaliyetleri doğrultusunda seferber edilmiştir. Cephe hattından uzakta bulunmasına rağmen kamu düzeninin korunması ve olası sabotaj girişimlerinin önlenmesi amacıyla kısa sürede 87 avcı taburu ile birlikte öz savunma birliği oluşturulmuştur.

Savaş süresince ülkenin tüm maddi ve manevi kaynakları ile insan gücü, Almanya'ya karşı yürütülen savaşın ihtiyaçları doğrultusunda seferber edilmiş ve savaş, Azerbaycan açısından son derece ağır insanî kayıplara yol açmıştır. Cepheye gönderilen yaklaşık 600 bin kişinin 300 bine yakını hayatını kaybetmiş veya kaybolmuştur. Savaş sırasında gösterilen başarılar nedeniyle 128 Azerbaycanlı asker, Sovyetler Birliği'nin en yüksek askerî nişanı olan Sovyetler Birliği Kahramanı unvanına layık görülmüştür. Ancak savaşın yol açtığı can kayıpları, ülkenin ekonomik gelişimini ve demografik yapısını uzun yıllar olumsuz yönde etkilemiştir. (Halk Gazetesi, 9 Mayıs 2026, S. 81: 14) Azerbaycanlı askerler ve gönüllülerden oluşturulan 77, 223, 336, 402 ve 416. Millî Piyade Tümenleri, Kafkasya'dan Berlin'e kadar uzanan harekâtlarda görev almıştır. Azerbaycanlı askerler, Doğu Cephesi'ndeki önemli muharebelerin yanı sıra Polonya, Çekoslovakya ve Yugoslavya'nın kurtuluş operasyonları ile Berlin Muharebesi'nde de görev yapmıştır. (İktisadiyyat Gazetesi, 25 Haziran – 8 Temmuz 2020: 5)

Sovyet halkının mücadelesi, Alman silahlı kuvvetleri ile Alman İmparatorluğu'nun ikmâlini sağlayan her türlü faaliyete karşı yönelmişti. Nazi yönetiminin ekonomik uygulamalarını boykot ve sabotaj yoluyla etkisiz hale getirmeye çalışan Sovyet yurtseverleri, ülkenin maddi ve beşerî kaynaklarını korumaya, düşmanı hammadde, gıda maddeleri ve mamul ürünlerden mahrum bırakmaya ayrıca işgalcilerin sanayi işletmelerini, madenleri, elektrik santrallerini ve diğer tesisleri yeniden faaliyete geçirme girişimlerini engellemeye çalıştılar. (Der Zweite Weltkrieg 1939-1945, 1985: 156-163)

Azerbaycanlı askerler savaşın ilerleyen yıllarında gösterdikleri kahramanlıklarla adeta destan yazdılar. Mesela Alman-Sovyet Savaşı'nda, özel bir yere sahip olan Brest Kalesi Savunmasında, 44 Azerbaycanlı asker büyük roller üstlenmiştir. (Emrah, 2015: 96) Stalingrad Muharebesi'nde ise Baloğlan Abbasov'un komutasındaki keskin nişancı birliği ile Hazi Aslanov'un tank alayı çeşitli askerî operasyonlarda görev almıştır. Bu faaliyetleri sonucunda her iki komutan Sovyetler Birliği Kahramanı unvanıyla ödüllendirilmiştir. Ayrıca Hazi Aslanov, Brezna Nehri'nin geçilmesi ve Pleseni ile çevresindeki 508 yerleşim yerinin ele geçirilmesine sağladığı katkılar nedeniyle aynı unvana ikinci kez layık görülmüştür. (Herbi And, 21 Mayıs 2021: 18) Moskova savunmasında önemli rolü bulunan İsrafil Memmedov, Sovyetler Birliği Kahramanı unvanıyla taltif edilmiştir. Bir diğer Azerbaycanlı asker istihbaratçı Ali Kerimov ise muharebede göstermiş olduğu kahramanlık dolayısıyla Kızıl Yıldız Nişanı ile ödüllendirilmiştir. (Hüseyinov, 2012: 41) Çapayev Müfrezesi, işgal altındaki İtalya topraklarında faaliyet göstermiş ve bu birliğe Nahçıvan kökenli Ali Babayev komuta etmiştir. Aynı zamanda İtalya'nın yüksek askerî nişanlarına layık görülen ve Pistoia şehrinin kurtarılmasında aktif rol oynayan Memet lakaplı Mehmet Bağırov'un ve Mihail lakaplı Mirza Ağabala Şahverdiyev'in katkıları ise Azerbaycan'ın İkinci Dünya Savaşı'nda sergilediği askerî başarıların değer ve önemini gözler önüne sermektedir. (Emrahov, 2010: 23-24)

Cephe gerisinde ise Azerbaycan ekonomisi, Sovyet savaş sanayiinin önemli merkezlerinden biri hâline gelmiştir. Kadınlar başta olmak üzere sivil nüfus, savaş üretiminde yoğun biçimde çalışmış; cephe ihtiyaçları için onlarca türde silah ve mühimmatın üretimine katkı sağlamıştır. Bunun yanı sıra halk, Savunma Fonu'na gönüllü bağışlarda bulunarak savaş çabalarına maddi destek vermiştir. Savunma Fonu'na gönüllü olarak yaklaşık 15 kilogram altın, 952 kilogram gümüş ve 320 milyon ruble bağış yapılmıştır. Bunun yanı sıra, muharebelerde yaralanan yaklaşık 440 bin asker, Bakü'deki askerî hastanelerde tedavi edilmiştir. Savaşın sonunda Azerbaycan 300 binden fazla vatandaşını kaybetmiş olsa da Sovyet savaş ekonomisi ve askerî lojistik sistemine sağladığı katkılar nedeniyle savaş sürecinde önemli bir rol üstlenmiştir. (Halk Gazetesi, 9 Mayıs 1926, S.81: 14)

YÖNTEM

Çalışma, Giriş dışında iki müstakil başlık halinde kaleme alınmıştır. Birinci bölümde, İkinci Dünya Savaşı yılları boyunca Azerbaycan ve özellikle Bakü'nün Kızıl Ordu'nun ihtiyaç duyduğu yakıtın karşılanmasındaki rolü ele alınmış ve Bakü'nün zengin petrol yataklarıyla savaşa katılan tüm ülkelerin planlarında özel bir yer kapladığı fikri

gösterilmeye çalışılmıştır. İkinci bölümde ise Azerbaycan halkına özellikle (Azerbaycan) Komünist Gazetesi aracılığıyla yapılan savaş propagandası incelenmiş ve Sovyet otoritelerinin rejimi güçlendirmek ve ülkedeki bütünlüğü güçlendirmek için gösterdikleri gayret değerlendirilmiştir. Çalışmada temel kaynak olarak (Azerbaycan) Komünist Gazetesi'nin ilgili nüshaları kullanılmıştır.

İKİNCİ DÜNYA SAVAŞI'NDA AZERBAYCAN (BAKÜ) PETROLÜNÜN ÖNEMİ.

İkinci Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte, savaşın temel nedenlerinden birinin yakıt ve enerji kaynakları üzerindeki rekabet olduğu açıkça ortaya çıkmıştır. 1939 yılının sonbaharından itibaren petrol, en önemli stratejik kaynak olarak yalnızca siyasî müzakerelerin içeriğini değil, aynı zamanda askerî harekatların niteliğini de belirleyen başlıca unsur haline gelmiştir. Dolayısıyla zengin petrol kaynaklarına sahip olan Azerbaycan, savaşan devletlerin askerî ve siyasî planlarında önemli bir yer edinmiştir. Azerbaycan petrol endüstrisinin Sovyet dönemi boyunca ulaştığı en yüksek üretim düzeyi, Büyük Vatan Savaşı'nın ilk yılında kaydedilmiş ve bu miktar, SSCB'nin toplam petrol üretiminin yüzde yetmiş beşinden fazlasını oluşturmuştur. Bu durum, Sovyet petrol sanayiinde Bakü'nün öneminin her geçen gün arttığını göstermektedir. (Hesenli, 2015: 6-7) Özellikle Bakü petrolü, Sovyet ordusunun yakıt ihtiyacının karşılanmasında stratejik öneme sahip olmuştur. Savaş yıllarında Sovyetler Birliği'nde üretilen petrolün büyük bir bölümü Azerbaycan'dan sağlanırken uçak yakıtı ve yüksek kaliteli madenî yağ üretiminin önemli bir kısmı da Bakü'de gerçekleştirilmiştir. Başka bir ifade ile Azerbaycan'ın enerji kaynakları, Sovyet savaş sanayii ve askerî operasyonlarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir unsur haline gelmiştir. (Herbi And, 21 Mayıs 2021: 18) Almanya'ya karşı kazanılan zaferde belirleyici rol oynayan Sovyet ordusunun tank ve uçaklarının önemli bir bölümü Azerbaycan petrolünü kullanmıştır. (İsmayılgızı, 2025: 11) Nitekim petrol üretiminin artırılması amacıyla kuyuların daha kısa sürede açılmasını sağlayacak teknik yöntemlerin uygulanmasına başlanması da bu sebepledir. (Komünist Gazetesi, 20 Haziran 1941, S. 145: 2) İkinci Dünya Savaşı'nın son günlerinde petrol üretiminin artırılması amacıyla çalışmalar daha da hızlandırılmıştır. Komünist gazetesi, Sovyet işçilerinin bu konudaki çabalarını büyük bir övgüyle sütunlarına taşırken işçilerin belirlenen üretim hedeflerinin üzerine çıkmak için gösterdikleri gayreti vurgulamayı da ihmal etmez. (Komünist Gazetesi, 25 Haziran 1941, S. 149: 3)

23 Temmuz 1942 tarihli ve 45 sayılı direktifle onaylanan Edelweiss Harekâtı, Bakü, Maykop ve Grozni petrol bölgelerinin ele geçirilmesini öngörüyordu. Savaş yıllarında Baltık Denizi'nden Karadeniz'e kadar uzanan cephe

hattında kullanılan yakıtın yaklaşık yüzde 80'i, madeni yağların ise yüzde 90'ı Azerbaycan tarafından karşılanmıştır. 1940-1945 yılları arasında Sovyetler Birliği'nde üretilen yaklaşık 33 milyon ton petrolün 23,5 milyon tonu Azerbaycan'da çıkarılmıştır. (Halk Gazetesi, 9 Mayıs 1926, S. 81: 14) Konunun önemi göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak Azerbaycan basını, petrol üretimi konusunu savaş süresince gündeminde tutmuştur. Petrol işçilerinin, Almanya'ya karşı savaşan Kızıl Ordu'ya destek olmak amacıyla çalıştıkları, petrol üretiminin artırılmasının önemli bir görev olduğu, petrol sahalarında çalışan işçilerin üretim planlarını aşmak için büyük bir gayret gösterdikleri, bazı işçilerin ve işçi gruplarının üretim alanlarındaki başarılarının örnek gösterildiği, petrol kuyularındaki üretimin artırılması için yeni yöntemlerin uygulandığı konularını ön plana çıkarmıştır. (Komünist Gazetesi, 27 Haziran 1941, S. 151: 3) Kısaca, petrol üretimini sürekli artırmak, işçilerin yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda askerî ve vatansever bir görevi olarak sunulmaktadır. İkinci Dünya Savaşı sırasında yakıt ihtiyacının keskin biçimde artması nedeniyle, birçok çevrede Bakü petrolü savaşın sonucunu belirleyebilecek başlıca stratejik unsurlardan biri olarak değerlendirilmiştir. Sovyetler Birliği'nin savaşa girdiği ilk günlerde artan iş gücü bağlamında üniversite öğrencilerinin de eğitimleriyle birlikte petrol sektöründe çalışmaya yönlendirilmeleri, yani ülkenin üretim ve sanayi faaliyetlerine, özellikle de stratejik öneme sâhip petrol sektörüne katılmaları fikri öne çıkarılmıştır. (Komünist Gazetesi, 28 Haziran 1941, S. 152: 3)

Bakü petrolünün, İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın en önemli stratejik hedeflerinden biri olması bu sebepledir. Almanya ile yürütülen ekonomik iş birliği çerçevesinde, SSCB'nin Bakü petrolü aracılığıyla Berlin'e yakıt sağlayabileceği ihtimalinin güçlenmesi, Müttefik Devletlerin Kafkasya'ya, özellikle de Sovyet Azerbaycanı'na yönelik stratejik ilgisini daha da artırmıştır. Bu nedenle Azerbaycan, diğer Sovyet cumhuriyetlerine kıyasla İkinci Dünya Savaşı diplomasisinin gündemine daha erken dahil olmuştur. 1939-1940 yıllarında İngiliz ve Fransız yönetimlerinin Bakü petrol sahalarını bombalama planları ile Nazi Almanyası'nın, Bakü petrol sahalarının ele geçirilmesi girişimleri söz konusu stratejik planların temel unsurlarını oluşturmuş ve savaşın sonucunu belirleyecek temel stratejik hedeflerden biri olarak değerlendirmiştir. (Hesenli, 2015: 7) Bu amaç doğrultusunda Alfred Rosenberg'in Doğu İşleri Bakanlığı bünyesinde Kafkasya Komiserliği kurulmuş ve Bakü'nün işgal edilmesi planlanmıştır.

Alman Amiral Wilhelm Canaris, Bakü petrolü ele geçirilmeden Sovyetler Birliği'ne karşı kesin bir zaferin mümkün olmadığını belirtmiştir. 16 Temmuz 1941'de Adolf Hitler'in karargâhında Bakü'nün Alman denetimine alınması planlanmıştır. Moskova Muharebesi'ndeki başarısızlığın ardından Almanya, 1942 yılında askerî harekâtını Kafkasya'ya yöneltmiş ve Bakü petrol sahalarını ele geçirmeyi hedeflemiştir. Bu kapsamda General Ewald von Kleist komutasındaki

birlikler Grozni-Mahaçkale-Bakü hattında ilerlemiştir. Alman harekât planına göre Bakü'nün 25 Eylül 1942 tarihinde ele geçirilmesi öngörülmüştür. Hitler, Bakü'nün ele geçirilmesi hâlinde Sovyet ordusunun tank ve hava kuvvetlerinin yakıt kaynaklarından mahrum kalacağını ve bu nedenle etkisiz duruma düşeceğini ifade etmiştir. (Hesenov, 2025, S. 82: 7)

KOMÜNİST GAZETESİNDE SAVAŞ PROPAGANDASI

Almanya'nın SSCB'ye saldırısı, diğer bütün alanlarda olduğu gibi basının önüne de yeni görevler koymuş, basının üstlenmesi gereken sorumluluklar açık bir biçimde ifade edilmiştir. Sovyetler Birliği Bakanlar Kurulu Başkan Yardımcısı Molotov, Alman saldırısının hemen ertesi günü mevcut durumu, Sovyetler Birliği Vatandaşlarına hitabıyla, Sovyet Hükümeti Başkanı Stalin'in ağzından, bugün sabah saat 4'te, herhangi bir savaş ilanı yapılmaksızın, Alman birlikleri ülkemizin sınırlarına saldırmaya başladı. Düşman birlikleri, sınır bölgelerimizdeki çeşitli noktalarda ateş açtı ve şehirlerimizi bombalamaya başladı. Sovyetler Birliği ile Almanya arasındaki saldırmazlık anlaşması, Sovyet hükümetinin bütün hükümlerini yerine getirmesine rağmen Almanya tarafından tek taraflı olarak ihlâl edilmiştir… (Komünist Gazetesi, 23 Haziran 1941, S. 147: 1) ifadeleriyle dile getirmiştir. Ayrıca Sovyet halkına, ülkenin savunulması için birlik ve kararlılık çağrısında bulunulmaktaydı.

23 Haziran 1941 tarihinde, yani savaşın başlamasından bir gün sonra tüm merkezî ve vilayet gazetelerinin ilk sayfalarında savaşa ilişkin haberler yayınlanmıştır. Basında yer alan Sovyet Hükümeti Bildirisi'nde, 'Davamız haklıdır. Düşman yenilgiye uğrayacaktır. Zafer bizim olacaktır.' sözleriyle bütün halk Nazilere karşı Büyük Vatan Muharebesi'ne çağrılmıştır. Azerbaycan basını, savaşın ilk günlerinden itibaren yeni vatanseverlik girişimlerinin örgütleyicisi olarak faaliyet göstermeye başlamıştır. Vatana duyulan sevgi ve düşmana beslenen nefret duyguları, halk savunma birliklerinin oluşturulmasında belirgin biçimde kendini göstermiştir. Devlet gazeteleri, halk arasında geniş kapsamlı propaganda çalışmalarının yürütülmesine aktif olarak katılmış ve sayfalarında vatanseverlik ruhunu güçlendiren makaleler yayınlamıştır. Bizim rehberimiz Bolşevik Partisi, bizim rehberimiz Stalin yoldaştır. O bizi yeni galibiyetlere doğru sürükleyecektir. Bütün dünya proletaryası bizimledir… (Komünist Gazetesi, 23 Haziran 1941, S. 147: 2) ifadeleriyle Azerbaycan'ın tam destek verdiği vurgulanmaktadır. Yine aynı sayıda, dönemin ünlü Azerbaycan şairi Samed Vurgun'un bir şiiri yer almış, Stalin adlanır kalbim, vicdanım, Stalin yolunda helaldir kanım dizeleriyle Sovyet hükümetine ve onun liderine bağlılık dile getiriliyordu. (Komünist Gazetesi, 23 Haziran 1941, S. 147: 2)

Sovyet Komünist Partisi Merkezî Komitesi, Sovyet ordusunun zaferinin siyasî sonuçlarını dikkate alarak Büyük Vatan Savaşı'nın temel amacına ulaşmak, işgal altındaki Sovyet topraklarını düşmandan kurtarmak, halkların Sovyet vatanseverliğini, birlik ve beraberliğini güçlendirmek ve cephedeki askerin ruhunda zafer inancını pekiştirmek için bir dizi tedbir almıştır. Cephede ve cephe gerisinde Sovyet yurttaşlarının kahramanlıklarının yaygınlaştırılması ve tanıtılması bu tedbirler arasında yer almıştır. (İkinci Dünya Muharebesi. Sovyet Halkının Büyük Vatan Muharebesi. Metodik Gösteriş. Bakû 1992: 21) Nitekim bu propaganda faaliyeti kısa sürede istenilen ruh halini yaratmıştır. Mesela Sovyetler Birliği'nin her yerinde olduğu gibi Azerbaycan'da da binlerce insanın gönüllü olarak savaşa katılmak için askerlik şubelerine başvuruda bulunduğu, hatta kadınların ve yaşlıların da vatanı savunmaya hazır olduğu bilgisi basında yer almaktaydı. (Komünist Gazetesi, 24 Haziran 1941, S. 148: 1)

Dönemin resmî basını ayrıca, savunma fonları için yardım kampanyaları düzenlenmesini teşvik etmiş, devletin bağımsızlığının korunmasına ilişkin yazılar yayınlamış ve askerler ile cephede bulunanların ailelerinin sorunlarına özel önem vermiştir. Bunun yanı sıra, düşman ordusuna karşı savaşan ve cephe gerisinde fedakârlık gösteren emekçilerin faaliyetleri Azerbaycan basınının başlıca konuları arasında yer almıştır. (Emrahov, 2004: 89) Gençlerin Kızıl Ordu'da ve donanmada büyük bir hayat okulundan geçtikleri, gelecekteki yaşantıları açısından büyük bir tecrübe edindikleri, ayrıca Parti ve hükümetin, Kızıl Ordu sıralarında yüksek disiplin ve kahramanlık gösteren Sovyet gençlerini bütün ülkeye tanıttığı, göğüslerine nişanlar, madalyalar ve Sovyetler Birliği Kahramanı unvanları ile süslediğine dair cümlelerle gençlerin askerî eğitime olan bağlılığı ve Sovyet kahramanlığı övülmekteydi. (Komünist Gazetesi, 18 Haziran 1941, S. 143: 1)

Basında, Sovyetler Birliği açısından Almanya'nın haksız işgaline uğramış olmak dikkati çeken en önemli unsurlardan biri olarak vurgulanmaktaydı. Azerbaycan petrol üreticileri ve işçileri ayrıca demiryolu çalışanları ve pamuk üreticileri gibi çeşitli alanlarda çalışan herkesin devletin yapılmasını istediği her işi fedakârlıkla yapacaklarına dair çeşitli yazılar, Kızıl Ordu'ya tam destek içeren başlıklar gazetelerde dikkati çeken hususlar arasındadır. (Komünist Gazetesi, 24 Haziran 1941, S. 148: 2-3) Büyük Sovyet halkının Vatan muharebesi günlerinde her zamankinden daha fazla bütünlük sergileyerek Kızıl Ordu'nun ve Kızıl Donanma'nın ihtiyaçlarını temin etmek için ciddiyet ve fedakârlıkla işe koyuldukları, bu maksatla ordusuna yeni kahraman savaşçılar, cesur tankçılar, mert topçular, gözü kara pilotlar, keskin nişancılar bahşettikleri ve ülkemizde Kızıl Ordu'nun seferberlik çağrısına can-ı gönülden uymakla birlikte, asker olmaya

uygun olmayanların bile savaşa katılmak için talepte bulundukları basının özellikle üzerinde durduğu konular arasındadır. (Komünist Gazetesi, 25 Haziran 1941, S. 149: 1)

Gazete aynı zamanda, aksatılmadan sürdürülen petrol üretimi ve sondaj çalışmalarına atıfta bulunuyor ve Almanya'nın SSCB'ye hainice saldırdığı haberinin işçiler arasında yarattığı tepkiden bahsediliyordu. Petrol kuyusu kazan sondaj işçilerinin, vardiya kotalarını aşarak planın yüzde yirmi, yüzde otuz kadar üzerinde çalışmaya ant içtikleri anlatılıyordu. Açılan her yeni petrol kuyusunun ve çıkarılan her ton petrolün, Kızıl Ordu'nun cephedeki zaferine katkı sağladığı ve düşmana vurulan bir darbe olduğu vurgulanıyordu. (Komünist Gazetesi, 26 Haziran 1941, S. 150: 3) Mühendis-teknik personel ve memurlar, aynı zamanda tüm işçiler orduya katılan arkadaşlarının yerini büyük bir moral ve coşkuyla doldurmaya, günde üç-dört saat fazla çalışmaya ve ülkeye daha fazla petrol sağlamaya çalışmışlardır. Kızıl Ordu'nun gücünü artırmak temel hedef hâline gelmiştir. (Komünist Gazetesi, 28 Haziran 1941, S. 152: 3) Ayrıca, savaş döneminin ihtiyaçlarıyla ilgili üretim hedeflerinin yerine getirilmesini sağlamak amacıyla, sanayi, ulaşım, tarım ve ticaret işletmelerinin tüm işçi ve memurlarına, günde 1 saatten 3 saate kadar zorunlu fazla mesai, yani mesai dışı çalışma zorunluluğu getirilmiştir. (Komünist Gazetesi, 27 Haziran 1941, S. 151: 1)

Ocak 1942 tarihine gelindiğinde, Kızıl Ordu birliklerinin Moskova çevresindeki Alman birliklerini darmadağın ederek bölgeden sürüp çıkardığı, Moskova etrafındaki şehir ve köylerde yeniden Sovyet bayrağının dalgalandığı haberi manşetten verilmiştir. Alman Ordusunun Moskova'yı ele geçirme planlarının boşa çıktığı, büyük Stalin'in liderliği, Sovyet askerinin kahramanlığı ve tüm Sovyet halkının iradesi sayesinde düşmanın hezimete uğratıldığı vurgulanmaktadır. (Komünist Gazetesi, 28 Ocak 1942, S. 23: 1) Gazete, bu başarıyı Alman askerî gücünün ve işgal planlarının tamamen boşa çıkması olarak nitelendirerek halka zaferin yakın olduğu inancını aşılamaktadır. 22 Haziran 1942 tarihinde, Büyük Vatan Muharebesi'nin birinci yıldönümünde bugün, Alman-faşist işgalcilerine karşı SSCB halkının yürüttüğü Büyük Vatan Muharebesi'nin, özgürlük savaşının, kahramanlık mücadelesinin bir yılı tamamlanıyor bilgisi gazetenin ilk sayfasının sağ üst köşesinde yerini almıştır. Lenin-Stalin'in büyük bayrağı altında biz bu mücadeleyi nihai zafere, vatanımızın ve özgürlük seven tüm halkların zaferine ulaştıracağız cümlesiyle ise Molotov'un ağzından savaşın en çetin ve zorlu ilk yıllarında, henüz galibiyetin elde edilmediği dönemde tüm Sovyetler Birliği vatandaşlarına, biz saldıran değil, özgürlüğünü koruyan haklı tarafız mesajı verilerek fedakârlık duygusu pekiştirilmiştir. (Komünist Gazetesi, 22 Haziran 1942, S. 146: 1)

Gazetede aynı zamanda, savaşın ilk yılındaki Alman ve Sovyet ordularında kayıplar tablosu yer almaktadır. Tabloda, Almanya'nın kayıpları (10 milyon asker, 24 bin tank, 20 bin uçak) çok yüksek gösterilirken Sovyet kayıpları çok daha düşük verilmiştir. **(**Komünist Gazetesi, 24 Haziran 1942, S. 147: 1) Oysa Barbarossa Harekâtı'nda ağır kayıplar veren taraf Sovyetler Birliği'ydi. Dolayısıyla buradaki rakamlar tarafsız bir istatistikten ziyade, cephenin moralini yüksek tutmaya dönük stratejik bir propaganda aracıdır. Öyle ki gazete, Sovyetler Birliği'nin cephe gerisini, özellikle Azerbaycan tarımını nasıl bir savaş ekonomisine ve propaganda aracına dönüştürdüğünü gösteren çarpıcı örneklerle doludur. Savaşa giden erkeklerin yerini doldurmak temel bir vatan borcu olarak sunulmakla birlikte üretim, sadece bir geçim kaynağı değil doğrudan cephedeki askere mühimmat sağlamakla eşdeğer bir harp görevi olarak tanımlanmaktadır. Erkeklerin askere alınmasıyla oluşan iş gücü açığı, kadınlar ve henüz 16 yaşındaki gençler üzerinden kapatılmaktadır. Kadınların erkek mesleklerini öğrendiği vurgulanarak toplumsal rol değişimlerinin savaş zaruretiyle nasıl meşrulaştırıldığı ve teşvik edildiği görülmektedir. (Komünist Gazetesi, 25 Haziran 1942, S. 148: 1)

SONUÇ VE TARTIŞMA

İkinci Dünya Savaşı, yol açtığı büyük can kayıpları, ekonomik yıkım ve toplumsal travmalar nedeniyle insanlık tarihinin en kapsamlı ve yıkıcı çatışmalarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte savaş, toplumların olağanüstü koşullar karşısındaki dayanıklılığını, kolektif iradesini ve üretim kapasitesini ortaya çıkaran önemli bir tarihsel süreç niteliği de taşımaktadır. Bu bağlamda Azerbaycan halkı, savaşın hem cephe hem de cephe gerisi boyutunda önemli katkılarda bulunmuştur. Azerbaycanlı askerlerin Sovyet ordusu saflarında cephelerde görev almalarının yanı sıra petrol sektöründe çalışan işçilerin üretimin sürekliliğini sağlamak amacıyla yürüttüğü faaliyetler, ülkenin savaş çabalarına katkısının başlıca unsurlarını oluşturmuştur.

Azerbaycan'ın savaş yıllarındaki rolü, askerî katılımın ötesinde, sahip olduğu doğal kaynaklar ve sanayi altyapısı çerçevesinde de değerlendirilmelidir. Özellikle petrol üretimi, Sovyetler Birliği'nin savaş ekonomisinin sürdürülebilirliği ve askerî kapasitesinin korunması açısından stratejik bir işlev üstlenmiştir. Bakü petrol havzasından elde edilen petrol ve petrol ürünleri, askerî araçlar, hava kuvvetleri ve diğer savaş unsurlarının yakıt ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynak oluşturmuştur. Bu nedenle Azerbaycan'ın savaş dönemindeki katkısı, cephedeki askerî mücadele ile cephe gerisindeki ekonomik, endüstriyel ve lojistik seferberliğin birbirini tamamladığı çok boyutlu bir süreç olarak ele alınmalıdır.

Azerbaycan halkının savaş boyunca hem aktif olarak Kızıl Ordu'da üstlendiği görevler hem de cephe gerisinde yürüttüğü faaliyet, neredeyse eş zamanlı olarak dönemin resmî gazetesi konumundaki Azerbaycan Komünist Gazetesi'nin sütunlarına taşınmıştır. Gazetenin temel yaklaşımı Sovyet Ordusu'nun kahramanlıklarını vurgulayarak halkın moralini yükseltmek ve vatanseverlik duygularını canlı tutmak olarak göze çarpar. Ayrıca çok etnikli bir emperyal yapı olarak Sovyetler Birliği'nin yürüttüğü savaş ve kazanılan zaferler, birliği oluşturan bütün unsurların başarısı olarak sunulmuştur. Böylece bütün Sovyet toprağı içinde yaşayan her unsurun savunmasını gerektiren bir anavatan olarak tanıtılmıştır.

KAYNAKÇA

Babaş, T. (2020). 'İkinci Dünya Müharibesi İllerinde Azerbaycan'da Siyasi-İdeoloji Mühit'. *Dövlet ve Din: İçtimai Fikir Toplusu*. S. 2 (65), s. 83-93.

Bazil, G. L. (1999). *Vtoraya Mirovaya Voyna*. Moskova.

Der Zweite Weltkrieg 1939-1945 Kurze Geschichte. (1985). Berlin: Dietz Vertag.

Dowswell, P. (2003). *True Stories Of The Second World War*. England: Usborne Publishing Ltd. U. E.

Emrah, M. (2015). *İkinci Dünya Muharebesi Tarihinin Oçerkleri*. Bakû: ADPU

Emrahov, M. (2004). *Azerbaycan Medeniyeti İkinci Dünya Müharibesi İllerinde*. Bakû: Elm.

Emrahov, M. (2010). *İkinci Dünya Müharibesi 1939-1945: Gelebenin 65 İlliyine Hesr Olunur*. Bakû: Mütercim.

Şelemanov, E. (2009) "İkinci Dünya Müharibesi İllerinde Azerbaycan Evlatları Büyük Kahramanlık Numuneleri Göstermişler". *Halk Gazetesi*. (14 Mayıs 2009), s. 10.

"İkinci Dünya Müharibesi: Global Facia, Siyasi Dönüş ve İnsanlık Dersleri'. *Halk Gazetesi*. (9 Mayıs 2026), S. 81. s. 14.

İkinci Dünya Muharebesi: Sovyet Halkının Büyük Vatan Muharebesi. 1992. Metodik Gösteriş. Bakû

İktisadiyyat Gazetesi. (25 Haziran – 8 Temmuz 2020). s. 5

İsmayılgızı, H. “İkinci Dünya Müharibesi: XX Asrın Belası”, *İki Sahil Gazetesi*. (9 Mayıs 1925), S. 79. s. 11

Herbi And. (21 Mayıs 2021). s. 18

Hesenli, C. (2015). *İkinci Dünya Müharibesi İllerinde Azerbaycan Herbi: Siyasi ve Diplomatik Münasibetlerde (1939-1945).* Bakû: Yazıçı Neşriyatı.

Hesenov, V. “Azerbaycan Nefti İkinci Dünya Müharibesi İllerinde”, *İki Sahil Gazetesi*, (15 Mayıs 2025), S. 82. s. 7

Hüseyinov, H. (2012). *Azerbaycan İkinci Dünya Muharebesi Devrinde Mevzusunun Tedrisinde Bedii Edebiyattan İstifade Üzre İşin Sistemi (Metodik Vesait).* Bakû.

Komünist Gazetesi.

Türk-Amerıkan İlişkılerının Şekıllenmesınde Dean Acheson'ın Rolü

Hakan GÜNGÖR[1]

[1] hakangungor490@gmail.com; Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Tarih Bölümü, Ordu / Türkiye.

Öz

Bu çalışma, Dean Acheson'ın 1969 yılında yayımlanan *Present at the Creation* adlı hatıratında Türkiye'nin nasıl ele alındığını ve Türkiye'nin erken Soğuk Savaş döneminde Amerikan dış politikası içerisindeki yerini incelemektedir. Çalışmada özellikle 1946 Boğazlar Krizi, 1947 Truman Doktrini ve Türkiye'nin 1952 yılında NATO'ya kabulü olmak üzere üç önemli gelişme üzerinde durulmaktadır. Acheson, hatıratında Yunanistan, İran, Almanya ve Kore gibi ülke ve bölgelere Türkiye'den daha geniş yer ayırmış olsa da Türkiye, erken Soğuk Savaş'ın temel dönüm noktalarında Amerika Birleşik Devletleri'nin giderek şekillenen stratejisiyle bağlantılı olarak sürekli olarak gündeme gelmektedir. Acheson'ın söz konusu gelişmelerdeki konumu yalnızca bir gözlemci ve anlatıcı olmakla sınırlı değildir. Dışişleri Bakan Yardımcısı olarak 1946 Boğazlar Krizi sırasında Amerika Birleşik Devletleri'nin yaklaşımının şekillenmesinde rol oynamış ve İngiltere'nin Yunanistan ve Türkiye'ye yönelik desteğini sürdüremeyeceğini bildirmesinin ardından Truman yönetiminin yeni politikasının oluşturulmasına katkıda bulunmuştur. Dışişleri Bakanlığı döneminde ise Türkiye'nin NATO üyeliğini desteklemiş ve bu yöndeki Amerikan politikasının oluşmasında etkili olmuştur. Çalışma, Acheson'ın anlatımı üzerinden Türkiye'nin erken Soğuk Savaş döneminde Amerikan dış politikasındaki konumunu değerlendirmektedir. Bu çerçevede, Türkiye'ye yönelik Amerikan politikasının kriz dönemlerinde askerî destek, ekonomik ve siyasi yardım ve nihayetinde ittifak üyeliği gibi farklı araçlarla giderek daha kalıcı bir nitelik kazandığı görülmektedir. Sonuç olarak, Acheson'ın dış politikadaki rolü nedeniyle, Türk-Amerikan ilişkilerinin ve özellikle bu ilişkilerin erken Soğuk Savaş dönemindeki temellerinin anlaşılması bakımından önemli bir konumdadır.

Anahtar Kelimeler: *Dean Acheson, Truman Doktrini, NATO Genişlemesi, Soğuk Savaş.*

THE ROLE OF DEAN ACHESON IN SHAPING TURKISH-AMERICAN RELATIONS

Abstract

This study examines how Turkey is portrayed in Dean Acheson's memoir, *Present at the Creation*, published in 1969, and explores Turkey's place in American foreign policy during the early Cold War. The study focuses particularly on three significant developments: the 1946 Straits Crisis, the Truman Doctrine of 1947, and Turkey's admission to NATO in 1952. Although Acheson devotes greater attention in his memoir to countries and regions such as Greece, Iran, Germany, and Korea, Turkey repeatedly emerges in connection with the evolving strategy of the United States at key turning points of the early Cold War. Acheson's position in these developments was not limited to that of an observer

or narrator. As Under Secretary of State, he played a role in shaping the United States' response to the 1946 Straits Crisis and contributed to the formulation of the Truman administration's new policy following Britain's announcement that it could no longer maintain its support for Greece and Turkey. During his tenure as Secretary of State, he supported Turkey's membership in NATO and played an important role in shaping American policy in favor of Turkish accession. Drawing on Acheson's account, this study evaluates Turkey's position within American foreign policy during the early Cold War. It argues that American policy toward Turkey gradually acquired a more permanent character through different forms of commitment, including military support during periods of crisis, economic and political assistance, and ultimately membership in a military alliance. In conclusion, Acheson's role in shaping U.S. foreign policy makes him an important figure for understanding Turkish-American relations, particularly the foundations upon which these relations were established during the early Cold War period.

Keywords: *Dean Acheson, Truman Doctrine, NATO Enlargement, Cold War.*

GİRİŞ

Dean Acheson'ın kendisi üzerinde durmakta fayda vardır. Çünkü o, 2. Dünya Savaşı sonrası Türk-Amerikan ilişkilerinin şekillenmesinde en önemli rol üstlenen kişilerden birisiydi. Yunanistan ve Türkiye'ye ilişkin İngiliz notaları Şubat 1947'de ulaştığında, o sırada Washington'da bulunan kişi Bakan Marshall değil Acheson'dı ve krizin kademeli bir yardımdan ziyade acil ve kapsamlı bir Amerikan tepkisi gerektirdiğine dair ilk değerlendirmeyi de o yapmıştır. Acheson, dar kapsamlı bir yardım paketi sunmak yerine, daha geniş bir savunma olarak sunulması için baskı yapmış ve Truman Doktrini'nin şekillenmesinde rol almıştır. (FRUS, Truman Doctrine; Encyclopedia, Dean Acheson). Bu, Acheson'ın yalnızca bir kez üstlendiği bir rol değildi. 1945-1947 yılları arasında Dışişleri Bakan Yardımcısı olarak, Türk Boğazları'na ilişkin Ağustos 1946 tarihli tavsiyeleri Başkan Truman'a ileten ve o krizi Sovyet taleplerine taviz vermeksizin bertaraf eden diplomatik sertlik ile deniz kuvveti konuşlandırmasının bileşimini tasarlamaya yardımcı olan kişi de oydu. 1949'da Dışişleri Bakanı olarak Dışişleri Bakanlığı'na geri döndüğünde ise, Türkiye'nin tam NATO üyeliği davasını daha küçük Avrupalı müttefiklerin kuşkularına karşı savunan ve bu davayı 1951'de Ottawa'daki oybirliğiyle alınan karara kadar taşıyan kişi yine oydu. Başka bir deyişle, altı yıl ve iki farklı görev boyunca Acheson, Türkiye'nin güvenliğini Batı Avrupa'nın bütünüyle ayrılmaz gören bir politikanın bağlayıcı figürü olmuştur.

Soğuk Savaşı dönemde Türk-Amerikan ilişkilerinin gelişimini inceleyen çalışmalar Acheson'nın önemini vurgulamaktadır. Özellikle Acheson'ın 1945-1953 yılları arasında Türkiye ile ilişkisine ayrılmış bir doktora tezi, onun kişisel kararlarının ve Türk yetkililerle doğrudan ilişkilerinin, ittifakın kurulmasında stratejik çıkarların kişisel olmayan herhangi bir hesabı kadar etkili olduğunu ileri sürmektedir (McConnel, 2014). Bu durum, erken Soğuk Savaş tarihçileri arasındaki daha geniş bir uzlaşıyı yansıtmaktadır. Bu tarihçiler, Acheson'ı genellikle Türkiye'yi Batı'ya bağlayan başlıca mimar olarak tanımlamakta, Truman Doktrini'ni şekillendirme, Marshall Planı'na yön verme ve daha sonra NATO'nun genişlemesini Türkiye ve Yunanistan'ı da içerecek şekilde yönlendirme konusundaki rolünü ona atfetmektedir (TDA. 502, 22130, 95705, 5; Britannica, Dean Acheson). Bu rolü nedeniyle Truman, Haziran 1947'de, diğer başarılarının yanı sıra Yunan-Türk yardım programı üzerindeki çalışmalarını takdirle karşılayarak Acheson'a Hizmet Madalyası vermiştir (Encyclopedia, Dean Acheson). McConnel'in doktora tezi, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Arşivleri ile Harry S. Truman Başkanlık Kütüphanesi'ndeki araştırmalara dayanarak bu okumayı daha ayrıntılı biçimde doğrulamaktadır. Tez, Truman yönetiminin Türkiye politikasının yürütülmesi sorumluluğunun Dean Acheson'ın üzerine yüklendiği sonucuna ulaşmaktadır. (McConnel, 2014, s. 265, 275).

Present at the Creation'ın kendisi, 1969'da yayımlanmış ve ertesi yıl Tarih dalında Pulitzer Ödülü'ne layık görülmüş olup, Türk-Amerikan ittifakının kuruluş anının anlaşılmasında başvurulan temel kaynaklardan biri haline gelmiştir (TDA. 502, 22130, 95705, 8; Johns Hopkins SAIS). Acheson'ın 1940'ların sonunda inşa edilmesine yardımcı olduğu bu ilişki Truman Doktrini, Amerikan ekonomik ve askerî yardımı ile 1952'deki NATO üyeliği üzerinden ilerleyerek Soğuk Savaş dönemini belirlemiştir. Dean Acheson'ın önce Dışişleri Bakan Yardımcısı, ardından Dışişleri Bakanı olarak Dışişleri Bakanlığı'ndaki yıllarına ilişkin hatıratı, Türkiye'ye dair önemli bilgiler içermektedir. Türkiye, erken Soğuk Savaş'ın her dönüm noktasında karşımıza çıkmaktadır. 1946'daki Türk Boğazları krizi, 1947'de Truman Doktrini'nin kaleme alınışı ve ülkenin 1952'de NATO'ya kabulü bunlardan sadece birkaç tanesidir. Bu bölümler birlikte değerlendirildiğinde, Acheson'ın Türkiye'yi, Sovyet baskısının hissedildiği her noktada Amerikan gücünün ve kararlılığının görünür kılınmasını sağlayan stratejik bir unsur olarak konumlandırdığı anlaşılmaktadır. (TDA. 502, 22130, 95705, 9).

1. 1946 BOĞAZLAR KRİZİ

Acheson'ın Türkiye'ye ilişkin hatıratı, Sovyetler Birliği'nin Boğazlar'ın denetimi konusunda Ankara'ya baskı yaptığı 1946 yılında başlamaktadır. Moskova, 7 Ağustos'ta Türkiye'den Boğazlar'ın savunmasına Sovyet katılımına izin vermesini talep etmiştir. Bu Acheson'ın açık bir dille Türkiye'nin işgali anlamına geldiğini belirttiği bir talepti (Acheson, 1969, s. 195). Bu talep, Venezia Giulia üzerinde Amerikan nakliye uçaklarına yönelik Yugoslav saldırıları ile Yunan hükümetine karşı Sovyet destekli baskının aynı dönemde gündeme gelmesiyle daha da önem kazanmıştır. Acheson, bu koşullar altında Dışişleri Bakan Yardımcısı olarak kendisini "üç ateş hattıyla çevrilmiş" bir durumda bulduğunu Yazmaktadır. (Acheson, 1969, s. 195).

Başkan Truman, Acheson'dan daha önce, Savaş ve Donanma Bakanlıkları ile Genelkurmay Başkanları Kurulu tarafından Sovyetlerin Boğazlar konusundaki girişimine nasıl karşılık verilmesi gerektiğine ilişkin bir tavsiye raporu hazırlamasını istemişti. Acheson, 15 Ağustos'ta hazırlanan bu raporu, Donanma Bakanı James Forrestal, Savaş Bakan Yardımcısı Kenneth Royall ve General Dwight D. Eisenhower'ın eşliğinde Beyaz Saray'da Başkan Truman'a sundu. Raporda, Sovyetler Birliği'nin Türkiye ve Yunanistan'a yönelik girişimlerinin Balkanlar ve Doğu Akdeniz'de hâkimiyet kurma amacını taşıdığı ve bu girişimlere, koşullar ne olursa olsun, karşı konulması gerektiği savunuluyordu (Acheson, 1969, s. 196). Acheson, bu duruma karşı dikkatle hesaplanmış bir politika önerdi. Washington, Boğazlar'ın statüsünü düzenleyen Montrö Sözleşmesi konusunda Türkiye'nin haklı olabilecek itirazlarını dikkate alacak, ancak Boğazlar'ın Türkiye'nin savunma hakkına yönelik herhangi bir müdahaleyi kabul etmeyecekti. Öneri ayrıca, İstanbul'da hâlihazırda bulunan USS *Missouri* zırhlısına destek olmak üzere, yeni hizmete giren *Franklin D. Roosevelt* uçak gemisinin de aralarında bulunduğu ek deniz kuvvetlerinin bölgeye gönderilmesini öngörüyordu (Acheson, 1969, s. 196).

Acheson'ın anlatımında dikkat çeken hususlardan biri, Başkan Truman'ın söz konusu planı onaylama biçimidir. Eisenhower'ın Acheson'a, önerilen yaklaşımın savaşa yol açıp açmayacağını sormasının ardından Truman, Orta Doğu ve Doğu Akdeniz'i gösteren bir harita açmış ve toplantıda bulunan yetkililere bölgenin stratejik önemine ilişkin kısa bir açıklama yapmıştır. Acheson'ın ifadesiyle bu açıklama, Truman'ın onayladığı politikanın stratejik boyutlarını ve olası sonuçlarını açık biçimde kavradığını göstermekteydi (Acheson, 1969, s. 196). Resmî nota, 19 Ağustos'ta Sovyet maslahatgüzarına iletilmiş ve Ankara'daki Amerikan Büyükelçisi Edwin C. Wilson'a, "makul ama kararlı" bir Türk yanıtını teşvik etmesi talimatı verilmiştir (Acheson, 1969, s. 196). Deniz kuvvetlerinin gösterisi ve Trieste üzerindeki

paralel krizle birleşince bu baskı işe yaramış olmalı ki Acheson, Sovyetlerin Boğazlar üzerindeki baskısının azaldığını, Moskova'nın ilgisinin ise Türkiye'nin doğu illeri ile kuzey İran'a kaydığını kaydetmektedir (Acheson, 1969, s. 197).

Acheson bu çatışmanın daha derin arka planını da ele almaktadır. Haziran 1945'te Sovyet Dışişleri Bakanı Molotov, Moskova'daki Türk büyükelçisine, Türkiye'nin doğusundaki Kars-Ardahan bölgesi üzerinde, yaklaşık altı bin beş yüz mil kare alana ve üç yüz bin civarı nüfusa sahip bir Sovyet toprak talebini bildirmiştir (Acheson, 1969, s. 199-200). Sovyet, Gürcü, ve Ermeni cumhuriyetleri de kısa süre sonra Karadeniz kıyısındaki Türk topraklarına yönelik, kendi başlarına daha da büyük toprak talepleri ileri sürmüştür. Ankara'nın buna verdiği yanıt, Acheson'ın kaydettiği üzere açıktı: Türkiye, Birleşmiş Milletler'in desteği olsun ya da olmasın, "mevcut topraklarını ve egemenliğini" korumak için savaşacaktı (Acheson, 1969, s. 200). Acheson için, Boğazlar üzerindeki taleplerle birleşen bu toprak baskısı, Türkiye'nin de Yunanistan gibi Moskova tarafından "yumuşatma süreci" adını verdiği bir uygulamaya tabi tutulduğunun kanıtıydı (Acheson, 1969, s. 199). McConnel'in aynı haftalara ilişkin arşiv temelli yeniden inşası, Acheson'ın kendi anlatısını esas noktalarında doğrulamakta, buna ek olarak Ağustos 1946 krizinin, en üst hükümet kademelerinin Türkiye'yi ilk kez bir Amerikan Birleşik Devletleri stratejik çıkarı olarak ilan ettiği anı işaret eden ve yönetimin 'Alarm' evresi adını verdiği dönemin başlangıcını oluşturduğunu eklemektedir (McConnel, 2014, s. 268).

Dönemin Türk diplomatik yazışmaları, krizin Acheson'ın geriye dönük anlatısının ima ettiği kadar sorunsuz çözülmediğini doğrulamaktadır. Beyaz Saray toplantısından bir ay sonra, Türk Dışişleri Bakanlığı'na iletilen bir Kahire yazışması, Dardanel ve Boğaziçi üzerinde sürdürülen gizli Türk-Sovyet görüşmelerinin başarı şansının az göründüğünü kaydetmiş ve İngiltere'nin, kendisi, Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri ve Yunanistan arasında, bir Amerikan subayı komutasında ortak bir kara-hava komutanlığı ile bir İngiliz subayı komutasında bir deniz komutanlığı içeren ve merkezi Ankara'da bulunan dörtlü bir blok önerebileceğine dair basın tahminlerini iletmiştir. Bu özel düzenleme hiçbir zaman gerçekleşmemiş olsa da Eylül 1946'da Kahire basınında yer alması, Türkiye'nin 1952'de NATO aracılığıyla katılacağı dörtlü yapının, Boğazlar krizinin üzerinden henüz haftalar geçmişken, kaba hatlarıyla da olsa öngörülmekte olduğunu göstermektedir (TDA. 502, 22130, 95705, 97).

2. TRUMAN DOKTRİNİ

Türkiye'ye hatıratta en büyük görünürlüğü kazandıran bölüm, Acheson'ın Truman Doktrini'ni doğuran Şubat 1947 krizine ilişkin bölümüdür. Krizin nedeni ise diplomatik bir bomba etkisi yaratmıştır. Bir cuma öğleden sonrası,

İngiliz Büyükelçiliği, Dışişleri Bakanlığı geleneğinde resmî ve ciddi bir iletişimin adı olan 'mavi bir kâğıt parçası'nı Dışişleri Bakanı'na iletmek üzere acil bir randevu istemiştir (Acheson, 1969, s. 217). General Marshall Princeton'a gitmekte olduğundan, nota yerine Acheson'a ulaşmıştır. Nota, Washington'a İngiliz mali yardımının Yunanistan ve Türkiye'ye altı hafta içinde sona ereceğini bildirmekteydi. İkinci bir belge, Türkiye'yi askerî olarak Yunanistan'dan daha güçlü olarak değerlendirmekte, ancak Sovyet baskısına karşı koymak için gereken büyük ordunun modernizasyonunu ve Acheson'ın ifadesiyle "Kemal Atatürk zamanından beri birinci önceliği olmuş" daha geniş ekonomik kalkınmayı finanse edemeyeceğini belirtmekteydi (Acheson, 1969, s. 217). Kendi savaş sonrası mali krizinden tükenmiş olan İngiltere, artık her iki ülkedeki yükü de üstlenemiyor ve Amerika Birleşik Devletleri'nin bunu üstlenmesini bekliyordu.

Acheson, Amerikan tepkisini örgütlemek için hızla hareket ettiğini anlatmaktadır. Dışişleri Bakanlığı'nda Loy Henderson ve John Hickerson ile hafta sonu boyunca çalışarak ve Georgetown'daki evinde taslak belgeleri gözden geçirerek, tartılacak bir seçenekler yelpazesinden çok, pratikte alınabilecek tek bir karar olduğu sonucuna ulaşmıştır (Acheson, 1969, s. 218). Bu süreç, Başkan Truman'ın 12 Mart 1947'de Kongre'nin ortak oturumunda yaptığı konuşmayla başlamıştır. Truman, söz konusu konuşmada Yunanistan ve Türkiye'ye yönelik toplam 400 milyon dolarlık bir yardım programı için Kongre'den yetki talep etmiş ve bu miktarın 250 milyon dolarının Yunanistan'a, 150 milyon dolarının ise Türkiye'ye tahsis edilmesini öngörmüştür. Acheson'ın anılarında geniş biçimde aktardığı konuşmanın en dikkat çekici ifadelerinden biri, Truman'ın "özgür halkları, silahlı azınlıklar veya dış baskılar tarafından boyunduruk altına alınmaya karşı direnirken desteklemek Amerika Birleşik Devletleri'nin politikası olmalıdır" şeklindeki sözleridir. Bu ifade, Kongre'de önemli yankı uyandırmış ve Truman Doktrini'nin temel gerekçelerinden birini oluşturmuştur (Acheson, 1969, s. 222; TDA. 502, 22130, 95705, 6).

Acheson'ın anlatımı, Kongre'deki ilk tepkinin temkinli ve çekimser niteliğini açıkça ortaya koymaktadır. Senatör Arthur Vandenberg'in daha önce verdiği özel güvencelere rağmen, 10 Mart'ta Kongre liderleriyle gerçekleştirilen toplantı Acheson'ın ifadesiyle "soğuk ve sessiz bir karşılamayla" sonuçlanmıştır. Bu tutum, mali disiplin ve Truman yönetiminin dış politikasına yönelik kuşkuların öne çıktığı bir dönemde göreve yeni başlayan Kongre'nin yardım önerisine karşı başlangıçtaki mesafeli yaklaşımını yansıtmaktaydı (Acheson, 1969, s. 222). Acheson, Vandenberg'in söz konusu tasarının Kongre'den geçirilmesindeki rolüne geniş yer vermekte ve onun nihayetinde destekleyeceği öneriler karşısındaki tutum değişikliğini kamuoyu önünde sergileme eğilimine dikkat çekmektedir (Acheson, 1969, s. 223).

Vandenberg'in başlıca değişikliği, Amerikan yardımını Birleşmiş Milletler çerçevesine bağlayan bir dil eklemiş ve Acheson'ın 'vitrin süslemesi' olarak gördüğü ama kararsız senatörleri kazanmak için ödenmeye değer ucuz bir bedel olan yüze güldürücü bir jestti (Acheson, 1969, s. 223).

Acheson, Temsilciler Meclisi ve Senato komiteleri önündeki görüşmelerde tanıklığın büyük bölümünü bizzat üstlenmiş ve karşısındaki sorgulamaları, kendi ifadesiyle, "kuru mantıksal bir uca" götürme girişimleri olarak değerlendirmiştir. Bu sorgulamalarda Acheson, Truman Doktrini'nde ortaya konulan yaklaşımın aynı mantık çerçevesinde dünyanın diğer bölgelerine, hatta Çin'e kadar uzanacak bir Amerikan müdahalesini zorunlu kılıp kılmayacağı yönündeki sorularla karşı karşıya kalmıştır (Acheson, 1969, s. 224). Acheson, Senatör Tom Connally'nin yönetimin tutumuna ilişkin yaptığı açık değerlendirmeye de dikkat çekmektedir. Connally, söz konusu yardım programının "dünyadaki herkese uyacak bir terzi kalıbı" olmadığını, aksine Yunanistan ve Türkiye'nin kendine özgü koşullarına göre şekillendirilmiş bir politika olduğunu vurgulamıştır. Acheson, Connally'nin bu değerlendirmesini olumlu bir biçimde aktarmaktadır (Acheson, 1969, s. 224). Tasarı Temsilciler Meclisi'nden 287'ye 107, Senato'dan ise 67'ye 23 oyla geçmiş ve Truman, Yunan-Türk Yardım Yasası'nı 22 Mayıs 1947'de imzalamıştır (Acheson, 1969, s. 224). McConnel, Joseph Jones'un dönemin tanığı olarak yazdığı anlatıdan yararlanarak, Acheson'ın hatıratından daha da öteye gitmekte ve konuşmanın nihai içeriğini ve biçimini belirleyen kararların neredeyse münhasıran Acheson tarafından alındığı sonucuna ulaşmaktadır (McConnel, 2014, s. 212).

3. TÜRKİYE VE NATO GENİŞLEMESİNİN DOĞUŞU

Türkiye, Acheson'ın 1950'lerin başındaki gelişmelere ilişkin anlatısında, Dışişleri Bakanı olarak NATO'nun kurucu on iki üyenin ötesine genişletilmesi meselesiyle karşı karşıya kaldığı dönemde yeniden ve geniş biçimde ele alınmaktadır. Acheson, Türkiye'nin bölgesel savunma düzenlemelerine, özellikle Kahire merkezli olarak oluşturulması planlanan Orta Doğu Komutanlığı'na yönelik iş birliğinin, Türkiye'nin NATO üyeliğiyle doğrudan bağlantılı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Acheson'ın ifadesiyle, "Türkiye, NATO'ya kabulü güvence altına alıncaya kadar bir Orta Doğu örgütüyle iş birliği yapmayacaktı." Böylece Türkiye'nin bölgesel savunma girişimlerine yaklaşımının, NATO üyeliği hedefiyle yakından ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Acheson, 1969, s. 564). Acheson'ın anlatımında Yunanistan ve Türkiye, daha gevşek bir bölgesel savunma ittifakına dahil edilme düşüncesini çoktan reddetmiş ve Batı'nın ortak savunmasıyla doğrudan NATO üzerinden ilişkilendirilmekte ısrar etmişlerdi (Acheson, 1969, s. 563).

Türkiye ve Yunanistan'ın NATO'ya katılımına ilişkin resmî karar, Eylül 1951'de Ottawa'da gerçekleştirilen NATO Konseyi toplantısında alınmıştır. Toplantı sonucunda bir Geçici Konsey Komitesi oluşturulmuş ve her iki ülkeye de Kuzey Atlantik İttifakı'na katılmaları yönünde resmî davet gönderilmiştir (Acheson, 1969, s. 569). Acheson, Türkiye ve Yunanistan'ın NATO'ya davet edilmesi sürecini kolay veya tartışmasız bir gelişme olarak sunmamaktadır. İlkbahar aylarında İngiltere, Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin söz konusu davetler konusunda yürüttüğü istişarelerin basına sızması, ittifakın küçük üyeleri arasında endişeye yol açmıştır. Bu ülkeler, büyük güçlerin ittifakın diğer üyelerine yeterince danışmadan karar alma eğiliminde olmasından kaygı duymuşlardır. Acheson, NATO'nun genişletilmesini esas olarak pragmatik gerekçelerle savunduğunu belirtmektedir. Ona göre, tam üyeliğe uygulanabilir bir alternatif bulunmamaktaydı. Yalnızca NATO üyelerinin bir bölümünü kapsayacak ayrı bir Akdeniz savunma ittifakının oluşturulması, ittifakın diğer üyelerini Doğu Akdeniz'de ortaya çıkabilecek bir çatışmanın riskleriyle karşı karşıya bırakacaktı. Üstelik bu ülkeler, söz konusu riskleri doğurabilecek kararların alınmasında herhangi bir söz hakkına sahip olmayacaktı. Bu nedenle Acheson, bölgesel bir savunma düzenlemesi yerine Türkiye ve Yunanistan'ın NATO'ya tam üyeliğinin daha uygulanabilir bir seçenek olduğunu savunmuştur. Ottawa toplantılarının son gününde, Acheson'ın ifadesiyle yürütülen "epey özel ikna çalışması"nın ardından, NATO Konseyi Türkiye ve Yunanistan'a üyelik daveti gönderilmesi yönünde oybirliğiyle karar almıştır (Acheson, 1969, s. 570). Türkiye'nin katılımı bunu izlemiş ve bununla birlikte, tam da bu sonucu beklerken tıkanmış olan daha geniş Orta Doğu Komutanlığı planına Türk iş birliği de gerçekleşmiştir (Acheson, 1969, s. 564). Acheson'ın Truman Kütüphanesi'nde bulunan Dışişleri Bakanlığı belgelerinden hareketle yeniden oluşturduğu McConnel'in Ottawa görüşmelerine ilişkin anlatımı, bu sürece ilişkin önemli ayrıntılar sunmaktadır. Buna göre İngiltere, Türkiye'nin NATO üyeliğinin henüz çözüme kavuşturulmamış olan Orta Doğu Komutanlığı meselesiyle ilişkilendirilmesinde ısrar ederken, Danimarka ve Norveç ittifakın daha geniş bir istişare yapılmaksızın genişletilmesine yönelik çekincelerini dile getirmiştir. Bu durum, Acheson'ın toplantıların son günlerinde, Türkiye ve Yunanistan'a üyelik davetleri gönderilmeden önce, ittifakın küçük üyelerinin kaygılarını gidermeye yönelik kişisel görüşmelere ağırlık vermesine yol açmıştır (McConnel, 2014, s. 250-252).

SONUÇ

Yedi yüz sayfalık hatıratın farklı bölümlerine dağılmış bu değerlendirmeler bir arada ele alındığında, Acheson'ın örtük argümanının Türkiye'yi, şekillenmesine katkıda bulunduğu çevreleme stratejisinin ilk somut sınamalarından biri olarak gördüğü söylenebilir. 1946 Boğazlar Krizi, deniz kuvvetlerinin bölgeye gönderilmesi ve açık diplomatik mesajlarla

desteklenen kararlı ve görünür bir Amerikan tutumunun, savaşa yol açmadan Sovyet baskısının sınırlandırılabileceğini ortaya koymuştur. 1947 krizi ise bu geçici ve tepkisel yaklaşımın ilan edilmiş bir politikaya dönüşmesinin önünü açmıştır. Türkiye, Yunanistan ile birlikte Truman Doktrini çerçevesinde Amerikan yardımının ilk yararlanıcıları arasında yer almış ve böylece Amerika Birleşik Devletleri'nin yurt dışındaki Soğuk Savaş taahhüdünün temel unsurlarından biri haline gelmiştir. 1951-1952 NATO genişlemesi ise çevreleme politikasının kurumsallaşma sürecini göstermektedir. Bu aşamada Türkiye, yalnızca Amerikan yardımının alıcısı olmaktan çıkarak, ordusu NATO'nun güney kanadına dâhil edilen ve ittifakın kolektif savunma sistemi içerisinde yer alan resmî bir antlaşma müttefikine dönüşmüştür.

Acheson, bu süreci idealize etmemektedir. Anlatısı, her aşamaya eşlik eden koalisyon siyasetinin yarattığı gerilimlerle şekillenmektedir. Vandenberg'in tutumundaki değişimler, Kongre'deki sorgulamalar, İngiltere'nin mali kapasitesine ilişkin sorunlar ve müttefiklerin büyük güçler tarafından alınan kararlara yönelik hoşnutsuzlukları, bu sürecin kolay ve doğrusal bir gelişme olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte Acheson'ın anlatısında belirgin bir ana çizgi bulunmaktadır: Sovyetler Birliği'nin güvenlik politikaları ile Batı'nın savunma düzenlemelerinin kesişim noktasında yer alan Türkiye, Amerikan taahhütlerinin zaman içerisinde sürdürülmesi, genişletilmesi ve nihayetinde kurumsal bir çerçeveye kavuşturulması gereğini ortaya koyan önemli bir örnek haline gelmiştir. Bu yönüyle Türkiye, temel konusu Amerikan küreselciliğinin şekillenmesi olan Acheson'ın hatıratında, daha geniş anlatı içerisinde sınırlı fakat anlamlı bir yer tutmaktadır.

KAYNAKÇA

Arşiv Belgeleri

Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri

T.C. Dışişleri Bakanlığı Türk Diplomatik Arşivi (TDA). (1946). Le Caire, 19.a.a. muhtırası, 571, 68216, 298511, 97.

TDA. 502, 22130, 95705, 5.

TDA. 502, 22130, 95705, 6.

TDA. 54, 1351, 9328, 8.

TDA. 502, 22130, 95705, 9.

Tetkik Eserler

Acheson, D. (1969). *Present at the Creation: My years in the State Department*. W. W. Norton.

Alpha History. (t.y.). *Quotations: Origins of the Cold War*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://alphahistory.com/coldwar/quotations-origins-cold-war/ adresinden erişilmiştir.

Association for Diplomatic Studies and Training. (t.y.). *Dean Acheson – Architect of the Cold War*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://adst.org/oral-history/fascinating-figures/dean-acheson-architect-of-the-cold-war/ adresinden erişilmiştir.

Britannica. (t.y.). *Dean Acheson*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://www.britannica.com/biography/Dean-Acheson adresinden erişilmiştir.

Council on Foreign Relations. (t.y.). *Remembering the Truman Doctrine*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://www.cfr.org/blog/twe-remembers-truman-doctrine adresinden erişilmiştir.

Encyclopedia.com. (t.y.). *Dean Acheson*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://www.encyclopedia.com/people/history/us-history-biographies/dean-gooderham-acheson adresinden erişilmiştir.

History.com. (t.y.). *Dean Acheson*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://www.history.com/topics/cold-war/dean-acheson adresinden erişilmiştir.

Johns Hopkins SAIS. (t.y.). *Dean Acheson Chair*. 17 Eylül 2026 tarihinde https://professorships.jhu.edu/professorship/dean-acheson-chair adresinden erişilmiştir.

Kiddle Encyclopedia. (t.y.). *Dean Acheson*.

McConnel, A. B. (2014). *Dean Acheson and the Turkish-American alliance, 1945–1953* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Sabancı Üniversitesi.

National Park Service. (t.y.). *American Cold War policy*. https://www.nps.gov/articles/cworigons-americancwpolicy.htm adresinden erişilmiştir.

Yapay Zekâ Destekli Dezenformasyon Ve Sosyal Medya Güvenliği: Uluslararası Güvenlik Perspektifinden Bir Değerlendirme

Artificial intelligence-supported disinformation and social media security: An assessment from an international security perspective

Zeynep Samur

İstanbul Aydın Üniversitesi, Öğrenci

E-posta: zeynepsamur@stu.aydin.edu.tr

ORCID: 0009-0007-3722-2618

Istanbul Aydın University, Student | Email: zeynepsamur@stu.aydin.edu.tr | ORCID: 0009-0007-3722-2618

Özet

Bu bildiri, yapay zekânın son yıllarda kazandığı üretken gücün, sosyal medya üzerinden yürütülen dezenformasyon faaliyetlerini nasıl dönüştürdüğünü uluslararası güvenlik perspektifinden ele almaktadır. Çalışmanın temel sorusu, yapay zekâ destekli sahte içerik üretiminin uluslararası güvenlik açısından niteliksel olarak yeni bir tehdit kategorisi oluşturup oluşturmadığı, yoksa bilinen manipülasyon yöntemlerinin yalnızca hızlanmış bir biçimi mi olduğudur. Bu soruya cevap aramak için sistematik bir literatür taraması ile karşılaştırmalı vaka analizi bir arada kullanılmış; 2016-2018 döneminde yaşanan Cambridge Analytica skandalı ile 2023-2024 döneminde Ukrayna-Rusya çatışmasında görülen yapay zekâ destekli anlatı savaşları, Realizm, Liberalizm ve Konstrüktivizm kuramları ışığında karşılaştırılmıştır. Bulgular, yapay zekâ destekli dezenformasyonun yalnızca niceliksel bir artış değil, ölçek, hız, kişiselleştirme ve tespit güçlüğü bakımından niteliksel bir dönüşüm yarattığını göstermektedir. Bu tespitten hareketle çalışma, teknolojik, hukuki, toplumsal ve uluslararası iş birliği unsurlarını bütünleştiren çok katmanlı bir politika çerçevesi önermekte; Türkiye örneği üzerinden, başta 7253 sayılı Kanun ve BTK düzenlemeleri olmak üzere, mevcut ulusal mevzuatın bu yeni tehdidi karşılamakta yapısal olarak yetersiz kaldığını somut biçimde ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: yapay zekâ ve dezenformasyon, sosyal medya güvenliği, deepfake, hibrit savaş, dijital diplomasi, bilgi güvenliği

Abstract

This paper examines, from an international security perspective, how the generative power gained by artificial intelligence has transformed disinformation activities conducted through social media. The central question is whether AI-enabled fabricated content constitutes a qualitatively new threat category for international security, or merely a quantitative intensification of familiar manipulation methods. To address this question, the study combines a systematic literature review with a comparative case analysis, examining the Cambridge Analytica scandal (2016-2018) alongside the AI-enabled narrative wars observed in the Russia-Ukraine conflict (2023-2024) through the lenses of Realism, Liberalism, and Constructivism. The findings show that AI-supported disinformation represents not merely a quantitative increase but a qualitative transformation in terms of scale, speed, personalization, and detection difficulty. Building on this finding, the study proposes a multi-layered policy framework integrating technological, legal, societal, and international cooperation components, and demonstrates, through the case of Turkey, that existing national legislation - particularly Law No. 7253 and the regulations of the Information and Communication Technologies Authority (BTK) - remains structurally inadequate to address this new threat.

Keywords: AI disinformation, social media security, deepfake, hybrid warfare, digital diplomacy, information security

1. Giriş

Sosyal medya, son yirmi yılda basit bir iletişim aracı olmaktan çıkıp devletlerin güç mücadelesi yürüttüğü gerçek bir alana dönüştü. Bu değişim kendi başına yeni bir gözlem değil; akademik yazında yeterince işlenmiş bir konu. Fakat 2022'den itibaren hızla yaygınlaşan üretken yapay zekâ araçları, tabloyu bir kez daha değiştirdi ve elimizdeki teorik çerçevelerin yeniden gözden geçirilmesini gerekli kıldı.

Bu konunun neden şu anda özellikle önemli olduğunu üç gözlemle açıklamak mümkündür. Birincisi, deepfake teknolojisiyle üretilen sahte görüntü ve seslerin, artık profesyonel bir doğrulama aracı olmadan gerçeğinden ayırt edilememesidir (Chesney ve Citron, 2019). İkincisi, büyük dil modellerinin, bot hesaplar üzerinden yürütülen propaganda üretimini neredeyse maliyetsiz hâle getirmesidir (Goldstein vd., 2023). Üçüncüsü ise kişiye özel hedefleme algoritmalarının, her kullanıcıya kendi zaaflarına göre tasarlanmış manipülatif içerik sunabilmesidir (Benkler vd., 2018). Bu üç gelişme bir araya geldiğinde, karşımıza daha önce benzeri görülmemiş bir tablo çıkmaktadır.

Bu bildirinin cevap aradığı soru şudur: yapay zekâ destekli dezenformasyon araçları, uluslararası güvenlik açısından gerçekten yeni bir tehdit kategorisi mi oluşturmaktadır, yoksa hâlâ bildiğimiz hibrit tehdit literatürünün sınırları içinde mi kalmaktadır? Bu sorunun cevabı önemlidir; çünkü eğer söz konusu olan gerçekten niteliksel bir dönüşümse, bugünkü uluslararası normların ve ulusal mevzuatın bu tehdidi karşılamaya yapısal olarak yetmediği ortaya çıkacaktır. Bu amaçla bildiri iki şey yapmaktadır: birincisi, üç farklı uluslararası ilişkiler kuramının bu konuyu nasıl farklı biçimde okuduğunu karşılaştırmalı olarak göstermek; ikincisi, Cambridge Analytica vakası ile Ukrayna-Rusya anlatı savaşlarını teknolojik karmaşıklık, hedefleme hassasiyeti ve tespit güçlüğü açısından yan yana koyarak bu dönüşümün somut örneklerini ortaya koymaktır. Son bölümde ise bu bulgulardan hareketle çok katmanlı bir politika önerisi sunulmaktadır.

2. Yöntem

Çalışma, nitel araştırma geleneği içinde, olayları yorumlayarak anlamlandırmaya çalışan bir yaklaşımla yürütülmüştür. İki tamamlayıcı yöntem birlikte kullanılmıştır: sistematik bir literatür taraması ve

karşılaştırmalı bir vaka analizi. Bu ikili yaklaşım, sosyal bilimlerde nedensel ilişkileri derinlemesine anlamaya imkân veren süreç izleme (process tracing) mantığıyla örtüşmektedir (Bennett ve Checkel, 2015).

Literatür taraması Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarında, Ocak 2015 ile Nisan 2026 arasını kapsayacak şekilde yürütülmüştür. Aranan kelime grupları arasında 'sosyal medya', 'dezenformasyon' ve 'güvenlik'; 'üretken yapay zekâ', 'deepfake' veya 'LLM' ile 'bilgi savaşı' veya 'hibrit savaş'; ve 'Cambridge Analytica' ile 'seçim manipülasyonu' kombinasyonları yer almıştır. İlk taramada 847 kaynağa ulaşılmış; bunlar arasından hakemli makaleler, kitap bölümleri ve resmî kurum raporlarına öncelik verilmiş, konu dışı kalan veya bağımsız biçimde doğrulanamayan kaynaklar elenmiştir. Sonuçta 62 birincil kaynak ve 14 kurum raporu analize dâhil edilmiştir.

Vaka seçiminde 'en farklı sistemler' mantığı izlenmiştir: Cambridge Analytica, yapay zekâ öncesi dönemin teknolojik sınırlarını gösteren öncü bir örnek olarak; Ukrayna-Rusya anlatı savaşları ise yapay zekâ araçlarının operasyonel kullanımına dair güncel ve belgelenmiş bir örnek olarak seçilmiştir. İki vaka da dört ortak eksende karşılaştırılmıştır: kullanılan teknoloji, hedefleme kapasitesi, tespit güçlüğü ve uluslararası sistem üzerindeki etkisi. Veriler; akademik literatür, güvenilir gazetecilik kaynakları, resmî kurum raporları (AB Dış Eylem Servisi, ABD Seçim Güvenliği Ajansı gibi) ve bağımsız araştırma kuruluşlarının (Stanford Internet Observatory, EU DisinfoLab) belgeleriyle çapraz kontrol edilerek doğrulanmıştır. Analizde Realizm, Liberalizm ve Konstrüktivizm kuramları bir arada kullanılmış; amaç, tek bir kuramın açıklama gücünün nerede yetersiz kaldığını görünür kılmaktır.

3. Kavramsal ve kuramsal çerçeve

3.1. Dezenformasyon nedir, ne değildir?

Dezenformasyon kelimesi günlük dilde sıkça birbirine karıştırılan kavramları içine alacak şekilde kullanılmaktadır. Wardle ve Derakhshan'ın (2017) önerdiği ayrım burada yol gösterici niteliktedir: misenformasyon (misinformation), kasıt olmadan yayılan yanlış bilgiyi; dezenformasyon (disinformation), bilerek üretilip yayılan yanlış bilgiyi; malenformasyon (malinformation) ise doğru bilginin zarar verme amacıyla bağlamından koparılmasını ifade etmektedir. Bu bildiri, kasıtlılık unsuru taşıyan dezenformasyon ve malenformasyon üzerine odaklanmaktadır; çünkü yapay zekâ araçları büyük ölçüde bu iki kategoride bir araç olarak kullanılmaktadır.

Floridi ve Cowls'un (2019) bilgi ekolojisi yaklaşımına göre bakıldığında, yapay zekânın üç noktada köklü bir değişim yarattığı görülmektedir: içerik üretim hızı ve ölçeği, içeriğin kişinin bilişsel profiline göre uyarlanması ve sahte içeriğin gerçeğinden ayırt edilmesinin giderek zorlaşması. Bu üç değişimin aynı anda ortaya çıkması, yapay zekâ destekli dezenformasyonu önceki biçimlerinden ayıran asıl noktadır.

3.2. Güvenlik kavramı neden genişledi?

Klasik uluslararası güvenlik yazını, tehditleri çoğunlukla askerî ve toprak bütünlüğüne yönelik tehlikeler üzerinden tanımlamıştır. Kopenhag Okulu'nun güvenlikleştirme (securitization) kavramı (Buzan vd., 1998), bu dar çerçeveyi genişleterek güvenliğin siyasi, toplumsal ve çevresel boyutlarına da kapı aralamıştır. Joseph Nye'ın (2010; 2011) siber güç ve yumuşak güç kavramları ise bilgi ortamını doğrudan devletler arası rekabetin bir sahası olarak konumlandırmıştır.

Ne var ki bu çerçeveler, yapay zekânın kendine has özelliklerini tam olarak karşılamamaktadır. Rid ve Buchanan (2015), siber operasyonlarda faili tespit etmenin (atıf sorununun) ne kadar zor olduğuna dikkat çekmiştir; yapay zekâ bu sorunu daha da katmerli hâle getirmektedir. Bir deepfake videosunun bir devlet, devlet destekli bir grup ya da tek bir birey tarafından üretildiğini ayırt etmek, klasik siber atıf yöntemleriyle neredeyse imkânsızdır (Chesney ve Citron, 2019). Bu belirsizlik, caydırıcılığı işlevsiz kılmakta ve uluslararası normların uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

3.3. Üç kuram, üç farklı bakış

Realizm: Devleti temel aktör olarak gören Realizm (Morgenthau, 1948; Waltz, 1979), sosyal medya ve yapay zekâyı büyük güçler arasındaki asimetrik rekabetin yeni araçları olarak okumaktadır. Rusya'nın bilgi operasyonları ve Çin'in 'çok sesli' diplomasisi bu çerçeveyle örtüşmektedir. Ama Realizmin bir sınırı vardır: yapay zekâya devlet dışı aktörlerin de kolayca erişebilmesi, meseleyi salt devlet-merkezli bir güç analizine sığdırmayı zorlaştırmaktadır.

Liberalizm: Kurumlar ve normlar aracılığıyla iş birliğinin mümkün olduğunu savunan Liberalizm (Keohane ve Nye, 1977), GDPR, DSA ve NIS2 gibi düzenlemelerin ve BM Siber Güvenlik Uzmanlar Grubu gibi çok taraflı mekanizmaların değerini öne çıkarmaktadır. Ancak otoriter rejimlerin sistematik dezenformasyon kampanyaları karşısında bu normatif yapıların ne kadar etkili olabileceği tartışmalıdır; büyük güçlerin platform düzenlemesi konusunda birbirinden çok farklı yaklaşımlar benimsemesi, ortak bir norm oluşturmayı zorlaştırmaktadır (Deibert, 2013).

Konstrüktivizm: Kimlik ve söylem üzerinden inşa edilen toplumsal gerçekliğe odaklanan Konstrüktivizm (Wendt, 1999), dezenformasyonu sadece bir bilgi sorunu değil, 'gerçeklik algısının' üretimi ve dönüştürülmesi

süreci olarak görmektedir. Yapay zekâ destekli dezenformasyonun neden bu kadar tehlikeli olduğunu açıklamada bu çerçeve özellikle güçlüdür: deepfake içerikler toplumsal gerçeklik algısını sistematik biçimde aşındırmakta, devletler ile uluslararası kurumlar arasındaki güveni zedelemektedir. Post-truth olgusunun derinleşmesi, meşruiyet krizlerine ve kolektif kimliğin aşınmasına yol açmaktadır (Roozenbeek ve van der Linden, 2019).

4. İki vaka, iki dönem: Cambridge Analytica ve Ukrayna-Rusya anlatı savaşları

4.1. Cambridge Analytica skandalı (2016-2018)

Cambridge Analytica skandalı, sosyal medya üzerinden yürütülen siyasi manipülasyonun ilk büyük ölçekli ve olgunlaşmış örneği olarak tarihe geçmiştir. 2014-2018 yılları arasında faaliyet gösteren bu İngiliz siyasi danışmanlık firması, Cambridge Üniversitesi Psikoloji Bölümü'nde geliştirilen 'thisisyourdigitallife' uygulaması aracılığıyla, kullanıcıların rızası olmadan 87 milyon Facebook profiline ait kişisel veriyi toplamıştır (Cadwalladr ve Graham-Harrison, 2018; Confessore, 2018).

Bu verinin işlenmesinde OCEAN modeli kullanılmıştır; yani kişilerin açıklık, sorumluluk, dışadönüklük, uyumluluk ve nevrotiklik gibi kişilik özellikleri Facebook davranışlarından çıkarılarak profillenmiş, ardından bu profillere özel siyasi mesajlar gönderilmiştir. 2016 ABD başkanlık seçiminde Cumhuriyetçi Parti kampanyasıyla koordineli biçimde kullanıldığı iddia edilen bu sistem, kararsız seçmen oranının yüksek olduğu Michigan, Pennsylvania ve Wisconsin gibi eyaletlerde yoğun bir mikro-hedefleme faaliyeti yürütmüştür (Wylie, 2019).

Bu vaka, uluslararası güvenlik açısından yalnızca bir seçim manipülasyonu iddiasından ibaret değildir; üç yapısal gerçeği de gözler önüne sermiştir. Birincisi, demokratik toplumların açık veri ekosistemi, kötüye

kullanıma açık bir zafiyet barındırmaktadır. İkincisi, platformların veri mimarisi, üçüncü taraf uygulamalar üzerinden büyük çaplı veri sızıntısına elvermektedir. Üçüncüsü, uluslararası hukukta seçime müdahaleyi düzenleyen açık bir norm bulunmamaktadır. Yine de o dönemin teknik sınırları da not edilmelidir: içerikler büyük ölçüde insanlar tarafından yazılmakta, sahte içerikleri tespit etmek nispeten kolay olmakta ve reklam harcamalarına bağımlılık operasyonların izini sürmeyi kolaylaştırmaktaydı. Bu sınırlar, aşağıda yapay zekâ dönemiyle yapılacak karşılaştırma için bir referans noktası oluşturmaktadır.

4.2. Yapay zekâ dönemi: Ukrayna-Rusya anlatı savaşları (2023-2024)

Rusya'nın Şubat 2022'de Ukrayna'ya yönelik geniş çaplı askerî harekâtı başlattığı andan itibaren, bilgi ortamı da bu çatışmanın önemli bir cephesi hâline gelmiştir. 2023-2024 döneminde yapay zekâ araçlarının bu çatışmaya nasıl entegre edildiği, Stanford Internet Observatory ve EU DisinfoLab gibi bağımsız araştırma kuruluşları tarafından ayrıntılı biçimde belgelenmiştir.

Bu dönemde tespit edilen uygulamalardan bazıları şöyledir: Ukrayna Cumhurbaşkanı Zelenski'nin teslim olmayı istediğini ima eden deepfake videoları 2022 başında sosyal medyada yayılmış, ancak platformların moderasyon sistemleri ve resmî yalanlamalar sayesinde etkisi sınırlı kalmıştır. Büyük dil modelleriyle çalışan içerik çiftlikleri, günde onlarca dilde binlerce özgün metin üreterek NATO'nun birlik mesajını hedef alan anlatılar yaymıştır. Sentetik ses klonlama teknolojisiyle çeşitli NATO yetkililerine ait sahte açıklamalar üretilip muhalif çevrelere atfedilerek dolaşıma sokulmuştur (EU DisinfoLab, 2024).

Cambridge Analytica dönemiyle karşılaştırıldığında, dört noktada belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Ölçek ve hız açısından: büyük dil modelleri artık herhangi bir dilde, insandan ayırt edilemeyecek nitelikte içeriği saniyeler içinde üretebilmektedir. Maliyet açısından: eskiden gerekli olan uzman insan kadrosu ihtiyacı ciddi

biçimde azalmıştır. Tespit güçlüğü açısından: yapay zekâ üretimi metin ve görseller, standart doğrulama araçlarını zorlayacak kadar gelişmiştir. Kişiselleştirme açısından ise: mikro-hedefleme artık ayrıntılı psikografik profillemeye ihtiyaç duymadan, kişilerin açık sosyal medya davranışları üzerinden gerçek zamanlı biçimde yapılabilmektedir.

Aşağıdaki tablo, iki dönemi yedi başlık altında özetlemektedir:

Boyut	**Cambridge Analytica (2016-2018)**	**Yapay Zekâ Dönemi (2023-2024)**
Teknoloji	Psikografik modelleme + insan yapımı içerik	LLM + deepfake + ses klonlama birlikte
Ölçek	Belirli ülkelerle sınırlı, reklam bütçesine bağımlı	Küresel, çok dilli, üretim maliyeti neredeyse sıfır
Tespit güçlüğü	Meta veri analiziyle tespit mümkün	Kriptografik doğrulama olmadan tespit çok zor
Atıf güçlüğü	Orta düzey (şirket bağlantıları izlenebilir)	Yüksek (anonim, dağıtık üretim zinciri)
Kişiselleştirme	Segment düzeyinde	Birey düzeyinde, gerçek zamanlı
Uluslararası etki	Seçim manipülasyonu şüphesi (dolaylı)	Diplomatik kriz ve askerî karar süreçlerine kadar uzanan etki
Hukuki çerçeve	Mevcut veri koruma hukuku kısmen uygulandı	Mevcut mevzuat büyük ölçüde yetersiz

Bu karşılaştırma, dönüşümün yalnızca niceliksel olmadığını, niteliksel bir eşiğin aşıldığını güçlü biçimde desteklemektedir. Yapay zekâ, dezenformasyonu hızlandırmakla kalmamış; üretim maliyetini o kadar düşürmüştür ki, bir zamanlar Cambridge Analytica gibi büyük bir organizasyonun gerektirdiği insan gücü ve teknik kapasite, bugün küçük ölçekli, devlet dışı aktörlerin bile erişimine girmiştir. Bu durum caydırıcılık hesaplarını ve norm uygulama mekanizmalarını temelinden sarsmaktadır.

5. Bu durumun uluslararası güvenliğe yansımaları

5.1. Demokratik toplumların zayıflayan bağışıklığı

Yapay zekâ destekli dezenformasyon, liberal demokrasilerin en temel işleyiş mantığını, yani seçmenlerin doğru bilgiye dayanarak tercih yapabilme kapasitesini hedef almaktadır. Roozenbeek ve van der Linden'ın (2022) ön bağışıklama (pre-bunking) çalışmaları, insanların dezenformasyona karşı önceden bilinçlendirilebileceğini göstermektedir; ama bu yöntemin yapay zekânın üretim hızıyla ne ölçüde yarışabileceği henüz belirsizdir. Howard ve arkadaşlarının (2018) araştırması, sosyal medya botlarının seçim dönemlerinde siyasi içerik trafiğinin yüzde kırkına kadar ulaşan bir kısmını oluşturabildiğini göstermektedir; bu oranın yapay zekâ araçlarıyla daha da artması olasıdır.

5.2. Devletler arası güvenin aşınması

Devlet liderlerine veya diplomatik yetkililere atfedilen deepfake içerikler, doğrulanmaları gecikirse ciddi diplomatik krizlere yol açabilmektedir. Chesney ve Citron (2019) bu durumu 'gerçeklik açığı' (liar's dividend) olarak adlandırmaktadır: artık gerçek içerikler bile 'bu bir deepfake olabilir' şüphesiyle reddedilebilmekte, bu da uluslararası iletişimin güvenilirliğini sistematik biçimde zedelemektedir. Bu durum krizlerin nasıl tırmandığını değiştirmekte ve yanlış algıdan kaynaklanan çatışma riskini artırmaktadır.

5.3. Mevcut uluslararası çerçevelerin yetersizliği

Bugünkü uluslararası hukuk çerçeveleri, yapay zekâ destekli dezenformasyon karşısında üç noktada yetersiz kalmaktadır. Birincisi, atıf sorunu: BM Şartı'nın 2(4). maddesi uyarınca bir eylemin 'saldırı' sayılabilmesi için açık bir devlet müdahalesinin gösterilmesi gerekmektedir, oysa yapay zekâ operasyonlarında devletin rolü çoğunlukla dolaylı ve inkâr edilebilirdir. İkincisi, egemenlik sorunu: platformların çok uluslu yapısı, hangi

ülkenin yargı yetkisine gireceği konusunda çakışmalara ve düzenleyici boşluklara yol açmaktadır. Üçüncüsü, zamanlama sorunu: uluslararası norm oluşturma süreçleri, teknolojinin gelişim hızına yetişememektedir (Deibert, 2013; Kello, 2017).

6. Türkiye örneği: Ulusal güvenlik kapasitesi ne durumda?

6.1. Türkiye'nin konumu ve yapısal özellikleri

Türkiye, coğrafi ve jeopolitik konumu nedeniyle bilgi güvenliği açısından çok yönlü baskılara maruz kalan özgün bir örnek sunmaktadır. NATO üyeliği, AB ile ilişkiler, Orta Doğu ve Kafkasya politikası, Rusya ile çok boyutlu ilişkiler ve iç siyasi dinamikler, Türkiye'yi uluslararası dezenformasyon operasyonlarının hem hedefi hem de zaman zaman aktörü konumuna getirmektedir (Balcı ve Sarı, 2021). Bu çok eksenli konum, Türkiye'nin dijital bilgi güvenliği politikasını diğer NATO üyelerinden yapısal olarak farklılaştırmaktadır.

2024 itibarıyla Türkiye'de yaklaşık 55 milyon aktif sosyal medya kullanıcısı bulunmaktadır (We Are Social, 2024); bu da sosyal medyanın siyasi mobilizasyon ve kamuoyu oluşturma süreçlerindeki ağırlığını göstermektedir. 2013 Gezi Parkı olayları, sosyal medyanın Türkiye'de kriz dönemlerinde hem muhalif örgütlenme aracı hem de dezenformasyon kanalı olarak nasıl işlev gördüğünü tarihsel olarak belgelemiştir (Aouragh vd., 2013).

6.2. Mevzuat: 7253 sayılı Kanun ve BTK düzenlemeleri

Türkiye'de sosyal medya güvenliğine ilişkin temel yasal çerçeve, 2020 yılında yürürlüğe giren 7253 sayılı Kanun'la şekillenmiştir. Bu düzenleme, günlük bir milyonun üzerinde kullanıcıya sahip sosyal medya platformlarına Türkiye'de yerel temsilci bulundurma, kullanıcı verilerini yurt içinde saklama ve içerik

kaldırma taleplerine belirli süreler içinde yanıt verme yükümlülüğü getirmektedir (Resmi Gazete, 2020). Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) ise bu çerçevede yaptırım uygulama, bant genişliği kısıtlama ve platform erişimini engelleme yetkisine sahiptir.

Ancak bu düzenleme, temelde farklı bir tehdit modeline, yani platform üzerinden dağıtılan içeriğe odaklanmaktadır. Yapay zekâ destekli dezenformasyon ise dağıtık üretim, anonim kanallar ve gerçek zamanlı kişiselleştirme üzerine kurulu olduğu için, 7253 sayılı Kanun'un içerik kaldırma ve veri yerelleştirme ağırlıklı araçları bu yeni tehdit modelini karşılamakta yapısal olarak yetersiz kalmaktadır.

6.3. Türkiye'yi hedef alan belgelenmiş örnekler

15 Temmuz 2016 darbe girişimi, Türkiye'nin yaşadığı en yoğun bilgi krizlerinden biri olmuştur; sosyal medya, hem resmî bilgi kanallarını devre dışı bırakmak hem de alternatif iletişim kurmak amacıyla yoğun biçimde kullanılmıştır. Oxford Internet Enstitüsü'nün 2017 tarihli raporu, bu süreçte koordineli bot ağlarının Twitter ve Facebook üzerinden sistematik dezenformasyon yaydığını belgelemiştir (Howard vd., 2018). Bu olayın yapay zekâ öncesi bir dönemde gerçekleşmiş olması, sonraki dönem karşılaştırmaları için önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

2018 cumhurbaşkanlığı ve milletvekili seçimleri ile 2023 genel seçimleri döneminde de sosyal medya dezenformasyonu, Teyit.org ve doğruluk.org gibi bağımsız doğrulama kuruluşları tarafından sistematik biçimde izlenmiştir. Bu kuruluşların raporları, seçim dönemlerinde dolaşan yanlış bilgilerin önemli bir bölümünün koordineli ağlar tarafından üretildiğini ortaya koymuştur (Teyit.org, 2023). 2023 seçimlerinde ise yapay zekâ destekli içerik üretiminin doğrulama çalışmalarını zorlaştırdığına dair ilk somut bulgular ortaya çıkmıştır; bu da Türkiye'nin bu konuda geldiği eşiği göstermektedir.

Türkiye, yalnızca kendi içinde üretilen dezenformasyonla değil, bölgesel güçlerin bilgi operasyonlarının hedefi olmakla da yüzleşmektedir. Suriye çatışması sürecinde ve Doğu Akdeniz gerginliğinde, karşı taraflara atfedilen koordineli hesap ağlarının Türkiye kamuoyunu hedef aldığı Stanford Internet Observatory ve EU DisinfoLab raporlarında belgelenmiştir (EU DisinfoLab, 2024). Bu tür operasyonların yapay zekâ araçlarıyla desteklenmesi hâlinde ortaya çıkacak tehdidin büyüklüğü, Türkiye'nin bugünkü kurumsal kapasitesiyle orantısız bir açık yaratmaktadır.

6.4. Kurumsal kapasite: Güçlü yanlar ve boşluklar

Türkiye'nin dijital dezenformasyonla mücadele kapasitesi değerlendirildiğinde, hem güçlü yanlar hem de ciddi boşluklar göze çarpmaktadır. BTK'nın teknik altyapısı, TÜBİTAK BİLGEM'in siber güvenlik kapasitesi ve Ulusal Siber Olaylara Müdahale Merkezi (USOM) bu alandaki güçlü yönler arasında sayılabilir. Buna karşılık üç önemli boşluk dikkat çekmektedir: deepfake ve sentetik içerik tespitine özgü bir yasal tanım ve yaptırım çerçevesi henüz bulunmamaktadır; dijital güvenlik, seçim güvenliği ve ulusal güvenlik kurumları arasındaki koordinasyon ve bilgi akışı sistematik değildir; bağımsız bir platform hesap verebilirlik mekanizması ile yapay zekâ üretimi içeriklerin işaretlenmesi zorunluluğu henüz yasal zemine kavuşmamıştır. Yapay zekâ tehditlerinin hızı ve ölçeğiyle karşılaştırıldığında bu boşluklar ciddi kırılganlıklar oluşturmaktadır.

7. Ne yapılmalı? Çok katmanlı bir politika önerisi

Bulgular göstermektedir ki, tek başına hiçbir önlem yapay zekâ destekli dezenformasyon tehdidinin üstesinden gelememektedir. Bu nedenle aşağıda, birbirini tamamlayan beş katmandan oluşan bir çerçeve önerilmektedir.

Katman	Temel Müdahaleler	Aktörler	Zaman Çerçevesi
Teknolojik	İçerik doğrulama altyapısı (C2PA), yapay zekâ üretimi içeriklerin damgalanması, gelişmiş bot tespit sistemleri, açık kaynaklı deepfake tespit araçları	Platform şirketleri, araştırma kurumları	Kısa-orta vadeli
Hukuki ve düzenleyici	Yapay zekâ içerik damgalama zorunluluğu, platform sorumluluk çerçevesinin güncellenmesi, seçim dönemleri için kriz protokolleri, uluslararası siber norm müzakereleri	Devletler, BM, AB, AGİT	Orta-uzun vadeli
Toplumsal	Dijital medya okuryazarlığı müfredatı, ön bağışıklama (pre-bunking) programları, gazeteci kapasite geliştirme, sivil toplum doğrulama ağları	Eğitim kurumları, STK'lar, medya kuruluşları	Uzun vadeli, yapısal
İstihbarat ve güvenlik	Erken uyarı sistemleri, demokratik devletler arası tehdit paylaşımı, atıf kapasitesinin geliştirilmesi	İstihbarat toplulukları, askerî siber birimler	Acil / süregelen
Uluslararası iş birliği	BM yapay zekâ yönetişim çerçevesi, çok paydaşlı platform hesap verebilirlik mekanizması, bölgesel kriz iletişim protokolleri	BM, NATO, bölgesel örgütler	Orta-uzun vadeli

Türkiye özelinde bakıldığında, mevcut BTK çerçevesi ve 7253 sayılı Kanun'un yapay zekâ tehditlerini sistematik biçimde kapsamadığı görülmektedir; çünkü bu çerçeve içerik kaldırma ve veri yerelleştirme odaklı tasarlanmıştır, oysa yapay zekâ destekli dezenformasyon gerçek zamanlı üretime dayalı, dağıtık bir tehdit modeli sunmakta ve niteliksel olarak farklı bir düzenleyici yaklaşım gerektirmektedir. Türkiye için önerilen öncelikli adımlar şöyle özetlenebilir:

Öncelik	Öneri	Sorumlu Kurum	Yasal Dayanak
Acil	7253 sayılı Kanun'da değişiklik: sentetik içerik tanımı ve damgalama zorunluluğu	TBMM, BTK	AB AI Act uyum çerçevesi
Kısa vadeli	BTK bünyesinde yapay zekâ erken uyarı birimi ve TÜBİTAK BİLGEM deepfake tespit altyapısı	BTK, TÜBİTAK	Siber Güvenlik Kanunu
Kısa vadeli	Seçim dönemlerine özgü platform denetim protokolleri (YSK-BTK koordinasyonu)	YSK, BTK	7253 sayılı Kanun ek protokolü
Orta vadeli	Millî eğitim müfredatına yapay zekâ ve deepfake farkındalık modülü eklenmesi	MEB, RTÜK	Millî Eğitim Temel Kanunu
Orta vadeli	NATO ve AB DisinfoLab ile operasyonel istihbarat paylaşımının güçlendirilmesi	Dışişleri Bakanlığı, MİT	NATO Siber Savunma Politikası
Uzun vadeli	Ulusal yapay zekâ yönetişim çerçevesine dezenformasyon risk değerlendirme standardı eklenmesi	Cumhurbaşkanlığı DDO	AB AI Act uyum süreci

Bu önerilerin hayata geçirilmesinde dikkat edilmesi gereken iki temel denge bulunmaktadır. Birincisi, güvenlik ile ifade özgürlüğü arasındaki denge: yapay zekâ içerik damgalama yükümlülükleri, meşru gazetecilik faaliyetlerini veya siyasi ifadeyi kısıtlamanın aracı hâline gelmemelidir; bu açıdan bağımsız denetim mekanizmalarına yasal güvence tanınması gerekmektedir. İkincisi, teknik kapasite ile hukuki çerçeve arasındaki uyum: en kapsamlı yasal düzenleme bile yeterli teknik altyapı ve uzman insan kaynağı olmadan işlevsiz kalmaktadır. Bu nedenle yasal reform ile kurumsal kapasite inşası eş zamanlı yürütülmelidir.

8. Sınırlılıklar ve gelecek araştırma önerileri

Bu çalışmanın bazı sınırları bulunmaktadır. Karşılaştırmalı vaka analizi, ikincil kaynaklara ve bağımsız araştırma kuruluşlarının raporlarına dayanmaktadır; doğrudan operasyonel verilere erişim mümkün olmamıştır. Yapay zekâ teknolojisi son derece hızlı değiştiği için, burada ele alınan bazı teknik özellikler kısa

süre içinde eskiyebilir. Ayrıca demokratik olmayan rejimlerdeki dezenformasyon operasyonlarına dair sistematik veriler doğası gereği sınırlıdır.

Gelecek çalışmalar için üç öncelikli alan öne çıkmaktadır: yapay zekâ destekli dezenformasyonun demokratik seçim sonuçları üzerindeki etkisini ölçmeye yönelik nicel yöntemlerin (anket deneyleri, doğal deneyler) geliştirilmesi; farklı medya okuryazarlığı müdahalelerinin yapay zekâ içeriğini tespit etme başarısı üzerindeki etkisinin karşılaştırmalı biçimde incelenmesi; ve uluslararası yapay zekâ yönetişimi müzakerelerinde norm oluşum dinamiklerinin kurumsal yapılanma literatürü çerçevesinde analiz edilmesi.

9. Sonuç

Bu bildiri, yapay zekâ destekli dezenformasyonun uluslararası güvenlik açısından gerçekten yeni bir tehdit kategorisi oluşturduğunu ortaya koymuştur. Cambridge Analytica döneminin teknik sınırları ile bugünün yapay zekâ kapasitesi arasındaki fark, tehdidin yalnızca niceliksel olarak büyümediğini; ölçek, maliyet, tespit güçlüğü ve kişiselleştirme boyutlarında niteliksel bir dönüşüm geçirdiğini somut biçimde göstermektedir.

Uluslararası ilişkiler kuramları açısından bakıldığında, hiçbir tek kuramın bu karmaşık olguyu tek başına açıklayamadığı görülmektedir. Realizm, devlet merkezli güç rekabetini açıklamakta güçlüdür, ama devlet dışı aktörlerin yapay zekâya erişiminin ne kadar kolaylaştığını göz ardı etmektedir. Liberalizm, uluslararası norm ve kurumların önemini vurgulamaktadır, ama bu normların teknolojinin hızıyla neden yarışamadığını açıklayamamaktadır. Konstrüktivizm ise 'gerçeklik algısının' nasıl sistematik biçimde aşındığını en iyi kavrayan çerçeveyi sunmaktadır.

Politika düzeyinde ise, Türkiye örneği de dâhil olmak üzere, mevcut ulusal mevzuatların yapay zekâ tehditlerini karşılamakta yapısal eksiklikler taşıdığı açıkça görülmektedir. Türkiye'nin jeopolitik konumu, yoğun sosyal medya kullanımı ve seçim dönemlerinde gözlenen dezenformasyon örüntüleri, ülkeyi bu tehdide karşı özellikle kırılgan kılmaktadır. Ne yalnızca teknolojik ne de yalnızca yasal çözümler tek başına yeterli olacaktır. Dezenformasyon ekosistemiyle gerçek anlamda mücadele edebilmek için teknolojik doğrulama altyapısını, güncellenmiş düzenleyici çerçeveleri, toplumsal ön bağışıklama programlarını ve uluslararası istihbarat paylaşımı mekanizmalarını bir araya getiren bütüncül bir yaklaşım gerekmektedir. Dijital çağda güvenli bir bilgi ortamı, ancak devletlerin, platformların, sivil toplumun ve uluslararası kurumların birlikte, koordineli biçimde çalışmasıyla inşa edilebilir.

Kaynakça

Aouragh, M., Girard, M., ve Kaulingfreks, F. (2013). Before and beyond the Arab Spring: Critiques of media-centrism. Triple C: Communication, Capitalism & Critique, 11(2), 515-523.

Balcı, A., ve Sarı, M. (2021). Turkey and hybrid threats: Information operations in the Eastern Mediterranean. Güvenlik Stratejileri Dergisi, 17(37), 1-34.

Benkler, Y., Faris, R., ve Roberts, H. (2018). Network propaganda: Manipulation, disinformation, and radicalization in American politics. Oxford University Press.

Bennett, A., ve Checkel, J. T. (2015). Process tracing: From metaphor to analytic tool. Cambridge University Press.

Buzan, B., Wæver, O., ve de Wilde, J. (1998). Security: A new framework for analysis. Lynne Rienner.

Cadwalladr, C., ve Graham-Harrison, E. (2018, 17 Mart). Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach. The Guardian.

Castells, M. (2010). The rise of the network society (2. bs.). Blackwell.

Chesney, R., ve Citron, D. (2019). Deep fakes: A looming challenge for privacy, democracy, and national security. California Law Review, 107(6), 1753-1820.

Confessore, N. (2018, 4 Nisan). Cambridge Analytica and Facebook: The scandal and the fallout so far. The New York Times.

Deibert, R. J. (2013). Black code: Surveillance, privacy, and the dark side of the internet. Signal.

EU DisinfoLab. (2024). AI-enabled disinformation in the Ukraine conflict: An operational analysis. EU DisinfoLab Reports.

Floridi, L., ve Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. Harvard Data Science Review, 1(1).

Goldstein, J. A., Sastry, G., Musser, M., DiResta, R., Gentzel, M., ve Sedova, K. (2023). Generative language models and automated influence operations: Emerging threats and potential mitigations. arXiv.

Howard, P. N., Ganesh, B., Liotsiou, D., Kelly, J., ve François, C. (2018). The IRA, social media and political polarization in the United States, 2012-2018. Oxford Internet Institute.

Kello, L. (2017). The virtual weapon and international order. Yale University Press.

Keohane, R. O., ve Nye, J. S. (1977). Power and interdependence: World politics in transition. Little, Brown.

Morgenthau, H. J. (1948). Politics among nations: The struggle for power and peace. Knopf.

Nye, J. S. (2010). Cyber power. Belfer Center for Science and International Affairs.

Nye, J. S. (2011). The future of power. PublicAffairs.

Resmi Gazete. (2020, 31 Temmuz). 7253 sayılı İnternet Ortamında Yapılan Yayınların Düzenlenmesi Hakkında Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. Sayı: 31202.

Rid, T., ve Buchanan, B. (2015). Attributing cyber attacks. Journal of Strategic Studies, 38(1-2), 4-37.

Roozenbeek, J., ve van der Linden, S. (2019). Fake news game confers psychological resistance against online misinformation. Palgrave Communications, 5(1), 65.

Roozenbeek, J., ve van der Linden, S. (2022). How to combat vaccine misinformation. Science Translational Medicine, 14(656).

Stanford Internet Observatory. (2024). Information operations in the Russia-Ukraine conflict: GenAI era analysis. Stanford University.

Teyit.org. (2023). Türkiye seçim dönemi dezenformasyon raporu: 2023 genel ve cumhurbaşkanlığı seçimleri. Teyit Araştırma Raporları.

Waltz, K. N. (1979). Theory of international politics. Addison-Wesley.

Wardle, C., ve Derakhshan, H. (2017). Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making. Council of Europe.

We Are Social. (2024). Digital 2024: Turkey. We Are Social & Meltwater.

Wendt, A. (1999). Social theory of international politics. Cambridge University Press.

Wylie, C. (2019). Mindf*ck: Cambridge Analytica and the plot to break America. Random House.

Sosyal Medyanın Sessiz Sakinleri: Yapay Zekâ Çağında Dijital Lurking'in Dönüşümü

Ayşegül Elif ÇAYCI[1], Berk ÇAYCI [2]

[1]aekaragulle@ticaret.edu.tr : ORCID: 0000-0003-4082-8673; İstanbul Ticaret Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halkla İlişkiler ve Reklamcılık Bölümü, İstanbul / Türkiye.

[2]bcayci@ticaret.edu.tr : ORCID: 0000-0001-5945-8655; İstanbul Ticaret Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Medya ve İletişim Bölümü, İstanbul/ Türkiye.

Özet

Dijital medyanın fiziksel dünyayla içe içe geçtiği günümüzde çevrimiçi topluluklarda "gözlemci" olarak adlandırılan sessiz kullanıcıların yaygın varlığı, farklı disiplinlerin araştırma konusu haline gelmiştir. Yapay zekâ uygulamalarının gündelik hayata sirayet etmesi klasik "lurking" davranışını belirgin şekilde dönüştürmektedir. Klasik lurking davranışı bilgiye erişmek için içeriği takip etme motivasyonuna dayanırken, yapay zekâ bu ihtiyacı herhangi bir topluluğun içinde yer almadan karşılayabilmektedir. Netice itibariyle kullanıcı artık sessiz bir sakin olmanın ötesine geçerek; topluluğun tamamen dışına çıkmaktadır. Bununla beraber klasik lurking davranışında, çevrimiçi ortamda insan-insan etkileşimi söz konusuyken, yeni lurking davranışında insan-makine etkileşimi ön plana çıkmaktadır. Yine de insan-makine arasındaki etkileşimin nitelikli halde kalabilmesi için, sisteme daha önceden girilmiş güncelveriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda çevrimiçi topluluklardaki "lurking" davranışının biçimsel olarak tanımlanması ve analiz edilmesi konunun derinlemesine ele alınması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada ulusal ve uluslararası literatürde "lurking" kavramına yönelik çalışmalar ekseninde argümantatif bir çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijital emek, lurking, sessiz katılım, sosyal medya, yapay zekâ

Abstract

In today's world, where digital media is intertwined with the physical world, the widespread presence of silent users—referred to as 'observers'—in online communities has become a subject of research across various disciplines. The permeation of artificial intelligence applications into everyday life is significantly transforming classic 'lurking' behaviour. Whilst traditional lurking behaviour is driven by the motivation to follow content in order to access information, artificial intelligence can fulfil this need without the user having to be part of any community. Consequently, the user now goes beyond simply being a silent observer; they step completely outside the community. Furthermore, whilst classic lurking behaviour involves human-to-human interaction in the online environment, the new form of lurking behaviour emphasises human-to-machine interaction. Nevertheless, for this human-to-machine interaction to remain meaningful, the system requires up-to-date data that has been entered beforehand. In this context, the formal definition and analysis of 'lurking' behaviour in online communities is important for a thorough examination of the subject. This study presents an argumentative analysis centred on research into the concept of 'lurking' found in both national and international literature.

Keywords: Digital labour, lurking, silent participation, social media, artificial intelligence

GİRİŞ

Çevrimiçi toplulukların gelişiminde görünür içerik üretimi kadar görünmeyen okuma, izleme ve bilgi edinme pratikleri de belirleyicidir. Buna rağmen, dijital sosyal ağlara katılımla alakalı literatür; gönderilere yorum yazma, gönderi paylaşma, yanıt verme ya da içerik üretme gibi ölçülebilir davranışlara yönelmektedir. Bu noktada sessiz kullanıcılar çoğu zaman eksik, yetersiz ya da dönüştürülmesi gereken kullanıcılar olarak nitelendirilmektedir. Lurking literatürü olarak adlandırılan çalışmalar, görünür katkının olmadığı durumları etkileşimsizlik ya da faydasızlıkla özdeşleştirilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Preece vd., 2004; Nonnecke vd., 2006; Edelmann, 2013; Sun vd., 2014; Malinen, 2015). Eğitim bilimi alanında yapılan araştırmalar da mesaj yazmayan kullanıcıların okuma, düşünme ve öğrenme faaliyetlerini sürdürebildiğini ortaya koymuştur (Beaudoin, 2002; Dennen, 2008). Bu birikim, lurker'ı çevrimiçi topluluğun dışında değil, çoğu zaman topluluğun periferisinde bulunan meşru bir katılımcı olarak yeniden değerlendirmiştir.

Üretken yapay zekânın yaygınlaşması bu tartışmaya yeni bir kırılma getirmiştir. Büyük dil modelleri, kullanıcının bir foruma, sosyal medya grubuna ya da soru-cevap topluluğuna girerek başkalarının mesajlarını taraması yerine, doğrudan doğal dille soru sorup sentezlenmiş bir yanıt almasına imkân vermektedir. Bu dönüşüm yalnızca arayüz değişikliği değildir; bilgi arayan kişinin toplulukla ilişkisinin, bilgiye ulaşma yolunun ve katkı-karşılıklılık bağının yeniden örgütlenmesidir. Nitekim ChatGPT'nin yaygınlaşması sonrasında bilgi odaklı topluluklarda ziyaret ve soru üretiminde dönüşümler meydana gelmeye başlamıştır(Burtch vd., 2024; del Rio-Chanona vd., 2024; Quinn & Gutt, 2025; Li & Kim, 2025).

Kullanıcı, yazmasa bile başkalarının konuşmalarını okur; topluluğun normlarını gözlemler; gerektiğinde görünür katılıma geçebilir ve en azından ziyaret, tıklama, görüntüleme ya da davranışsal veri düzeyinde platform ekolojisine dâhil olmaktadır. Üretken yapay zekâ aracılığıyla bilgi edinmede ise kullanıcı, aynı bilgi ihtiyacını orijinal topluluğa hiç girmeden karşılayabilir. Dolayısıyla yeni durumda insan–insan etkileşimini gözlemleyen sessiz üye yerine, insan üretimi bilgi birikimini makine aracılığıyla tüketen bir kullanıcı ortaya çıkmaktadır. Buradaki temel problem, bu davranışın hâlâ lurking olarak adlandırılıp adlandırılamayacağı ve adlandırılacaksa kavramın hangi boyutlarda yeniden tanımlanması gerektiğidir.

Çalışma bu problemi argümantatif ve bütünleştirici bir literatür incelemesiyle ele almaktadır. Lurking ve çevrimiçi topluluk katılımına ilişkin kurucu çalışmalar; bilgi paylaşımı ve topluluk bağlılığı literatürü; dijital emek, prosumption ve verileşme tartışmaları; insan–makine iletişimi ile sosyal sohbet robotu araştırmaları; son olarak üretken yapay zekânın çevrimiçi bilgi toplulukları üzerindeki güncel etkilerini inceleyen çalışmalar aynı analitik düzlemde okunmaktadır.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Klasik lurking tartışmalarının ortak noktası, sessizliğin çevrimiçi topluluğun içinde gerçekleşmesidir. Kullanıcı görünür bir ileti göndermese bile düzenli olarak siteye girmekte, içerikleri okumakta ve topluluğu bilişsel ya da sosyal bir kaynak olarak kullanmaktadır. Preece vd. (2004), Nonnecke vd. (2006) ve Sun vd. (2014) gibi çalışmalar lurking kavramını tanımlarken farklı noktalara değinmelerine rağmen, üyelik, ziyaret etme ve içerikleri takip etme davranışları konularında ortak noktada buluşmaktadırlar. Bu açıdan, lurker olarak ifade edilen kimseler, görünürde katkısı düşük ancak çevrimiçi topluluklarla teması sürdüren kullanıcılar olarak ifade edilmektedir. Malinen (2015) dijital topluluklarda yer alan kullanıcıların sadece aktif ya da pasif olarak nitelendirilmesinin, kullanıcıların davranışlarını açıklama konusunda yetersiz olduğunu savunmaktadır. Bir kullanıcının çevrimiçi topluluklarda görünür bir davranış sergilememesi, o kişinin hiç katılım sağlamadığı anlamına gelmemektedir. Bahsi geçen süreç, üretken yapay zekânın bilgiye erişme sürecinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, bu varsayımı zayıflatmaktadır. Yapay zekâ kullanıcıya doğrudan yanıt verir fakat yanıtı oluştururken kullanıcılar tarafından daha önce sisteme bırakılmış dijital ayak izlerine, kullanıcı verilerine dayanmaktadır. Bilgi yararı ve bilgi topluluğuna fiziksel ya da dijital giriş birbirinden farklı kavramlardır. Bilgi topluluğunda fiziksel ya da dijital varolmaktan kasıt, bilginin var olduğu kütüphane, üniversite, veri tabanı, dijital topluluklara erişebilmektir. Bilgi yararı ise kullanıcının bilgiye eriştiği ortamda bilgiye ulaşması, kendi yararı için kullanması ve anlamlandırması anlamına gelmektedir. İşlevi ağırlıkla bilgi alışverişi olan topluluklarda üretken sonrası katılım düşüşleri yaşanabildiğini göstermektedir (Burtch vd., 2024; del Rio-Chanona vd., 2024; Quinn & Gutt, 2025). Kullanıcılar arasında güçlü ilişkilerin ve topluluk hissinin olduğu çevrimiçi ortam varsa, kullanıcılar sadece bilgiye erişmek için orada bulunmamaktadır. Kullanıcı kendisini o çevrimiçi topluluğa ait hissettiği için etkileşim halinde olmasa dahi sessizce takip etmeye devam edebilir.

Literatürde lurking kavramıyla ilgili yapılan erken çalışmaların önemli bir bölümü, dijital ortamlarda içerikleri takip ettiği halde görünür bir katkıda bulunmayan kullanıcıların neden sessiz kaldığına odaklanmaktadır. Nonnecke ve Preece

(2000), lurker'ların dijital toplulukların önemli bir bölümünü oluşturduğunu savunmaktadırlar. Bu sessizliğin her zaman ilgisizlik ya da etkileşim eksikliği olarak nitelendirilmemesi gerekir. Kullanıcıların etkileşimde bulunmamaları, topluluğu tanımaya çalışmak, diğer kullanıcıları rahatsız etmemek, topluluk dinamiklerini kendilerine uygun bulmamak gibi çeşitli nedenlerle sessiz kalmayı tercih edebilmektedirler. İlerleyen süreçte gerçekleştirilen çalışmalar, lurking'in patolojik bir eksiklik olup olmadığını sorgulamaktadır (Edelmann, 2013).

Üretken Yapay Zekâ ve Çevrimiçi Bilgi Toplulukları

Lurking literatürünün büyük bölümü üretken yapay zekâ öncesi dönemde şekillendiği için bilgi arayan kişinin topluluk içinde dolaşmasını varsaymaktadır. Güncel çalışmalar, kullanıcının bilgi ihtiyacının artık topluluğa fiziksel olarak girmeden, insan üretimi bilgi birikimini makine aracılığıyla işleyen bir sistem üzerinden karşılanabildiğini ileri sürmektedir. Dolayısıyla yapay zekâ çağındaki mesele yalnızca lurker'ın "daha da sessizleşmesi" değildir; bilgiye erişim zincirindeki topluluk temasının görünmezleşmesi veya tamamen ortadan kalkmasıdır.

Lurking'in kavramsal zorluğu, davranışın gözlemlenebilir bir "yokluk" üzerinden tanımlanmasından kaynaklanır. Gönderi, yorum veya yanıt üretmeyen kullanıcı analitik olarak sessizdir; fakat bu sessizlik, kullanıcının bilişsel, duygusal veya bilgisel etkinliğini göstermez. Edelmann (2013, ss. 645–649), lurker tanımlarının önemli bölümünün katkı eksikliğini normatif biçimde sorunlaştırdığını ve bu nedenle kavramın olumsuz çağrışım kazandığını belirtir. Benzer biçimde Malinen (2015, ss. 228–238), çevrimiçi katılımın yalnızca görünür faaliyetler üzerinden ölçülmesinin aktif–pasif ikiliğini gereğinden fazla katılaştırdığını vurgular. Bu açıdan lurking, eylemsizlikten çok görünürlük rejimine ilişkin bir ölçüm problemidir.

Lurker ve poster kategorileri ampirik araştırma için kullanışlı olmakla birlikte, kullanıcı davranışını sabit kimliklere dönüştürme riski taşır. Bishop (2007, ss. 1881–1893), çevrimiçi katılımın bireysel amaçlar ve topluluk koşullarıyla değişebildiğini gösterirken; Nguyen vd. (2022, ss. 822–835) lurker'ların etkileşim koşulları değiştiğinde yenilik katkısı sunan aktörlere dönüşebileceğini tartışmıştır. Bu nedenle lurking, kişinin değişmez özelliği değil, bağlama bağlı bir katılım konumu olarak düşünülmelidir.

Güncel sosyal medya araştırmaları lurker'ların motivasyonlarında da süreklilik ve çeşitlilik olduğunu göstermektedir. Liu vd. (2024), mahremiyet kaygısı ve sosyal karşılaştırma gibi içsel faktörlerin yanı sıra bilgi, işlev ve sosyal aşırı yükün sosyal medya yorgunluğu ve kaygı üzerinden lurking davranışını güçlendirebildiğini göstermiştir. Bu

sonuç, lurking'in yalnızca "ilgisizlik" olarak açıklanamayacağını; bazen aşırı uyarandan korunma, kimlik yönetimi ve duygusal maliyeti azaltma stratejisi olabileceğini ortaya koymaktadır. Urbániková vd. (2026, advance online publication) ise politik içerikte sessizliğin belirli savunmacı ve sınır koyucu davranışlarla birlikte görülebileceğini göstererek, sessizliğin aktif bir kullanıcı stratejisi olabileceği fikrini güncel bir bağlamda desteklemektedir.

Lurking'in en istikrarlı motivasyonlarından biri bilgi edinmedir. Preece vd. (2004, ss. 201–223) lurker'ların sorularına yanıt aradığını belirtmiş; Sun vd. (2014, ss. 110–117) ise bilgi ihtiyacını bireysel motivasyonlar içinde merkezi bir unsur olarak sınıflandırmıştır. Kullanıcı açısından yazmadan okumak düşük maliyetli bir stratejidir: sosyal risk, zaman maliyeti ve norm ihlali ihtimali azaltılırken bilgi yararı korunabilir. Bu durum, özellikle cevabın topluluk arşivinde zaten bulunması halinde yeni bir gönderi üretmeyi gereksiz hale getirir.

Bilgi paylaşımı literatürü katkının neden maliyetli olduğunu açıklamak için yararlıdır. Wasko ve Faraj (2005, ss. 35–57), uzmanlık, itibar ve toplumsal sermaye gibi faktörlerin bilgi katkısını etkilediğini; Chiu vd. (2006, ss. 1872–1888) sosyal sermaye ve sosyal bilişsel unsurların sanal topluluklarda bilgi paylaşımını şekillendirdiğini göstermiştir. Ma ve Agarwal (2007, ss. 42–67) kimlik ve teknolojik tasarımın katkı davranışıyla ilişkisini tartışmış; Faraj vd. (2011, ss. 1224–1239) çevrimiçi topluluklarda bilginin ortaklaşa üretimini dinamik bir süreç olarak ele almıştır. Bu perspektiften lurker, paylaşım maliyetini üstlenmeden ortak bilgi havuzundan yararlanan bir kullanıcı olabilir; ancak aynı kullanıcı ileride katkıya geçebileceği için ilişki statik değildir.

Bu bilgi ekonomisi, üretken yapay zekâyla radikal biçimde değişmektedir. Klasik lurker bilgi arşivini kendisi tararken, yapay zekâ arayüzü arama, seçme, özetleme ve yeniden ifade etme işlemlerinin önemli bölümünü üstlenir. Böylece toplulukta gezinmenin bilişsel maliyeti de ortadan kalkabilir. Bu dönüşüm, "sessiz okuma"yı "makine aracılı sentez tüketimi"ne yaklaştırır ve bilgi edinmenin en az sosyal maliyetli biçimini daha da cazip hale getirir.

Sessiz katılımın ikinci kümesi sosyal ve psikolojik bariyerlerle ilgilidir. Ridings vd. (2006, ss. 329–354), lurker ve poster motivasyonlarının toplulukta güven, ihtiyaç ve katılım maliyetleri bakımından farklılaşabildiğini göstermiştir. Soroka ve Rafaeli (2006, ss. 163–172), kültürel sermaye ve gözlem arasındaki ilişkiyi inceleyerek topluluk normlarını bilmenin görünür katılım üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Preece vd. (2004, ss. 201–223) da grubu önce tanıma ve topluluk dinamiklerine uyum sağlayamama gibi nedenlerin sessizliği beslediğini göstermiştir.

Teknolojik koşullar da sessizliği şekillendirir. Kullanılabilirlik sorunları klasik forumlarda katılımı azaltabilirken, sosyal medya çağında algoritmik görünürlük ve aşırı içerik akışı farklı türden bariyerler üretir. Nguyen'in (2020, ss. 302–317) dört boyutlu modeli teknolojik ve örgütsel koşulların bireysel motivasyonlarla birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Liu vd. (2024) bilgi, işlev ve sosyal aşırı yükün yorgunluk ve kaygı üzerinden lurking'i artırdığını saptamıştır. Dolayısıyla sessizlik, teknolojik sistemin sunduğu seçeneklere verilen rasyonel veya duygusal bir tepki olabilir.

Bu nokta yapay zekâ bakımından önemlidir: üretken yapay zekâ klasik bariyerlerden bazılarını azaltır. Topluluğun normunu öğrenmek, soru sormanın uygun olup olmadığını değerlendirmek, olumsuz cevap alma riski taşımak veya başkalarının tepkisine açık hale gelmek gerekmez. Kullanıcı, makineyle bire bir konuşarak toplulukta görünür olmadan bilgi alabilir. Bu nedenle yapay zekâ, lurking'in motivasyonlarından bir bölümünü ortadan kaldırmaktan çok, bu motivasyonlara alternatif bir teknik çözüm sunar.

LURKING VE DİJİTAL EMEK

Lurker'ın görünür içerik üretmemesi, dijital ekonomi bakımından "üretimsiz" olduğu anlamına gelmez. Terranova (2000, ss. 33–58), dijital ekonomide kullanıcı faaliyetlerinin ücretsiz emek biçimleri üretebildiğini; van Dijck (2009, ss. 41–58) kullanıcı üretimli içeriğin ajans ve ekonomik değer bağlamında ele alınması gerektiğini tartışmıştır. Ritzer ve Jurgenson (2010, ss. 13–36), üretim ile tüketim arasındaki sınırın prosumption pratikleriyle bulanıklaştığını göstermiştir. Sosyal medya ortamında yalnızca gönderi yazmak değil, tıklamak, izlemek, beğenmek, beklemek ve gezinmek de ölçülebilir veri akışları yaratır.

Bu açıdan lurker iki farklı değer rejiminde bulunur. Birincisi, içerik üretimine doğrudan katkı vermese de topluluk içeriğinin tüketicisi ve potansiyel dolaştırıcısıdır. İkincisi, platform düzeyinde davranışsal iz üretir. Fuchs (2014, ss. 97–123), sosyal medya prosumption'ını emek ve zaman rejimleriyle ilişkilendirerek kullanıcı etkinliğinin ekonomik değer üretimindeki rolünü vurgular. Dolayısıyla "sessiz" kullanıcı topluluk konuşmasında görünmeyebilir fakat platform analitiğinde, reklam hedeflemesinde ve algoritmik modellemede tamamen görünmez değildir.

Bu ayrım makalenin temel argümanlarından birini hazırlar: yapay zekâ aracılı bilgi edinmede veri izi ortadan kalkmaz; yalnızca başka bir altyapıya taşınır. Kullanıcı forumu ziyaret etmediğinde o topluluğun trafik ve davranışsal

verisine katkısı azalabilir; buna karşılık yapay zekâ sağlayıcısı etkileşim verisi üretir. Böylece sessiz katılımın ekonomik izi, topluluk platformundan yapay zekâ platformuna doğru yeniden dağıtılır.

Algoritmik sistemler bakımından görünürlük, kamusal ifade ile aynı şey değildir. Bucher (2012, ss. 1164–1180) Facebook bağlamında görünürlüğün algoritmik güç tarafından düzenlendiğini; Bucher (2017, ss. 30–44) kullanıcıların algoritmalar hakkında geliştirdiği gündelik tahayyüllerin platform deneyimini şekillendirdiğini göstermiştir. Lurker'ın gönderi yazmaması, algoritmik sistemin onu sınıflandırmadığı veya davranışlarından sinyal üretmediği anlamına gelmez. Aksine, görüntüleme süresi, tıklama örüntüsü ve takip davranışları platformun kişiselleştirme mekanizmaları için kullanılabilir.

Datafikasyon literatürü bu görünmez görünürlüğü daha geniş bir siyasal-ekonomik çerçeveye yerleştirir. van Dijck (2014, ss. 197–208), datafikasyonu toplumsal etkinliğin nicelleştirilebilir verilere dönüştürülmesi olarak tartışırken; Kitchin (2014) büyük verinin bilgi üretim rejimlerindeki epistemolojik etkilerini ele alır. Sadowski (2019), verinin sermaye olarak biriktirilmesini vurgular; Couldry ve Mejias (2019, ss. 336–349) veri çıkarımını sömürgeci bir mantıkla ilişkilendirir; Zuboff (2015, ss. 75–89) ise davranışsal verinin gözetim kapitalizmi içindeki rolünü açıklar. Bu çerçevede lurker, kamusal söylemde sessiz fakat veri ekonomisinde etkin bir özne olabilir.

Yapay zekâ aracılı lurking bu paradoksu derinleştirir. Kullanıcının topluluk içindeki görünmezliği, artık topluluğa hiç girmeme biçimini alabilir; buna karşın yapay zekâ sistemiyle kurulan diyalog yeni ve daha yoğun bir veri izi üretir. Dolayısıyla "sessizleşme", veri üretiminin ortadan kalkması değil, veri üretiminin mülkiyet ve altyapı merkezinin değişmesidir. Bu değişim, topluluğun kendi sürdürülebilirlik metriklerini zayıflatırken yapay zekâ platformlarının kullanıcı ihtiyaçları hakkında daha doğrudan veri toplamasına olanak verir.

İNSAN–İNSAN GÖZLEMİNDEN İNSAN–MAKİNE ETKİLEŞİMİNE

İnsan–makine iletişimi literatürü, kullanıcıların bilgisayarları yalnızca nötr araçlar olarak deneyimlemediğini uzun süredir göstermektedir. Nass ve Moon (2000, ss. 81–103), insanların bilgisayarlara sosyal kurallar ve kişilerarası beklentiler uygulayabildiğini; Sundar ve Nass (2000, ss. 683–703) kaynak yöneliminin insan–bilgisayar etkileşimindeki algıları etkilediğini göstermiştir. Bu klasik bulgular, günümüzde doğal dil kullanan yapay zekâ sistemlerinin neden "iletişim partneri" gibi deneyimlenebildiğini anlamak için temel oluşturur.

Sohbet robotu araştırmaları, bu sosyal aktörlük algısının tasarımsal ipuçlarıyla güçlendiğini göstermektedir. Araujo (2018, ss. 183–189), antropomorfik ipuçları ile iletişimsel ajans çerçevesinin sohbet robotu algısını etkilediğini; Go ve Sundar (2019, ss. 304–316) görsel, kimliksel ve konuşmasal ipuçlarının insanilik algısını şekillendirdiğini ortaya koymuştur. Feine vd. (2019, ss. 138–161), konuşma ajanlarında sosyal ipuçlarını sistematik bir taksonomi altında sınıflandırmıştır. Bu çalışmalar, makineyle kurulan iletişimin kullanıcı açısından salt bilgi sorgusu olmaktan çıkıp sosyal etkileşim özellikleri kazanabildiğini göstermektedir.

Sundar (2020, ss. 74–88), "makine ajansı" kavramıyla yapay zekâ sistemlerinin kullanıcı deneyiminde bağımsız eyleyici gibi konumlanmasının psikolojik sonuçlarını tartışır. Guzman ve Lewis (2020, ss. 70–86) insan–makine iletişimini iletişim çalışmalarının özgül bir araştırma alanı olarak formüle ederken, Hancock vd. (2020, ss. 89–100) yapay zekâ aracılı iletişimin mesaj üretimi ve kişilerarası süreçleri dönüştürdüğünü ileri sürer. Bu perspektif, lurking tartışmasını önemli ölçüde genişletir: Klasik lurker başkalarının insan–insan iletişimini gözlemlerken, yapay zekâ kullanıcısı doğrudan makineyle konuşur ve başkalarının katkılarına bir sentez katmanı üzerinden erişir.

Sosyal sohbet robotları, makineyle kurulan ilişkinin yalnızca araçsal olmadığını da göstermektedir. Shum vd. (2018, ss. 10–26) sosyal sohbet robotlarının teknik ve etkileşimsel fırsatlarını; Ho vd. (2018, ss. 712–733) sohbet robotuyla öz-açımın psikolojik ve ilişkisel etkilerini incelemiştir. Ta vd. (2020, e16235), kullanıcıların gündelik bağlamlarda sohbet robotlarından sosyal destek deneyimleyebildiğini; Skjuve vd. (2021) insan–sohbet robotu ilişkilerinin arkadaşlık benzeri nitelikler kazanabildiğini; Croes ve Antheunis (2021, ss. 279–300) bu ilişkinin zaman içinde gelişimini göstermiştir. Hepp (2020, ss. 1410–1426) iletişimsel robotları medya ve iletişim araştırmalarının nesnesi olarak tartışırken, Humphry ve Chesher (2021, ss. 1971–1988) sesli asistanları daha geniş bir medya tarihi içinde konumlandırmıştır.

Bu birikim, yapay zekâ aracılı lurking'in "insan yokluğu" olarak değil, etkileşim partnerinin değişmesi olarak anlaşılmasını gerektirir. Kullanıcı sosyal risklerden kaçınırken tamamen etkileşimsiz kalmaz; aksine daha yanıtlayıcı, bire bir ve kişiselleştirilmiş bir makine arayüzüyle daha yoğun diyaloga girebilir. Klasik lurker'ın sessizliği insan topluluğuna karşı sessizliktir; yapay zekâ kullanıcısının sessizliği ise orijinal topluluk bakımından sessizlik, makine bakımından ise aktif konuşmadır.

YAPAY ZEKÂ ARACILI LURKING

Bu çalışmada "yapay zekâ aracılı lurking", kullanıcının belirli bir bilgi ihtiyacını, orijinal çevrimiçi topluluğa doğrudan katılmadan veya onu ziyaret etmeden, insan üretimi çevrimiçi bilgi birikimini kullanan bir üretken yapay zekâ sistemiyle etkileşerek karşılaması olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar artık topluluk içeriğini doğrudan gözlememekte; onun yerine topluluklar ve daha geniş web üzerinde üretilmiş bilginin makine aracılı sentezini tüketmektedir.

Klasik lurking ile süreklilik üç noktada kurulabilir. Birincisi, her iki pratikte de temel amaç çoğu zaman bilgi edinmek veya belirsizliği azaltmaktır (Preece vd., 2004, ss. 201–223; Sun vd., 2014, ss. 110–117). İkincisi, kullanıcı kamusal görünürlükten ve sosyal maliyetten kaçınabilir. Üçüncüsü, iki durumda da kullanıcı doğrudan içerik üretmeden başkalarının ürettiği bilgi birikiminden yararlanır. Bu nedenle yapay zekâ aracılı pratik, lurking'in motivasyonel mantığını büyük ölçüde sürdürür.

Bununla birlikte kavram, klasik tanımın mekanik biçimde genişletilmesi değildir. Eğer lurking kesin olarak "bir çevrimiçi topluluğa üye olup mesaj yazmadan o topluluğun içeriklerini okumak" şeklinde tanımlanırsa, topluluğa hiç girmeyen yapay zekâ kullanıcısı teknik olarak lurker değildir. Bu nedenle öneri, kavramsal bir yeniden tanımlama iddiası taşır: lurking'in özünü mekânsal/dijital üyelikten ziyade, başkalarının bilgi emeğinden görünür karşılıklılık üretmeden yararlanma ve kamusal konuşmayı doğrudan üstlenmeme mantığında arar. Bu yaklaşımın değeri, yapay zekâ çağındaki bilgi tüketimini klasik sessiz katılımla karşılaştırılabilir hale getirmesidir.

Klasik lurking'in merkezinde doğrudan gözlem vardır. Kullanıcı başkalarının konuşmasına katılmaz ama konuşmayı görür. Yapay zekâ aracılı bilgi edinmede ise kullanıcı çoğu zaman konuşmanın kendisini görmez; konuşmalardan, belgelerden ve diğer insan üretimi metinlerden öğrenilmiş örüntülerin model tarafından yeniden kurulmuş sonucunu görür. Bu, gözlemin "ikinci-düzey" hale gelmesidir. Kavramsal olarak sessizlik aynı kalırken epistemik mesafe büyür.

Bu nedenle yapay zekâ aracılı lurking ifadesi iki farklı okuma üretir. Geniş tanımda, başkalarının bilgi emeğinden görünür katkı sunmadan yararlanmanın yeni biçimidir. Dar tanımda ise gerçek lurking değildir; çünkü topluluk üyeliği ve doğrudan gözlem yoktur. Makalenin önerisi, bu gerilimi kavramın zayıflığı olarak değil, araştırma gündemi olarak değerlendirmektir. Gelecek çalışmalar, kullanıcıların yapay zekâ'ya yönelmeden önce hangi topluluklarda lurking

yaptığını, yapay zekâ kullanımı sonrasında bu topluluklarla bağlarının nasıl değiştiğini ve yapay zekâ yanıtlarının onları yeniden topluluğa yönlendirip yönlendirmediğini ölçebilir.

İnsan–makine iletişimi literatürü, makinelerin iletişimsel partner olarak kabul edilmesinin iletişim teorisi açısından sonuçlarını tartışmaktadır (Guzman & Lewis, 2020, ss. 70–86; Sundar, 2020, ss. 74–88). Lurking açısından bu sonuç özellikle önemlidir: görünür insan katılımının azalması, iletişim davranışının azalması anlamına gelmeyebilir. Kullanıcı topluluğa soru sormaz ama yapay zekâ'ya daha fazla soru sorar; insan yorumlarını okumaz ama modelle iteratif konuşma yürütür. Dolayısıyla katılım bir platformdan diğerine ve insan sosyalitesinden makine sosyalitesine taşınabilir.

Bu dönüşüm, çevrimiçi topluluk araştırmalarında ölçüm sorununu büyütür. Bir platform yalnızca kendi gönderi ve ziyaret verisine bakarak kullanıcıların bilgi ihtiyacının azaldığı sonucuna varabilir; oysa ihtiyaç başka bir arayüze kaymış olabilir. Aynı biçimde yapay zekâ platformu yüksek etkileşim görürken, bu etkileşimin arkasında yıllarca oluşturulmuş topluluk bilgisinin bulunduğunu görünür kılmayabilir. Katılım araştırmalarının bu nedenle platformlar arası bilgi akışını ve aracılık ilişkilerini birlikte ölçmesi gerekmektedir.

Yapay zekâ aracılı lurking, dijital emeğin görünmezliğini yeni bir düzeye taşır. Klasik lurker en azından bilgiyi üreten topluluğun sayfasındadır; yapay zekâ kullanıcısı ise katkının üretildiği yeri görmeyebilir. Kaynak ve emek ilişkisinin görünmezleşmesi, kamusal bilgiye yönelik karşılıklılık normlarını da zayıflatabilir.

Klasik lurker'ın önemli bir avantajı, bilgiye bağlamı içinde ulaşabilmesidir. Forumda bir yanıtın tarihini, yazarı, oylarını, itirazları ve alternatif çözümleri görmek mümkündür. Üretken yapay zekâ, bu çok sesli bağlamı akıcı tekil bir yanıt biçiminde sıkıştırabilir. Bu durum kullanıcı açısından kolaylık sağlarken kaynak görünürlüğünü azaltır. Bender vd. (2021, ss. 610–623), akıcı dil üretiminin güvenilir anlam veya doğrulukla özdeşleştirilmemesi gerektiğini; Carlini vd. (2021, ss. 2633–2650) ise eğitim verisi ve model çıktısı arasındaki ilişkinin beklenenden daha doğrudan olabildiğini göstermiştir.

İkinci-düzey lurking bu nedenle epistemik bir mesafe üretir: kullanıcı bilgi kaynağına değil, kaynağın model tarafından kurulan temsil biçimine güvenir. Bu mesafe, özellikle güncel, tartışmalı veya uzmanlık gerektiren konularda doğrulama ihtiyacını artırır. Yapay zekâ platformlarının kaynak gösterme, belirsizlik ifade etme ve orijinal topluluklara yönlendirme pratikleri, gelecekte bu yeni lurking biçiminin güvenilirliğini belirleyen temel tasarım unsurları olacaktır.

Bilgi topluluklarının değeri yalnızca doğru cevaptan ibaret değildir. Joyce ve Kraut (2006, ss. 723–747), Ren vd. (2012, ss. 841–864) ve Blanchard ve Markus (2004, ss. 64–79), topluluk deneyiminde sosyal bağ, yapay zekâdiyet ve katılım sürekliliğinin önemini göstermiştir. Bir soruya cevap aramak aynı zamanda normları öğrenmek, uzmanları tanımak, farklı bakışları görmek ve bir topluluğun parçası olmak anlamına gelebilir.

Yapay zekâ aracılı bilgi edinme bu sosyal yan ürünleri azaltabilir. Kullanıcı daha hızlı ve kişiselleştirilmiş yanıt alırken, bilgi üreticileriyle karşılaşmayabilir ve topluluğun kültürel sermayesini edinmeyebilir. Bu durum özellikle yeni başlayanlar için önemlidir; çünkü Burtch vd. (2024, "Results" section) ve Quinn ve Gutt (2025, ss. 370–399) yeni kullanıcıların yapay zekâ sonrası daha fazla çekildiğini göstermektedir. Uzun vadede uzman topluluklarına giriş yapan yeni üye akışının azalması, yalnızca içerik hacmini değil, uzmanlığın kuşaklar arası ve üyeler arası dolaşımını da etkileyebilir.

SONUÇ

Bu çalışma, çevrimiçi toplulukların "sessiz sakinleri" olarak tanımlanan lurker'ların üretken yapay zekâ çağında yeni bir konuma taşındığını ileri sürmektedir. Klasik lurking, görünür katkısı düşük olmakla birlikte topluluk içi bir davranıştır: kullanıcı konuşmaları izler, bilgi edinir, normları öğrenir ve gelecekte katkıya geçebilir. Üretken yapay zekâ ise aynı bilgi ihtiyacını topluluğa doğrudan girmeden karşılamayı mümkün kılar. Bu nedenle sessizliğin biçimi, insan–insan iletişimini gözlemlemekten insan–makine diyaloğu aracılığıyla insan üretimi bilginin sentezini tüketmeye doğru dönüşmektedir.

Kavramsal öneri beş boyuta dayanmaktadır: ekolojik konum, etkileşim partneri, bilgi kaynağı, görünürlük/veri izi ve karşılıklılık. Klasik lurker topluluğun periferisinde yer alırken yapay zekâ aracılı kullanıcı topluluk dışında kalabilir; klasik durumda insan iletişimi gözlemlenirken yeni durumda makineyle doğrudan etkileşim kurulur; klasik durumda kaynak bağlamı görünürken yapay zekâ yanıtı kaynakları sentezler; veri izi topluluktan yapay zekâ platformuna kayabilir; son olarak bilgi yararı ile topluluğa geri katkı arasındaki mesafe büyüyebilir.

2024–2025 dönemindeki ampirik araştırmalar bu kavramsal önerinin gözlenebilir sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Stack Overflow ve StackExchange gibi bilgi odaklı topluluklarda ChatGPT sonrası trafik ve soru hacmi düşmüş, özellikle yeni veya casual kullanıcılar daha fazla geri çekilmiştir (Burtch vd., 2024; del Rio-Chanona vd., 2024;

Quinn & Gutt, 2025). Bu bulgular yapay zekânın lurking'i basitçe ortadan kaldırmadığını; bilgi arama davranışını topluluk dışına taşıyarak onun toplumsal ve ekonomik bağlamını yeniden yapılandırdığını düşündürmektedir.

Çalışmanın ikinci önemli sonucu, dijital emek ve kamusal bilgi bakımından ortaya çıkan karşılıklılık paradoksudur. Büyük dil modelleri insan üretimi metin ve bilgi ekolojilerinden yararlanırken, bu modellerin toplulukları ikame etmesi yeni insan katkılarının üretildiği alanları zayıflatabilir. Kullanıcının veri üretimi de sona ermez; yalnızca topluluk platformundan yapay zekâ platformuna taşınır. Böylece topluluk trafik, üyelik ve potansiyel katkı kaybederken, yapay zekâ platformu kullanıcı niyetine dyapay zekâr daha doğrudan etkileşim verisi kazanabilir.

Bu kavramsal çerçevenin ampirik olarak sınanması için ilk olarak kullanıcı düzeyinde boylamsal çalışmalar gereklidir. Araştırmalar, bireylerin yapay zekâ kullanmaya başlamadan önce hangi toplulukları ne sıklıkla ziyaret ettiğini; yapay zekâ kullanımından sonra ziyaret, okuma ve gönderi davranışlarının nasıl değiştiğini ölçebilir. Özellikle yeni üyeler, uzmanlar ve uzun süreli lurker'lar arasında farklı geçiş örüntüleri olup olmadığı incelenmelidir.

İkinci olarak, topluluk türleri arasında karşılaştırmalı araştırmalar yapılmalıdır. Burtch vd. (2024, "Methods" and "Results" sections) sosyal dokunun ikame etkisini sınırlayabileceğini göstermiştir. Bu nedenle teknik soru-cevap toplulukları, sağlık destek grupları, marka toplulukları, politik tartışma ağları ve hobi toplulukları yapay zekâ aracılı lurking bakımından farklılaşabilir. Bilgi ihtiyacı ile yapay zekâdiyet ihtiyacının göreli ağırlığı, yapay zekâ'ya geçişin önemli bir belirleyicisi olabilir.

Üçüncü olarak, kavramın ölçüm araçları geliştirilmelidir. "yapay zekâ aracılı lurking ölçeği" doğrudan topluluk kullanımındaki azalma, yapay zekâ üzerinden topluluk-kökenli bilgiye erişim, kaynak bağlantılarını takip etmeme, topluluğa geri katkı niyeti, sosyal bağ ve yapay zekâ'ya duyulan araçsal güven gibi boyutları içerebilir. Nitel görüşmeler, kullanıcıların topluluğa girmemeyi bilinçli bir tercih olarak mı gördüğünü, yoksa yapay zekâ arayüzünün bu davranışı fark edilmeden mi dönüştürdüğünü açıklamaya yardımcı olacaktır.

Son olarak, tasarım ve politika araştırmaları yapay zekâ ile çevrimiçi topluluklar arasında daha sürdürülebilir geri besleme modellerini incelemelidir. Kaynak bağlantıları, topluluk atfı, doğrulama çağrıları, "yanıtı tartışmada gör" yönlendirmeleri ve katkıyı teşvik eden hibrit arayüzler, bilgi tüketiminin tamamen kapalı yapay zekâ oturumlarına çekilmesini azaltabilir. Bu tür tasarımlar, üretken yapay zekânın verimliliğini korurken kamusal bilgi üretimi, topluluk aidiyeti ve insan uzmanlığının görünürlüğünü destekleyebilir.

KAYNAKÇA

Araujo, T. (2018). Living up to the chatbot hype: The influence of anthropomorphic design cues and communicative agency framing on conversational agent and company perceptions. Computers in Human Behavior, 85, 183–189. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.03.051

Beaudoin, M. F. (2002). Learning or lurking? Tracking the "invisible" online student. The Internet and Higher Education, 5(2), 147–155. https://doi.org/10.1016/S1096-7516(02)00086-6

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (ss. 610–623). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922

Bishop, J. (2007). Increasing participation in online communities: A framework for human–computer interaction. Computers in Human Behavior, 23(4), 1881–1893. https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.11.004

Blanchard, A. L., & Markus, M. L. (2004). The experienced "sense" of a virtual community: Characteristics and processes. The DATA BASE for Advances in Information Systems, 35(1), 64–79. https://doi.org/10.1145/968464.968470

Bucher, T. (2012). Want to be on the top? Algorithmic power and the threat of invisibility on Facebook. New Media & Society, 14(7), 1164–1180. https://doi.org/10.1177/1461444812440159

Bucher, T. (2017). The algorithmic imaginary: Exploring the ordinary affects of Facebook algorithms. Information, Communication & Society, 20(1), 30–44. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154086

Burtch, G., Lee, D., & Chen, Z. (2024). The consequences of generative AI for online knowledge communities. Scientific Reports, 14. https://doi.org/10.1038/s41598-024-61221-0

Carlini, N., Tramèr, F., Wallace, E., Jagielski, M., Herbert-Voss, A., Lee, K., Roberts, A., Brown, T., Song, D., Erlingsson, Ú., Oprea, A., & Raffel, C. (2021). Extracting training data from large language models. In 30th USENIX Security Symposium (ss. 2633–2650). USENIX Association.

Chiu, C.-M., Hsu, M.-H., & Wang, E. T. G. (2006). Understanding knowledge sharing in virtual communities: An integration of social capital and social cognitive theories. Decision Support Systems, 42(3), 1872–1888. https://doi.org/10.1016/j.dss.2006.04.001

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). Data colonialism: Rethinking big data's relation to the contemporary subject. Television & New Media, 20(4), 336–349. https://doi.org/10.1177/1527476418796632

Croes, E. A. J., & Antheunis, M. L. (2021). Can we be friends with Mitsuku? A longitudinal study on the process of relationship formation between humans and a social chatbot. Journal of Social and Personal Relationships, 38(1), 279–300. https://doi.org/10.1177/0265407520959463

del Rio-Chanona, R. M., Laurentsyeva, N., & Wachs, J. (2024). Large language models reduce public knowledge sharing on online Q&A platforms. PNAS Nexus, 3(9). https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae400

Dennen, V. P. (2008). Pedagogical lurking: Student engagement in non-posting discussion behavior. Computers in Human Behavior, 24(4), 1624–1633. https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.06.003

Edelmann, N. (2013). Reviewing the definitions of "lurkers" and some implications for online research. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 16(9), 645–649. https://doi.org/10.1089/cyber.2012.0362

Faraj, S., Järvenpää, S. L., & Majchrzak, A. (2011). Knowledge collaboration in online communities. Organization Science, 22(5), 1224–1239. https://doi.org/10.1287/orsc.1100.0614

Feine, J., Gnewuch, U., Morana, S., & Maedche, A. (2019). A taxonomy of social cues for conversational agents. International Journal of Human-Computer Studies, 132, 138–161. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.07.009

Fuchs, C. (2014). Digital prosumption labour on social media in the context of the capitalist regime of time. Time & Society, 23(1), 97–123. https://doi.org/10.1177/0961463X13502117

Go, E., & Sundar, S. S. (2019). Humanizing chatbots: The effects of visual, identity and conversational cues on humanness perceptions. Computers in Human Behavior, 97, 304–316. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.020

Guzman, A. L., & Lewis, S. C. (2020). Artificial intelligence and communication: A Human–Machine Communication research agenda. New Media & Society, 22(1), 70–86. https://doi.org/10.1177/1461444819858691

Hancock, J. T., Naaman, M., & Levy, K. (2020). AI-mediated communication: Definition, research agenda, and ethical considerations. Journal of Computer-Mediated Communication, 25(1), 89–100. https://doi.org/10.1093/jcmc/zmz022

Hepp, A. (2020). Artificial companions, social bots and work bots: Communicative robots as research objects of media and communication studies. Media, Culture & Society, 42(7–8), 1410–1426. https://doi.org/10.1177/0163443720916412

Ho, A., Hancock, J., & Miner, A. S. (2018). Psychological, relational, and emotional effects of self-disclosure after conversations with a chatbot. Journal of Communication, 68(4), 712–733. https://doi.org/10.1093/joc/jqy026

Humphry, J., & Chesher, C. (2021). Preparing for smart voice assistants: Cultural histories and media innovations. New Media & Society, 23(7), 1971–1988. https://doi.org/10.1177/1461444820923679

Joyce, E., & Kraut, R. E. (2006). Predicting continued participation in newsgroups. Journal of Computer-Mediated Communication, 11(3), 723–747. https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.2006.00033.x

Kitchin, R. (2014). Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. Big Data & Society, 1(1). https://doi.org/10.1177/2053951714528481

Li, X., & Kim, K. (2025). Impacts of generative AI on user contributions: Evidence from a coding Q&A platform. Marketing Letters, 36, 577–591. https://doi.org/10.1007/s11002-024-09747-1

Liu, X., Feng, R., Chen, X., & Yuan, Y. (2024). “Left on read” examining social media users’ lurking behavior: An integration of anxiety and social media fatigue. Frontiers in Psychology, 15. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1406895

Ma, M., & Agarwal, R. (2007). Through a glass darkly: Information technology design, identity verification, and knowledge contribution in online communities. Information Systems Research, 18(1), 42–67. https://doi.org/10.1287/isre.1070.0113

Malinen, S. (2015). Understanding user participation in online communities: A systematic literature review of empirical studies. Computers in Human Behavior, 46, 228–238. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.004

Nass, C., & Moon, Y. (2000). Machines and mindlessness: Social responses to computers. Journal of Social Issues, 56(1), 81–103. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00153

Nguyen, T.-M. (2020). Four-dimensional model: A literature review on reasons behind lurking behavior. VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems, 51(2), 302–317. https://doi.org/10.1108/VJIKMS-10-2019-0168

Nguyen, T. M., Viet Ngo, L., & Paramita, W. (2022). Turning lurkers into innovation agents: An interactionist perspective of self-determination theory. Journal of Business Research, 141, 822–835. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.087

Nonnecke, B., Andrews, D., & Preece, J. (2006). Non-public and public online community participation: Needs, attitudes and behavior. Electronic Commerce Research, 6(1), 7–20. https://doi.org/10.1007/s10660-006-5985-x

Nonnecke, B., & Preece, J. (2000). Lurker demographics: Counting the silent. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (ss. 73–80). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/332040.332409

Preece, J., Nonnecke, B., & Andrews, D. (2004). The top five reasons for lurking: Improving community experiences for everyone. Computers in Human Behavior, 20(2), 201–223. https://doi.org/10.1016/j.chb.2003.10.015

Quinn, M., & Gutt, D. (2025). Heterogeneous effects of generative artificial intelligence (GenAI) on knowledge seeking in online communities. Journal of Management Information Systems, 42(2), 370–399. https://doi.org/10.1080/07421222.2025.2487313

Ren, Y., Harper, F. M., Drenner, S., Terveen, L., Kiesler, S., Riedl, J., & Kraut, R. E. (2012). Building member attachment in online communities: Applying theories of group identity and interpersonal bonds. MIS Quarterly, 36(3), 841–864. https://doi.org/10.2307/41703483

Ridings, C. M., Gefen, D., & Arinze, B. (2006). Psychological barriers: Lurker and poster motivation and behavior in online communities. Communications of the Association for Information Systems, 18, 329–354. https://doi.org/10.17705/1CAIS.01816

Ritzer, G., & Jurgenson, N. (2010). Production, consumption, prosumption: The nature of capitalism in the age of the digital "prosumer". Journal of Consumer Culture, 10(1), 13–36. https://doi.org/10.1177/1469540509354673

Sadowski, J. (2019). When data is capital: Datafication, accumulation, and extraction. Big Data & Society, 6(1). https://doi.org/10.1177/2053951718820549

Shum, H.-Y., He, X.-D., & Li, D. (2018). From Eliza to XiaoIce: Challenges and opportunities with social chatbots. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 19(1), 10–26. https://doi.org/10.1631/FITEE.1700826

Skjuve, M., Følstad, A., Fostervold, K. I., & Brandtzaeg, P. B. (2021). My chatbot companion—A study of human-chatbot relationships. International Journal of Human-Computer Studies, 149. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102601

Soroka, V., & Rafaeli, S. (2006). Invisible participants: How cultural capital relates to lurking behavior. In Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web (ss. 163–172). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/1135777.1135806

Sun, N., Rau, P. P.-L., & Ma, L. (2014). Understanding lurkers in online communities: A literature review. Computers in Human Behavior, 38, 110–117. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.022

Sundar, S. S. (2020). Rise of machine agency: A framework for studying the psychology of Human–AI Interaction. Journal of Computer-Mediated Communication, 25(1), 74–88. https://doi.org/10.1093/jcmc/zmz026

Sundar, S. S., & Nass, C. (2000). Source orientation in human-computer interaction: Programmer, networker, or independent social actor? Communication Research, 27(6), 683–703. https://doi.org/10.1177/009365000027006001

Ta, V., Griffith, C., Boatfield, C., Wang, X., Civitello, M., Bader, H., DeCero, E., & Loggarakis, A. (2020). User experiences of social support from companion chatbots in everyday contexts: Thematic analysis. Journal of Medical Internet Research, 22(3), e16235. https://doi.org/10.2196/16235

Terranova, T. (2000). Free labor: Producing culture for the digital economy. Social Text, 18(2), 33–58. https://doi.org/10.1215/01642472-18-2_63-33

Urbániková, M., Goyanes, M., & Jordá, B. (2026). The silent majority online: Lurking, online political engagement on social media, and the role of value-incongruent political exposure. Information, Communication & Society. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/1369118X.2026.2653099

van Dijck, J. (2009). Users like you? Theorizing agency in user-generated content. Media, Culture & Society, 31(1), 41–58. https://doi.org/10.1177/0163443708098245

van Dijck, J. (2014). Datafication, dataism and dataveillance: Big Data between scientific paradigm and ideology. Surveillance & Society, 12(2), 197–208. https://doi.org/10.24908/ss.v12i2.4776

Wasko, M. M., & Faraj, S. (2005). Why should I share? Examining social capital and knowledge contribution in electronic networks of practice. MIS Quarterly, 29(1), 35–57. https://doi.org/10.2307/25148667

Zuboff, S. (2015). Big other: Surveillance capitalism and the prospects of an information civilization. Journal of Information Technology, 30(1), 75–89. https://doi.org/10.1057/jit.2015.5

Türkiye'de İhracat Odaklı Girişimcilik ve Storybox Platformundan Seçilmiş Örnekler

Öğr. Gör. Dr. Sinan Can ALTUNTAŞ[1]

[1]E-mail: scaltuntas@baskent.edu.tr; Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler MYO, Dış Ticaret Programı, Ankara / Türkiye, ORCID: 0000-0002-6550-4264

Özet

Hazırlanmış çalışmada ekonomi, dış ticaret ve girişimcilik perspektifinden temel teorik bilgiler paylaşılarak, Türkiye'deki girişimcilik ve dış ticaret ekosisteminin geliştirilmesi ve bu yolla ekonomik kazanç elde edilmesine yönelik toplumda ve akademide farkındalık oluşturulmak amaçlanmıştır. Belirtilen amaç doğrultusunda çalışmada öncelikle Türkiye ekonomisinin uzak ve yakın geçmişinde meydana gelen önemli iktisadi olaylar ve süreçler ele alınmıştır. Sonrasında ülke ekonomisinin temel bileşenlerinden olan dış ticaret ve girişimcilik üzerinde kavramsal olarak durulmuş, bilgi verilmiştir. Ek olarak girişimci ve girişimcilik süreçlerinin pekiştirilmesi, tanıtılması adına Youtube.com internet sitesi platformunda yer alan StoryBox video sayfası tarafından yayınlanmış en çok izlendiği düşünülen beş kısa girişimcilik filminin yorumlaması gerçekleştirilmiştir. Yorumlaması yapılan videolardan elde edilen en genel çıkarımın; girişimcilik faaliyetleri ve uygulamalarıyla ülke ekonomisine dış ticaret yoluyla katkı yapılabileceğinin var olmasıdır. Dolayısıyla ülkelerin girişimcilik faaliyetlerini, girişimci uygulamalarını toplumun tabanına yayması ve bu süreçleri ülke politikası olarak geliştirmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu doğrultuda ülkelerin girişimci sayılarını, girişimcilik faaliyetlerini artırmaları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomi, Girişimcilik, İhracat, Uluslararası Ticaret.

Abstract

Export-Oriented Entrepreneurship in Türkiye and Selected Examples from the Storybox Platform

This study shares fundamental theoretical knowledge from the perspectives of economics, foreign trade and entrepreneurship. The aim is to raise awareness within society and academia regarding the development of the entrepreneurship and foreign trade ecosystem in Türkiye and the resulting its

economic gain. In line with the stated objective, the study firstly examines and shares the economic events and processes that have occurred in the recent and distant past of the Turkish economy. Subsequently, the concepts of foreign trade and entrepreneurship, which are fundamental components of the country's economy, discussed conceptually and information, were provided. Additionally to reinforce and promote entrepreneurship and entrepreneurial processes, a detailed analysis was conducted of the five most-watched short entrepreneurship films published by StoryBox on YouTube.com. The most general conclusion drawn from the analysis of the relevant videos is that entrepreneurial activities and practices can contribute to the national economy through foreign trade. Therefore, it is considered important for countries to spread entrepreneurial activities and practices to the grassroots level of society and to develop these processes as national policies. In this context, it recommended and considered important for countries to increase the number of entrepreneurs and entrepreneurial activities.

Keywords: Economy, Entrepreneurship, Export, International Trade.

1. Türkiye'nin 1923'ten Günümüze Uyguladığı Ekonomi Politikası

Türkiye, 1923-1930 tarihleri arasında liberalizm olarak nitelendirilebilecek özel kesime ağırlık veren, serbest ticarete dayalı bir ekonomi politikasıyla ilk yolculuğuna çıkmıştır. İlk serüven sürecinde İzmir İktisat Kongresi ile ülke ekonomisinin yol haritası çizilmiş, dış ticarette açık ekonomi modeli kurgulanmış, özel sektör teşvik edilmiş ancak ülkedeki sermaye miktarının yeterli düzeyde olmaması dolayısıyla yapılan planlamalar sekteye uğramıştır. Bu ekonomi ve ticari politikaların yapılmasındaki amaç milli burjuvazi yaratmaktı. Bu dönemin en önemli özelliği liberal politikaların olduğu ama altyapısı zayıf bir ekonominin varlığı şeklinde belirtilmektedir.

1930-1946 tarihleri arasında devletçi ekonomi modeli ile iktisadi faaliyetler yürütülmeye özen gösterilmiştir. Bu dönemde özellikle 1929'da Dünya Büyük Depresyonunun (Büyük Buhran, Büyük Depresyon veya 1929 Dünya Ekonomik Bunalımı olarak da isimlendirilmektedir) meydana gelmesi ile tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de piyasaya devlet müdahaleleri meydana gelmiştir. Sümerbank, Etibank gibi Kamu İktisadi Teşebbüsleri (KİT) bu dönemde kurulmuştur. KİT'ler sermayesinin tamamı veya büyük bir çoğunluğu devlete ait olan, kamu hizmeti sunarken aynı zamanda ticari esaslara göre faaliyet gösteren ekonomik kuruluşlar olarak ifade edilmekte ve devletin ekonomik alanda düzenleyici ve üretici rolünü üstlenen kurumlarıdır. Yine bu dönemde sanayileşme devlet eliyle yürütülmüş ve

ithal ikamesine geçiş süreci başlatılmıştır. Bu dönemin en önemli özelliği planlı ve devlet öncülüğünde sanayileşme politikalarının uygulanması şeklinde ifade edilmektedir.

1946-1960 tarihleri arasında tekrar liberal politikalara dönüş uygulamaları ve dışa açılma stratejileri ile ekonomiye yön verilmeye çalışılmıştır. İlgili tarihsel süreçte Türkiye'de çok partili hayata geçiş ile birlikte ekonomi politikası değiştirilmiştir. Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından finanse edilen Marshall Plan kapsamında desteklerden ve yardımlardan yararlanmıştır. Bu yardımlar ile birlikte ülkede tarım ve altyapı yatırımları arttırılmıştır. Ayrıca ülkede ithalatın artış gösterdiği ve ülkenin dış açığının büyüdüğü dikkatleri çekmektedir. Bu dönemin en önemli özelliğinin göreceli liberalizm uygulamalarının olduğu ve dışarıya bağımlı büyümenin meydana gelmesidir.

1960-1980 tarihleri arasında Türkiye'de ithal ikameci sanayileşme iktisat politikaları izlenerek planlı kalkınma süreci ile ekonomik düzen sürdürülmeye çalışılmıştır. Diğer bir ifade ile planlı karma ekonomi politikası izlenmiştir. Bu dönemde beş yıllık kalkınma planları ile ekonominin rotası oluşturulmuştur. Ayrıca ithal ürün kullanımı ve tüketimi yüksek gümrük vergileri ile engellenmeye çalışılmış, yerli malı üretimi ve tüketimi sanayi stratejisi kapsamında desteklenmiş ve teşvik edilmiştir. Fakat bu dönemde ülke döviz darboğazı, verimsiz sanayi üretimi, 1970 ekonomik krizi gibi birçok sorun ile karşılaşmıştır.

1980-2001 tarihleri Türkiye'de ekonomi politikalarında radikal değişikliklerin yapıldığı ve önemli sosyal olayların yaşandığı bir süreç olmuştur. Bu dönemde dışa açılma faaliyetleri ve neoliberal ekonomi politikaları ile piyasa ekonomisine geçiş dönemi 24 Ocak 1980 tarihinde alınan iktisadi kararlar doğrultusunda uygulanmaya başlamıştır. 24 Ocak 1980 iktisadi kararları Türkiye ekonomisini "ithal ikameci" modelden "ihracata dayalı serbest piyasa" modeline dönüştüren kapsamlı bir istikrar paketidir. İlgili kararlar ile ihracata dayalı ekonomik büyüme elde etmek, serbest piyasa ekonomisine geçmek ve finansal liberalleşmeyi ülkede uygulamak gibi amaçlar bulunmaktadır. 1980'lerin ikinci yarısından itibaren özel kesim ağırlıklı karma ekonomik model uygulanmaya başlanmıştır. 1990'lardan itibaren küreselleşme ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak Türkiye de kapitalizmin daha etkin hissedildiği bir modele doğru yavaş yavaş ilerlemiştir. Fakat bu dönem de 1994, 1999 ve 2001 ekonomik krizleri meydana gelmiş ve gelir dağılımında bozulmalar olmuştur. Ayrıca bu dönemde ülkede özelleştirme faaliyetleri başlatılmıştır.

2001-2013 tarihleri arasında Türkiye'de yapısal reformlar uygulanarak ekonomik yapıda istikrarlı bir süreç ve sistem elde edilmiştir. Türkiye'de 2001 krizi sonrasında bankacılık sisteminde ve finansal alanda güçlü reformlar yapılmış,

Uluslararası Para Fonu (IMF) destekli ve teşvikli ekonomik programlar ülkede uygulanmıştır. Bu süreçte enflasyon kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Ayrıca yüksek ekonomik büyüme ve yabancı yatırım artışı sağlanmış olmasına rağmen müdahaleli piyasa ekonomisi dönemi yaşanmıştır.

2013-2026 tarihleri arasında Türkiye ekonomisi hem içsel hem de dışsal nedenlerden dolayı daha karmaşık, daha dalgalı bir hal almış ve yeni politikaların izlendiği bir döneme geçiş yapmıştır. Bu süreçte bankalar tarafından sunulan kredi olanakları odaklı ekonomik büyüme modeli ele alınmıştır. Döviz kuru dalgalanmaları ve enflasyon artışı meydana gelmiş ayrıca faiz politikaları tartışmalı bir hal almıştır. 2020 yılında yaklaşık iki sene kadar süren pandemi dolayısıyla ekonomi sekteye uğramış, pandeminin olumsuz etkileri azalmaya başladığı süre zarfı ile ülkede düşük faiz politikası, ihracat ve üretim odaklı büyüme stratejisi ile yeni bir ekonomi modeli uygulanmaya başlamış ve bu düşünce günümüzde de devam etmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti'nin ekonomik tarihini anlatan üst taraftaki süreçleri en önemli özellikleriyle bir tabloda gösterirsek aşağıdaki gibi bir özet tablo tablo.1'de karşımıza çıkmaktadır.

Tablo.1: Türkiye Ekonomisindeki Dönemler (Özet Bilgi)

Yıllar	Dönemin Özelliği
1923-1930	Ülkenin kuruluşu ve serbest ticarete giriş denemeleri
1930-1946	1929 Büyük Depresyon, Osmanlı devleti borçlarının geri ödeme çalışmaları, devletçilik politikası, II. Dünya Savaşı, kıtlık, ithalatta yaşanan problemler, varlık vergisi uygulaması
1946-1960	Çok partili yaşam, liberal uygulamalar ve Marshall yardımı
1960-1980	Planlı dönem, ithal ikameci politikalar, akaryakıt fiyatı yükselişi, Kıbrıs Barış Harekâtı, ekonomik ambargo süreci
1980-2001	Serbest piyasa düzenine geçiş, dışa açılma süreci ve neoliberal politikaların uygulanması, 1994 ekonomik krizi, IMF desteği, 2001 ekonomik krizi
2001-2013	Ekonomide yapısal reformlar, Avrupa Birliği (AB) ile yakınlaşma, liberal politikalar
2013-2026	AB ile ilişkilerin bozulması, piyasaya müdahaleler, siyasal sorunlar, pandemi, düşük faiz sorunsalı

Kaynak: Tablo yazar tarafından oluşturulmuştur

2. Türkiye'nin Dış Ticaret Yapısı

Hem ulusal hem de uluslararası ticari faaliyetler insanoğlunun varlığından itibaren her bölgede ve her dönemde önemli bir iş kolu olarak kabul edilmiş ve halka, topluma hizmet eden bir yapı olmuştur. Bu kapsamıyla dış ticaret faaliyetleri en basit tanımıyla mal, hizmet ve sermayenin ulusal sınırların ötesine taşınmasını ifade eden ekonomik bir faaliyettir (Kaya, 2015; Seyidoğlu, 2021). Dış ticaret faaliyetlerinin temelini ihracat ve ithalat süreçleri oluşturmaktadır. Ayrıca ihracat ve ithalat sisteminin de alt boyutları bulunmaktadır. Bu doğrultuda ihracat; bir malın yürürlükteki ihracat mevzuatı ile gümrük mevzuatına uygun şekilde Türkiye gümrük bölgesi dışına veya serbest bölgelere çıkarılmasını ya da Türkiye Cumhuriyeti (T.C.) Ticaret Bakanlığı tarafından ihracat olarak kabul edilecek sair (öteki) çıkış ve işlemlere denilmektedir. İthalat ise bir ülkedeki alıcıların başka ülkelerde üretilmiş mal ve hizmetleri satın alma faaliyetleri (Kaya, 2015) olarak ifade edilmektedir.

Tablo.2: Türkiye'nin Son 10 Yıldaki Dış Ticaret Rakamları

Yıl	Türkiye'nin İhracat Rakamı (Milyar $)	Türkiye'nin İthalat Rakamı (Milyar $)	Türkiye'nin Dış Ticaret Hacmi (Milyar $)
2016	149,25	202,19	351,44
2017	164,49	238,72	403,21
2018	177,17	231,15	408,32
2019	180,83	210,35	391,18
2020	169,64	219,52	389,15
2021	225,29	271,42	496,72
2022	254,17	363,71	617,88
2023	255,44	361,76	617,21
2024	261,86	344,02	605,88
2025	273,43	365,52	638,95

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2026)

Tablo.2'de sunulan Türkiye'nin son 10 yıldaki dış ticaret verilerine ve rakamlarına göre Türkiye'de uzun zamandan beri kronik bir şekilde dış ticaret açığının var olduğu kanıtlanmaktadır. Türkiye'yi derinlemesine etkileyen içsel ve dışsal

konjonktüre bağlı olarak gelişen olaylara istinaden Türkiye'nin ihracat, ithalat ve neticede dış ticaret hacminde artışlar ve azalışlar yıldan yıla mevcut olduğu görülmektedir. 2025 yılında, Türkiye Cumhuriyeti tarihinde, rekor ihracat rakamına yani 273 milyar $ ile en yüksek ihracat seviyesine ulaşılmıştır. 2025 yılında ithalat rakamı artışı daha hızlı (%6,2) olmuş ve dış ticaret açığı bir önceki seneye göre biraz daha fazla artış göstermiştir (~92 milyar $).

Türkiye'nin 2025 yılı ihracat kategorisi ve yapısı incelendiğinde 2025 yılında en çok ihracat gerçekleştirilen ilk üç sektör sırası ile ''Otomotiv ve yan sanayi'', ''Kimyevi maddeler ve mamulleri'' ve ''Elektrik & elektronik sanayi''dir. Bu sektörlerin Türkiye ihracatına olan katkısı sırası ile 41,5 milyar $, 31,9 milyar $ ve 17,7 milyar $'dır. Otomotiv sektörü ihracatı Türkiye'nin 2025 yılında tarihi ihracat rekoruna imza atan lokomotif sektör olmuştur. Belirtilen ilgili üç sektör tek başına toplam Türkiye ihracatının yaklaşık %33-%35'ini oluşturmaktadır. Otomotiv ve yan sanayi ürünleri sektörü Türkiye ihracatının 20 yıldır lider ve lokomotif ihracat sektörü pozisyonuna sahiptir. Bu sektörde binek araçlar, ticari araçlar ve otomotiv endüstrisi yedek parçaları başlıca ihracat kalemlerini oluşturmaktadır. Kimyevi maddeler ve mamulleri sektörü plastik, petrokimya ürünleri, boya, kozmetik vb. gibi geniş bir ürün yelpazesi içermektedir. Son yıllarda Türkiye ihracat rakamları içerisinde ilgili bu sektör payını istikrarlı bir şekilde artırmaktadır. Elektrik-elektronik sektörü yüksek katma değerli sanayi ürünlerini içermektedir.

Türkiye'de en çok ihracat yapan büyük şehirler sırası ile İstanbul, Kocaeli, Bursa, Ankara ve İzmir'dir. Ayrıca Türkiye'de toplam ihracatın yaklaşık %55-%60'ı konteyner taşımacılığı sayesinde maliyet avantajı sağlayan denizyolu ile özellikle Avrupa, Amerika ve Asya pazarlarına büyük hacimli taşımalar ile gerçekleştirilmiştir. Karayolu ile yapılan uluslararası taşımacılık ise yaklaşık olarak %30-%35 arasında bir pay almaktadır ve genellikle Avrupa Birliği ülkelerine yapılan uluslararası nakliyatta hız ve esneklik açısından daha yoğun tercih edilmektedir. Türkiye'den havayolu ile yapılan ihracatta oran yaklaşık olarak %10 civarındadır. Havayolu taşımacılığının tercih edilmesinin nedenleri olarak yüksek değerli ve zaman hassasiyeti olan ürünler gösterilmektedir. Demiryolu taşımacılığı ise Türkiye ihracatında çok küçük bir pay alarak %1-%2 oranına sahiptir. Demiryolu taşımacılığına olan ilgi son dönemde organize edilen ''Orta Koridor'' projesi ile artmaktadır fakat bu projenin Türkiye'nin ekonomik ve ticari hedeflerini sekteye uğratacağı belirtilebilir. Çünkü bu proje ile Çin menşeili ürünler daha kısa sürede ve daha az navlun tutarı ile Avrupa kıtasına taşınmakta bu durum dolayısıyla Türkiye menşeili ürünlere olan ilgi ve talebin azalacağı düşünülmektedir.

Türkiye'nin 2025 yılı ithalat yapısı incelendiğinde 2025 yılında en çok ithalat gerçekleştirilen ilk üç sektör sırası ile ''Enerji ve mineral yakıtlar'', ''Makine, mekanik ve elektronik cihazlar'' ve ''Kimya ve petro kimya endüstrisi'' etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu sektörlerin Türkiye ithalatına olan etkisi sırası ile 90-100 milyar $, 70-80 milyar $ ve 45-55 milyar $ bant aralığında bulunmaktadır. Türkiye ithalatının yaklaşık %70'i ara malı (üretim girdisi) özelliği taşımaktadır. Enerji ve ara malı ithalatı, toplam ithalatın büyük bir kısmını meydana getirmektedir. Bu yapı Türkiye'nin enerjiye bağımlı bir ülke olduğunu ve sanayide dış girdi ihtiyacının yüksek olduğu gibi yapısal özelliklerini açıkça vurgulamaktadır. Türkiye'nin ithalat işlemlerinde ülke bazındaki yoğunlaşma oldukça dikkat çekmektedir. Özellikle birkaç büyük ekonomi Türkiye'nin toplam ithalatının önemli bir kısmını karşılamaktadır. Bu ülkeler; Çin, Rusya, Almanya, ABD ve İsviçre olarak şekillenmiştir. Çin, Türkiye'nin en büyük ithalatçı partner ülkesi konumundadır. Özellikle elektronik, makine ve ara malı ithalatında baş tedarikçi sıfatında olan ülkedir. Rusya, doğalgaz ve petrol (enerji) ithalatında Türkiye açısından kritik bir ülke konumundadır. Almanya, Türkiye'ye olan makine, otomotiv ve sanayi ekipmanları ithalatında ön plana çıkmaktadır. ABD, teknoloji, havacılık ve kimyasal ürünlerde ciddi büyüklüğü olan tedarikçi pozisyonundadır. Ayrıca İsviçre, büyük oranda altın ve değerli metallerin ithalatının yapıldığı ülke konumunda bulunmaktadır. Bahsi geçen ilgili ülkeler Türkiye'nin toplam ithalatının yaklaşık %42-%43'ünü oluşturmaktadır. Bu durum göstermektedir ki Türkiye'nin ithalatı, sınırlı sayıdaki büyük ticaret ortaklarına oldukça bağımlı bir durumdadır.

T.C. Ticaret Bakanlığı, Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) ve T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan ve resmi gazetede yayımlanan Orta Vadeli Programa (OVP) (2026-2028) göre Türkiye'nin 2026 yılı sonunda ulaşmayı hedeflediği rakamlar tablo.3'te paylaşılmıştır.

Tablo.3: Türkiye'nin 2026 Sonunda Ulaşmayı Hedeflediği İhracat-İthalat Rakamları (Mal)

Yıl	Türkiye'de Hedeflenen İhracat Rakamı (Milyar $)	Türkiye'de Hedeflenen İthalat Rakamı (Milyar $)	Türkiye'de Hedeflenen Dış Ticaret Hacmi (Milyar $)
2026	282	378	660

Kaynak: T.C. Ticaret Bakanlığı, TİM ve OVP (2025)

Tablo.3'ten de görülebileceği gibi 2026 sonunda Türkiye'nin ihracat ve ithalat (mal cinsinden) hedef rakamlarının bir önceki seneye göre artış eğiliminde olacağı dikkatleri çekmektedir. İhracat faaliyetleri ile ülke hazinesine genellikle

yabancı para kazandırıldığı için ülkeler ve özellikle dış ticaret işletmeleri genellikle ihracat yapmaya daha hevesli görünmektedirler. Bu doğrultuda Türkiye'nin OVP'ye göre 2027 yılı ihracat hedefi; 294 milyar $, 2028 yılı ihracat hedefinin ise 308,5 milyar $ düzeyinde olduğu belirtilmiştir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde ihracat ithalata bağımlı bir halde olduğu için ülkede dış ticaret açığının bulunması normal karşılanmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu bu ticaret pozisyonunda yapması gereken en etkili hamle; ithal ikameci sanayi politikası izleyerek keyfi ithalat miktarlarının ve bedellerinin azaltılmasına istinaden üretime ve ihracata odaklanmasıdır. Böylelikle ancak dış ticaret açığı kapatılabilecek ve ihracat-ithalat dengesi sağlanmaya çalışılacaktır. Sadece ithal ikameci sanayi ve ticaret politikası izleyerek bu süreç tamamen düzeltilemez ayrıca ek olarak ülkede birçok alanda yapısal reformların ve düzenlemelerin yapılması da gereklilik arz etmektedir.

Türkiye'nin büyüyen, verimli ve sürdürülebilir ihracat artışı sağlayacak yapıya ulaşma hedefi doğrultusunda ve küresel rekabet ortamında önemli oyuncu olabilmesi için üretim kaynaklarını etkin biçimde kullanmalıdır. Güçlü olan ve rakipleri ile fiyat, maliyet, kalite, müşteri memnuniyeti, pazarlama, dağıtım ve tedarik zinciri gibi birçok ticari unsur açısından rekabet edebilen işletmeler bu yarışta başarılı olacaktır. Ancak rekabetin kendine özgü özelliği gereği sadece belirli dönemde ya da sektörde başarılı olmak kadar bunu belirlenen tüm sektörlerde ve uzun dönemde devam ettirebilmek daha da önemli görüntüdür.

Bir ülkede dış ticaret işlemleriyle elde edilmek istenen sonuçlar şu şekilde belirtilmektedir (Seyidoğlu, 2021);

1) Ülke hazinesine gelir kazandırmak,
2) Ülkede iktisadi kalkınmayı başarmak,
3) Ülkede cari açığı önlemek,
4) Ülkede yurt içi fiyat istikrarını korumak,
5) Ülke sanayisini dış rekabette karşı korumak,
6) Ülkedeki piyasadaki aksaklıkları önlemek,
7) Diğer ülkeler ile olan sosyal etkenlerden ve ilişkilerden faydalanmak,
8) Uluslararası ilişkileri iyileştirmek,
9) Dış ticaretin tekelcilik gücünden yararlanmak, şeklinde dış ticaretin avantajları bulunmaktadır.

Türkiye'de Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) toplam girişim sayısının %99,9'unu, istihdamın %76'sını, maaş ve ücretlerin %53'ünü, cironun %63'ünü, faktör maliyetiyle katma değerin (FMKD) %53,3'ünü ve maddi mallara ilişkin brüt yatırımın %53,7'sini oluşturmuştur (Kaya, 2015). Dolayısıyla Türkiye'de KOBİ'lerin iş dünyasındaki, ticaretteki ve ekonomideki rolü çok büyük ve önemli derecededir. Türkiye'nin sayısal verilerle belirtilen ilgili alanlarda daha iyi bir konuma gelebilmesi için ülke içerisinde yeni girişimlerin ve yenilikçi işletme sayısının artırılması önemli bir durum olarak her zaman vurgulanmaktadır.

3. Girişimci ve Girişimcilik Hakkında Bilgiler

İrlandalı Richard Cantillon modern anlamıyla ''girişimci'' teriminin ilk kullanıcısı olarak alan yazında kabul edilmiştir. Cantillon (1755) girişimcinin kritik bir ekonomik faktör olduğunu iddia eden ilk ekonomisttir fakat Cantillon'a göre girişimci tüccardan fazlası olamamış ve daha ileriye gidememiştir. Jean Baptiste Say (1803) girişimciyi, fırsatları tanıyabilen ve bunları etkili şekilde yönetebilen kişi olarak tanımlamıştır. Francis Walker (1887)'a göre girişimci, işletmenin öncüsü, lideri ve kaptanıdır. Dolayısıyla işletmenin sahip olacağı herhangi bir kazanç, onun etkinliğine ve üstün yeteneğine bağlıdır şeklinde ifade edilmiştir. Karadal (2021)'a göre girişimci, herkesin baktığı ama göremediğini gören, gelişmenin aktörüdür. Girişimciler meydana çıkarttıkları inovasyonlarla toplumda kahraman şeklinde algılanırlar. Çünkü değişim ve gelişim sürecini iyi izleyerek, fırsatları ve problemleri iyi analiz etmektedirler. Aldıkları stratejik kararlarla değişimi yönetmekte ve rekabet üstünlüğü sağlamaktadırlar. Ayrıca girişimci bir işletmeyi iyi organize etme, iyi yönetme ve risk alma şeklindeki sorumlulukları üstlenen kişiyi tanımlamaktadır. Ek olarak Temizel (2019)'e göre girişimci, girişimde bulunan, girişime başlayan ve ilk defa girişen anlamına gelmekte ayrıca temel olarak mal ya da hizmet üretmek üzere belirli üretim faktörlerini bir araya getiren kişi olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifade ile girişimci, üretim faktörlerini bir araya getirerek, mal ya da hizmet üretimi için girişimde bulunan ve aynı zamanda girişim faaliyetleri için gerekli finansman kaynaklarını temin ederek satış yapmak için hedef piyasaları bulan kişidir. Öte yandan girişimci, üretim kaynakları konusunda tahminde bulunarak işi iyi planlayan, insan kaynaklarını bir araya getirerek girdilerin işlenmesini sağlayan ve bu faaliyetlerin sonucunda elde edilen çıktıyı tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere piyasaya arz ederek kâr elde eden kişidir. Başka bir ifade ile girişimci, fırsatları arayan ve olasılıklara bağlı şekilde risk üstlenen şahıslardır. Türk Dil Kurumuna (TDK) göre ''girişimci'', üretim için bir işe girişen, kalkışan kimsedir. Ayrıca ticaret, endüstri vb. alanlarda sermaye koyarak girişimde bulunan kimse; eski dildeki terimi ile müteşebbis olarak yer almaktadır. Girişimcilerin odağı inovasyon ortaya çıkartmaktır.

Girişimcinin Temel Özellikleri

Girişimci olarak adlandırılan ve nitelendirilen kişilerde bulunan temel özellikler şu şekilde belirtilebilir;

- Girişimciler girişimcilik ruhuna sahiptir ve gerektiğinde risk almakta, tereddüt etmeden fırsatları değerlendirmektedir. Ek olarak girişimciler özgüven sahibi, motivasyonu, enerjisi yüksek, kendi kararlarına güvenen, sosyal yaşamda ve iş hayatında iletişimi kuvvetli, pozitif ve başarılı kişilerdir.
- Girişimciler değişen koşullara hızlı uyum sağlayarak uluslararası girişimcilikte bu yetkinliklerini ve özelliklerini iyi kullanmaktadırlar. Öte yandan girişimciler vizyoner kişilerdir ve sürekli olarak yeni piyasaları araştırmakta, uluslararası piyasalarda yeni iş olanaklarını aramaktadırlar.
- Girişimciler atacakları adımlarını geleceği düşünerek ve geleceğe yönelik atmaktadırlar. Ek olarak girişimci kişi pazar riskini alarak piyasaya yeni mal ya da hizmet sunmaktadır.
- Girişimci meydana gelebilecek olan başarısızlıkları kabul etmesini bilen ve bu süreçten ders çıkaran kişilerdir. Ayrıca girişimci yeni ürün, yeni üretim metodu, yeni pazar, yeni bir tedarik kaynağı ve yeni bir organizasyon modeli ya da sektör geliştiren kişidir.

Ekonomi literatüründe temel üretim faktörleri olarak ele alınan doğal kaynak, sermaye ve emek unsurlarını birleştirerek katma değer oluşturan birimleri meydana getiren dördüncü faktörün girişimci olduğu genel kabul görmüştür. Artış gösteren küresel rekabet ortamında başarılı olabilmenin en etkili ve en önemli unsuru yenilik yaratabilecek girişimcilikte görülmektedir (Karadal, 2021). Girişimciler, istihdamı artırarak ulusal geliri geliştirmenin yanı sıra yenilik ile pazar arasında bir köprü işlevi meydana getiren kişilerdir. Ayrıca girişimciler yeni teknolojiler, ürünler, süreçler, hizmetler geliştirerek yeni endüstrilerin doğmasına öncülük eden toplumdaki değişim ajanları olarak zenginlik, değer ve istihdam yaratmaktadırlar. Bu durum ise ülkedeki sosyal ve ekonomik gelişmeye yol açmaktadır.

İktisat alan yazınında girişimci ve girişimcilik kavramları 1900'lü yılların başlarında ünlü Avusturyalı ekonomist ve düşünür Joseph Schumpeter tarafından oldukça detaylı çalışılmıştır. Schumpeter (1934)'e göre ekonomik yaşamın önemli faktörü olan girişimci, bugün inovasyon terimiyle ifade edilen yenilikleri gerçekleştiren, ekonomilerde canlılığı, büyümeyi ve istihdam yaratmayı sağlayan ayrıca sosyal ekonomik yapı içerisinde temel rol oynayan inovatörlerdir. Schumpeter'a göre girişimcinin birinci vazifesi yeni kombinasyonlar geliştirmektir. Yeni ürünler ortaya çıkartmak ya da var olan ürünleri yeni şekillerde müşteriye sunmak (yeni bir iş modeli) olarak özetlenebilir (Demir, 2024). Krizner

(1973)'e göre girişimci yeni bir ürün geliştirmek yerine geliştirilen ürünlerin arz-talep dengesizliği sonucu oluşan fiyat değişimleri üzerinden fırsatları yakalayan kişilerdir.

Jeffry Timmons (2009) girişimciliği, olmayanı üretme ve inşa etme yeteneği olarak tanımlamıştır. Ayrıca girişimciliğin kapsamının küresel, ekonomik, sosyal ve politik değişikliklerle şekillendiğini ifade etmiştir. Günün rekabetçi koşullarında girişimcilik, tüm dünya ülkelerinin geliştirmeye çalıştığı, çeşitli teşvik edici ve destekleyici programlarla girişimci sayısını artırmaya özen gösterdiği, hemen hemen her tür girişimcilik modelini geliştirmek için devlet kurumlarının ve özel sektör işletmelerinin maddi-manevi fedakârlıklardan kaçınmadığı bir görüntüye sahiptir.

TDK'ya göre ''girişimcilik'', girişimci olma durumunu ve faaliyetlerini ifade etmektedir. Ayrıca Karadal (2021)'a göre girişimcilik, fırsatları görerek yeni iş fikriyle risk alan ve kaynakları organize eden her bireyi ilgilendiren kapsamlı etkinlik olarak tanımlanmıştır. Girişimcilik ülkenin ihracatını destekler ve ülkenin döviz kazandırıcı faaliyetlerini içermektedir. Ek olarak dış ticareti destekleyerek ekonomik güveni inşa etmeye yaramaktadır. Girişimciler, pazara çeşitli ve farklı ürünler arz etmektedirler. Bu durum piyasadaki rekabeti artırarak insanların daha düşük ve daha rekabetçi fiyatlarla daha kaliteli ürünlerden yararlanmasını mümkün kılarak, ülkenin genel yaşam standardında ve refah seviyesinde iyileşme meydana getirmekte öte yandan etkili şekilde kaynak üretimini teşvik ederek ekonomik istikrara katkıda bulunmaktadır.

Girişimciler ülkedeki işsizlik probleminin düşürülmesinde de etkin rol oynamaktadır. Yalnızca kendilerine iş sağlamakla kalmaz aynı zamanda başkalarına da istihdam yaratmaktadır. Girişimcilik faaliyetleri ekonomide çarpan etkisi yaratarak birçok faaliyete ve yeni iş kollarının yaratılmasına yol açmaktadır. Girişimciler az gelişmiş bölgelerdeki işletmeleri geliştirerek ülke çapında dengeli bir bölgesel kalkınmaya katkı sağlamaktadır. Ek olarak girişimcilik, milli servetin ve gelirin toplumun daha çok kesimine, daha fazla kişiye ve daha geniş coğrafi alanlara yayılmasını teşvik eder ve böylece toplumun daha geniş kesimlerine yarar sağlamaktadır.

Bir ülke ekonomisinin geliştirilebilmesi ve bu süreç neticesinde ülke vatandaşlarının refah seviyesinin artırılabilmesi, ülkenin kalkındırılabilmesi için ilgili ülkede yeniliklerin, inovatif faaliyetlerin ve girişimcilik hareketlerinin gerçekleştiriliyor olması önemli süreçtir. Girişimcilik organizasyonu sayıca fazla ve nitelikli olan toplumların ve ülkelerin diğer ülkelere göre daha gelişmiş ve daha modern olduğu söylenmektedir. Dolayısıyla bir ülkede girişimcilik

organizasyonlarının ve faaliyetlerinin arttırılması önemsenmesi gereken uzun soluklu politikayı ve ekonomik süreci içermektedir.

Girişimcilik 18. yüzyıldan beri var olan ve önemsenen bir kavram olmuştur. Girişimcilik konusu yalnızca işletme ve ekonomi alan yazınında değil ayrıca siyaset bilimi, uluslararası ilişkiler gibi sosyal bilimlerin kapsamına giren alanlarda da yer bulmaktadır. İktisatçılar girişimciliği kar elde etme ihtimalinin yüksek olduğu durumlarda, riskli kararlar alma ve bu kararları hayata geçirme süreci olarak ifade etmektedir. Başka akademisyenler ise girişimciliği tanımlarken yeniliğe vurgu yapmakta ve girişimcilik olgusunu yenilik oluşturup tüketiciye veya piyasaya yenilikleri taşımayı öne çıkartmaktadır. Girişimcilik sermaye ve servetini işe koymaktan çok, bilgisini, tecrübesini, yaşam tarzını, sorumluluğunu, yaşam felsefesini, tutarlılığını ortaya koymak şeklinde de ifade edilmektedir. Demir (2024)'e göre girişimci, tüm süreçleri inovatif şekilde tasarlayabilen, yönetebilen ve inovasyon yapabilen kişilerdir.

Girişimcilik sadece bireysel motivasyonla ortaya çıkan başarı hikâyesi olarak görülmemelidir. Girişimcilik pozitif toplumsal sonuçlar dolayısıyla her kesim tarafından ilgi görmekte ve ilgi gösterilmektedir. Ayrıca girişimcilik ile birlikte toplumsal yapıda da gelişme sağlandığı için dünyada bütün ülkeler girişimciliği destekleyici politikalar uygulamaktadır. Ek olarak girişimciliğin ekonomik büyüme ve istihdamı artırma potansiyeli de bulunmaktadır. Özellikle ABD, Avrupa'daki birçok ülke ve Japonya gibi gelişmiş ekonomilerde girişimcilik yeni istihdam yaratma ve gelir artışı sağlama, fakirlikle mücadele ve istikrarlı ekonomik büyüme gibi konularda girişimciliği öncelikli strateji olarak görmektedirler.

Girişimciliğin başarısı ve süreci kültürden kültüre, toplumdan topluma göre farklılık göstermektedir. Bireysel girişimlerin ve başarıların takdir edildiği kültürlerde girişimcilik faaliyetleri başarılı ve olumlu sonuçlar üretmektedir. Buna karşın hiyerarşik yapı ve sistemin çok katı olduğu kültürlerde girişimcilik faaliyetlerinden etkili sonuçlar alınamamaktadır. Bu doğrultuda girişimcilik çok değişkenli ve karmaşık bir olgudur. Girişim faaliyetlerinin başarısı girişimcinin bireysel, teknik ve yönetsel becerilerine, yetkinliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Girişimcilik kavramının sadece ticari faaliyetlerle ilgili olduğu şeklinde yanlış bir algı bulunmaktadır. Girişimcilik kavramının birçok alt başlığı ve türü bulunmaktadır. Bunlar; bağımsız-orijinal-yenilikçi-yaratıcı girişimcilik, çevreci girişimcilik, internet girişimciliği (e-girişimcilik), fırsat girişimciliği, girişimci girişimciliği, kamu-özel sektör girişimciliği, iç girişimcilik, eko girişimcilik, sosyal girişimcilik, kurumsal girişimcilik, profesyonel girişimcilik

(yönetici girişimciliği), kadın girişimciliği, sanat girişimciliği, kırsal girişimcilik, mülteci/göçmen girişimciliği, küresel girişimcilik, stratejik girişimcilik, teknik girişimcilik ve tepkisel (takipçi) girişimciliktir. Türkiye her türden girişimciye ihtiyaç duyan bir yapıya sahiptir. Türk girişimciler global normların üzerinde yeni fikirler, yeni ürünler ve yeni yöntemler geliştirmelidir ki Türkiye potansiyel konumuna bir an önce ulaşabilsin.

4. Girişimcilik Konusunda Seçilmiş Örnekler

Girişimcilik konusunda hazırlanan çalışmanın dördüncü bölümünde girişimcilik sürecinin örneklerle pekiştirilmesi ve daha anlamlı şekilde anlatılabilmesi adına Youtube.com internet sitesi platformunda yer alan StoryBox video sayfası tarafından organize edilmiş, yayınlanmış ve en çok izlenen beş kısa filmin detaylı şekilde yorumlanması gerçekleştirilmiştir. İlgili kısa filmlerdeki ilgili girişimciler girişimcilik konusunda pek çok bilgi, hayat ve iş tecrübesi, deneyim, öneri ve tavsiye vermektedir. Bu kapsamda ilgili girişimciler tarafından paylaşılan önemli söylemler, görüşler ve demeçler bu kısımda detayları ile birlikte ele alınmıştır.

I) Yemeksepeti.com - Nevzat Aydın'ın Girişimcilik Konusundaki Görüşleri

Youtube.com - Storybox video sayfasında yer alan Sayın Nevzat Aydın'ın Yemeksepeti.com hakkında vermiş olduğu girişimcilik röportajı 3 Haziran 2026 tarihine kadar (2 yıllık süre zarfında) 788 bin video oynatma görüntülemesi almıştır. Bu videonun içeriğinde ve kapsamında Nevzat Aydın girişimcilik konusunda aşağıdaki görüşleri paylaşmıştır. Ayrıca videoda Türkiye'nin en başarılı internet girişimlerinden birisi olan Yemeksepeti.com'un kurucusu Nevzat Aydın'ın girişimcilik serüvenini, başarısının ardındaki felsefeyi ve hayatına dair önemli dönüm noktaları ele alınmakta ve paylaşılmaktadır. Nevzat Aydın'ın girişimcilik konusundaki görüşleri;

- ''Gerçekçiyim ama hayal kurmanın keyfini bilirim. Ayrıca elimizden geldiği kadar iş hayatında doğruların yapılması gerekmektedir''. ''Girişimci olmak için en iyi zaman şimdiki zamandır.''
- ''Yeni dünya da yeni yapılacak çok fazla şey var ve doğru yerlerde doğru kararlar verilmelidir. Ayrıca yeni teknolojiler yeni projelere öncülük etmektedir.''
- ''Yapacağın işte ortakları ikna etmek gerekmektedir. Çünkü işler dönemsel olarak kötü gidebilir ve bu durum ortaklarda moral bozulmasına sebebiyet verebilir.''
- ''Yaptığın işte bir şekilde, makul bir süre zarfında istenilen ürünleri müşteriye teslim etmelisiniz. Bu kapsamda müşteriye garanti vermelisiniz.''

- ‘’Kurum kültürüne uygun, kurum kültürünü ileriye taşıyabilecek olan doğru ekiple, doğru iş modeliyle işe devam edilmelidir. Kurum kültürü için şeffaflık, takım çalışması, iletişim ve dinamizm önemli faktörlerdir.’’
- ‘’Düzgün bir şey yapılırsa başarılı olunacak ve para mutlaka kazanılacaktır, böylelikle para kendisi gelecektir.’’
- ‘’Yatırımcının asıl düşündüğü şey; kendi yatırdığı parayı korumaktır ama şirket kurucusunun amacı ise işletmeyi en başarılı halde idare ediyor olmaktır. Girişimcinin odaklanması gereken şey; işletmeyi mümkün olduğunca iyi bir şekilde idare etmek, yönetmek ve büyütmektir.’’ ‘’Girişimci işini severek yapmalı ve sorumluluk almalıdır.’’ ‘’İş hayatında başarısız da olunabilir ama bu durum insana tecrübe sağlar, deneyim kazandırır.’’

II) Kiğılı Giyim - Abdullah Kiğılı’nın Girişimcilik Konusundaki Görüşleri

Youtube.com - Storybox video sayfasında yer alan Sayın Abdullah Kiğılı’nın Kiğılı Giyim işletmesi hakkında vermiş olduğu girişimcilik röportajı 3 Haziran 2026 tarihine kadar (4 yıllık süre zarfında) 4,7 milyon video oynatma görüntülemesi almıştır. Bu video içeriğinde ve kapsamında Abdullah Kiğılı girişimcilik konusunda aşağıdaki görüşleri paylaşmıştır. Ayrıca bu videoda Abdullah Kiğılı’nın İstanbul Kapalıçarşı'da çıraklıkla başlayan yolculuğu ve hazır giyim sektöründe bir dev haline gelmesi anlatılıyor. Ek olarak iş hayatında yaşadığı zorluklar, kriz yönetimi ve markalaşma sürecindeki tecrübeleri paylaşılmaktadır. Abdullah Kiğılı’nın girişimcilik konusundaki görüşleri;

- ‘’Hayatta hep bildiğin işi yapmalısın ve kazandığın parayı hep bu işe yatırmalısın. Ayrıca anlamadığın işlere girmemelisin.’’ ‘’İş hayatında hırslı olacaksın, işi öğrenmek mecburiyetinde olmalısın.’’ ‘’Asla havaya girmeyeceksin, yalnızca ben dememelisin yoksa yalnız kalırsın.’’
- ‘’İşi ustasından öğreneceksin ve işini takip edeceksin. Ek olarak moralli olmalısın, güçlü görünmelisin ve bugünün işini yarına bırakmamalısın.’’
- ‘’Dünya değişiyor, değişime ayak uyduramazsan hem markan hem kendin hem de işletmen elden gidecektir.’’ ‘’İşinden mutlu olursan haz alırsın ve bu durum hayatına da yansıyacaktır.’’
- ‘’Mutlu olmak için doğru işi yapmalı ve çalışmalısın. Ayrıca neyi becerebiliyorsan o işi yapmalısın.’’
- ‘’Yeni ürünlerle ürün portföyü geliştirilmelidir ve işi kurarken, işi büyütürken öz sermaye gerekmektedir. Öz sermayen az ise iş hayatında kredibiliten de az olmaktadır. Ayrıca ticaret yapabilmen için saygınlığın

ve güvenilirliğin olmalıdır.'' ''İşi öğrenince işletme büyümeye, gelişmeye başlamaktadır.'' ''İhracat ile işleri artırır ve işletmedeki imalat miktarını yükseltirsin.''

- ''Rakip işletmelere dahi doğru bilgiler ile yardım edilmeli sadece ben denilmemelidir.''

III) Paket Taxi - Raşit Emir Süer'in Girişimcilik Konusundaki Görüşleri

Youtube.com - Storybox video sayfasında yer alan Sayın Raşit Emir Süer'in Paket Lojistik ve Teknoloji A.Ş. (Paket Taxi) işletmesi hakkında vermiş olduğu girişimcilik röportajı 3 Haziran 2026 tarihine kadar (4 yıllık süre zarfında) 5,9 milyon video oynatma görüntülemesi almıştır. Bu video içeriğinde ve kapsamında Raşit Emir Süer girişimcilik konusunda aşağıdaki görüşleri paylaşmıştır. Ayrıca bu videoda girişimci Raşit Emir Süer'in 2011'de iflas edip cebinde sadece 140 TL kalmasına rağmen pes etmeyerek yeniden ayağa kalkmasını ve 2016'da kurduğu Paket Taxi ile büyük bir başarı hikâyesi yazmasını anlatılmaktadır. Zorlukları fırsata çeviren Süer, pandemi döneminde büyüyen kurye sektöründeki ihtiyacı görerek şirketini binlerce kişiye istihdam sağlayan bir yapıya dönüştürmüş ve işletmesini günden güne geliştirmektedir. Raşit Emir Süer'in girişimcilik konusundaki görüşleri;

- ''İmkânsızlıkların içinde başarılı olabiliyorsan girişimci olmaktasın.''
- ''Dış görünüş ilk etapta önemlidir. İnsanlar ile olan sosyal ilişkiler de çok önem arz etmektedir.''
- ''Ticaret ile uğraşan kişiler genellikle başarılı olmaktadırlar.''
- ''Birileri iz bırakmayı sever, birileri de izi takip etmeyi sevmektedir.''
- ''Hızlı olmak ticarette ve girişimcilikte çok önemlidir. Ayrıca çalışanların işletmeye olan aidiyet bağının kurulmasının gerekliliğine inanmaktadır.''
- ''Yaptığın işin detaylarını bileceksin, uzmanlaşacaksın, hatayı en az yapacaksın. Ek olarak satış işinde ikna kabiliyetinin olması gerekmektedir.''
- ''İnsanları tanımaya hevesli olunmalıdır ve insanlara önyargıyla yaklaşılmamalıdır.''

IV) Saran Holding - Sadettin Saran'ın Girişimcilik Konusundaki Görüşleri

Youtube.com - Storybox video sayfasında yer alan Sayın Sadettin Saran'ın Saran Holding işletmesi hakkında vermiş olduğu girişimcilik röportajı 3 Haziran 2026 tarihine kadar (4 yıllık süre zarfında) 3,4 milyon video oynatma görüntülemesi almıştır. Bu video içeriğinde ve kapsamında Sadettin Saran girişimcilik konusunda aşağıdaki görüşleri paylaşmıştır. Ayrıca Saran, Amerika'daki eğitim yıllarının ardından kısıtlı imkânlarla çıktığı girişimcilik yolculuğunda

nasıl ve ne şekilde medya, spor ve havacılık gibi çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren Saran Holding'i kurduğunu ve bu süreçteki liderlik felsefesini, kişisel ve profesyonel kariyerine dair önemli dönüm noktaları anlatmaktadır. Sadettin Saran'ın girişimcilik konusundaki görüşleri;

- ''Her şey bir hayal ile başlar. Hayal kurmak gelecek için önemlidir.'' ''Hiç kaybetmedim, ya kazandım ya da öğrendim.'' ''İyi bir patron, kendini gereksiz kılan kişidir.''
- ''Kendi işini yapabilmek için öz sermayeye veya çok iyi bir fikre gerek vardır.''
- ''Yurtdışındaki trendler fark edilmeli ve bunlar Türkiye'ye getirilmelidir.''
- ''Fırsatlar bulunmaktadır. Doğru olmak, şeffaf olmak ve güvenmek önemlidir.''

V) Şahin Metal - Adnan Şahin'in Girişimcilik Konusundaki Görüşleri

Youtube.com - Storybox video sayfasında yer alan Sayın Adnan Şahin'in Şahin Metal İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. işletmesi hakkında vermiş olduğu girişimcilik röportajı 3 Haziran 2026 tarihine kadar (5 yıllık süre zarfında) 3,1 milyon video oynatma görüntülemesi almıştır. Bu video içeriğinde ve kapsamında Adnan Şahin girişimcilik konusunda aşağıdaki görüşleri paylaşmıştır. Ayrıca bu video babasının ayakkabı tamiri dükkanında kazandığı birikimlerle evini satarak işe başlayan Adnan Şahin'in küçük bir atölyeden otomotiv devlerine parça üreten global bir fabrikaya uzanan ilham verici başarı hikayesini ele almaktadır. Şahin hayal etmenin, hedefler koymanın ve azimle çalışmanın günümüzde dünya markalarına parça tedarik eden bir başarıya nasıl dönüştüğünü kendi hayat tecrübesiyle aktarmaktadır. Adnan Şahin'in girişimcilik konusundaki görüşleri;

- ''Hayal etmek, hedefe varmak için çok çalışmak gerekmektedir.''
- ''Sizlere hangi iş fayda sağlıyorsa, hangi iş para kazandırıyorsa o işi yapmalı ve başka başka işler ile uğraşıp zaman kaybetmemek lazımdır.'' ''Her gün her sektörde yeni yeni gelişmeler meydana gelmektedir.'' ''Girişimcilikte risk alınmalı ve özgüvenli olmak önemli bir durumdur.''
- ''Herkesin yaptığından daha iyisi yapılmalıdır.'' ''İş hayatında sürekli kazanamazsın.''

- ‘’Bir işi kurmak zor, devam ettirmek daha zordur.’’ ‘’İşletmede talimatlar iyi verilmeli ve takip edilmelidir.’’ ‘’Disiplinli bir şekilde işletmede işlere devam edilmelidir.’’
- ‘’Sektör deneyiminin önemi iş hayatında çok fazladır.’’ ‘’Krizleri fırsata çevirmeliyiz.’’
- ‘’Eğer ki yaptığınız işi önemseyerek, değer vererek ve kaliteli şekilde yaparsanız müşteri sizi tercih edecektir ve sizi şekillendirecektir.’’
- ‘’Özgüvenli olunmalı, kendinizi iyi eğitmeli ve böylece donanımlı ve yetkin olunmalıdır.’’

5. Sonuç, Bulgular ve Öneriler

Türkiye ekonomisi Türkiye’de cumhuriyetin ilan edildiği tarihten (29 Ekim 1923) itibaren hem içsel hem de dışsal faktörlere ve olaylara bağlı olarak her zaman inişli ve çıkışlı bir iktisadi görünüm sergilemiştir. Ekonomik olarak artan ve azalan görünüm benzer şekilde Türkiye’nin dış ticaret rakamlarına da yansımakta ve dış ticaret verilerinde yaklaşık olarak aynı durumsal görüntü dikkatleri çekmektedir. Hem ulusal hem de uluslararası anlamda ve bağlamda girişimcilik faaliyetleri ülke ekonomisinin üretim ve ihracat kanallarıyla gelişmesindeki en önemli faktörlerdendir. Bireysel ve toplumsal açıdan refahın artmasını sağlayan girişimcilik faaliyetleri ülkede yeni iş alanlarının açılmasına ve yeni istihdam kanallarının sağlanmasına bağlı olarak ekonominin gelişmesine ve döviz getirisine imkân yaratmaktadır. Ülkelerin ekonomik kalkınmaları ve vatandaşların refah seviyelerinin artırılması için girişimciler ve girişimcilerin organize ettiği girişimler bu doğrultuda kilit rol oynamaktadır.

Dünyadaki hızlı küreselleşme faaliyetleri dolayısıyla girişimcilerin stratejik olarak çabuk büyümeye ve pazarda etki yaratacak inovasyonlara odaklı olmaları gerekmektedir. Çünkü girişimci inovasyonu ticarileştirebilen kişidir. Bu doğrultuda diğer bir ifadeyle ticaretle özellikle de ihracat vasıtasıyla ülkeler döviz kazancı elde etmektedirler. Belirtilen ekonomik kazançların ve entelektüel faaliyetlerin sürdürülebilir şekilde artarak devam ettirilebilmesi için ilgili ülkede girişimci sayısının artış göstermesi ve yeni girişimlerinde niceliksel-niteliksel olarak iyi organize edilmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

Girişimcilik ile ilgili teorik enformasyon, süreçler, özellikler ve yapısal sistem hakkındaki bilgiler sosyal bilimler literatüründe fazlasıyla yer bulmaktadır. Fakat literatürde girişimcilik ile ilgili pratik çalışmalar, örnek olaylar, vaka analizleri, uygulamalar gibi çalışmaların yeterli seviyede olmadığı yapılan araştırmalar sonucunda dikkat çeken bir bulgudur. Bu çalışma ile girişimcilik konusunda pratik uygulamaların artırılması amaçlanmış olup ve bu doğrultuda

Youtube.com internet sitesinde bulunan Storybox video platformunda yüksek miktarlı görüntüleme alan girişimcilerin girişimcilik serüvenleri detayları ile ele alınarak girişimcilik konusundaki söylemlerine ve görüşlerine değinilmiştir. İlgili girişimcilik videolarının detaylı şekilde ele alınıp incelenmesi ve araştırılması sonucunda girişimcilik konusundaki genel görüşlerin; girişimcinin risk alan kişiler olduğu, piyasadaki fırsatları diğer kişilerden farklı şekillerde görebildiği ve bu fırsatları hızlı olarak değerlendirebildiği, yaptıkları işlerde özgüvenli ve cesaretli şekilde hareket ettikleri ve yönetimsel olarak organizasyon yeteneğinin güçlü olduğu çıkarımları yapılmaktadır. Dolayısı ile belirtilen yetkinliklere ve özelliklere sahip olan kişilerin potansiyel olarak birer girişimci oldukları öngörülmektedir. Süreç içerisinde girişimci olan ve olacak potansiyel kişiler bu özelliklerini geliştirmelerinin gereklilik arz ettiği düşünülmektedir.

Girişimcilik, dış ticaret ve ekonomi ilişkisi konusunda veya bireysel konu başlıkları halinde gelecek süreçlerde araştırma ve çalışma yapmak isteyen araştırmacılara aşağıdaki araştırma ve çalışma konuları öneri olarak sunulmaktadır.

- Farklı girişimci ve girişimcilik yöntemlerinin ve türlerinin bulunmasına istinaden ilerleyen dönemlerde yapılabilecek olan bilimsel çalışmalarda bu girişimci ve girişimcilik çeşitleri daha detaylı olarak ve örnekler ile pekiştirilecek şekilde araştırılabilir.
- Youtube.com internet sitesinde yer alan Storybox video kanalı platformunda bulunan diğer girişimcilik örnekleri farklı bilimsel çalışmalarda detayları ile araştırılabilir.
- Girişimcilik, dış ticaret ve ekonomi konuları daha detaylı olarak farklı bilimsel çalışmalarda farklı alt başlıklar dâhilinde araştırılabilir. Ayrıca daha farklı bilim dalları da eklenerek konular genişletilebilir ve geliştirilebilir.
- Yurtdışında yayımlanan girişimcilik ile ilgili video kayıtları benzer bir çalışma kapsamında araştırma konusu yapılabilir.

Kaynakça

Cantillon, R. (1755). Genel Olarak Ticaretin Doğası Üzerine Deneme. Yeni elektronik kütüphane: https://mises.org/library/essay-economic-theory-0

Demir, F. (2024). İnovasyonun şifreleri. Dikeyeksen Yayıncılık.

Kaya, F. (2015). *Dış ticaret işlemleri yönetimi: Yeni mevzuat ve belgeler* (5. baskı). Beta Basım Yayım Dağıtım.

Karadal, H. (2021). *Girişimcilik & Güncel Konular & Girişimcilik Destekleri & İş Planı – İş Modeli* (5. Baskı). İstanbul: Beta Yayınları.

Kirzner, I. M. (1973). Rekabet ve girişimcilik. Chicago Üniversitesi Yayınları.

Say, J. B. (1803). A Treatise on Political Economy. Paris: Deterville.

Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press.

Seyidoğlu, H. (2021). Uluslararası iktisat: Teori, politika ve uygulama (21. baskı). Güzem Can Yayınları.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazetesi (2025), Orta Vadeli Program (2026-2028). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/09/20250907M1-1.pdf

Temizel, F. (2019). Dış Ticarette Girişimcilik (Editör: Doç. Dr. Fatih Temizel). T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3926, Açık Öğretim Fakültesi Yayını No: 2721, 1.Baskı. 2509-0-0-0-1909-V01. Eskişehir.

Timmons, J. (2009). *New Venture Creation: Entrepreneurship for the 21st Century*. McGraw-Hill.

Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2026). ‘’Girişimci’’. https://sozluk.gov.tr/

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2026). Haber Bülteni, Sayı: 58234, https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58234

Youtube.com / Storybox - Nevzat Aydın / Para Kazanmak İçin Hiçbir Şey Yapmadım - Nevzat Aydın’ın Hikâyesi (Yemek Sepeti Elektronik İletişim Perakende Gıda A.Ş.) https://www.youtube.com/watch?v=UORoDhci15Q

Youtube.com / Storybox – Abdullah Kiğılı / İlk Mağazayı Ailesinden Gizli Açtı - Abdullah Kiğılı’nın 55 Yıllık İş Hayatı (Kiğılı Giyim Ticaret A.Ş.) https://www.youtube.com/watch?v=bJ55o3i7azk

Youtube.com / Storybox – Raşit Emir Süer / Cebimde 140 Lira Para Vardı - Şimdi Yanında 6 Bin Kişi Çalışıyor (Paket Lojistik ve Teknoloji A.Ş.) https://www.youtube.com/watch?v=XQvVq8tZ4Wc&t=51s

Youtube.com / Storybox – Sadettin Saran / Saran Holding Nasıl Kuruldu? - Sadettin Saran Mücadele Dolu Hayat Hikayesini Anlattı (Saran Holding) https://www.youtube.com/watch?v=jBZ9PUhZ2tk&t=15s

Youtube.com / Storybox – Adnan Şahin / Evini Sattı, Fabrika Kurdu! - Mercedes ve Porsche'un Parçalarını Üretiyor (Şahin Metal İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş.) https://www.youtube.com/watch?v=hfln0yF9138&t=8s

Walker, F. A. (1887). *The Source of Business Profits*. *The Quarterly Journal of Economics*, 1(3), 265–288.

İkinci Dünya Savaşı'nda Almanya ve Fransa'nın Türkiye'deki İstihbarat Faaliyetleri

Hakan GÜNGÖR[1]

[1] hakangungor490@gmail.com; Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Tarih Bölümü, Ordu / Türkiye.

Özet

Bu çalışma, İkinci Dünya Savaşı yıllarında Almanya ve Fransa'nın Türkiye'deki istihbarat faaliyetlerini karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Türkiye'nin izlediği tarafsızlık politikası ve stratejik konumu, ülkeyi hem Mihver hem de Müttefik devletlerin istihbarat çalışmaları için önemli bir odak noktası hâline getirmiştir. Almanya'nın askerî istihbarat servisi Abwehr'in İstanbul'daki yoğun faaliyetleri, Elyesa Bazna'nın "Cicero" kod adıyla yürüttüğü casusluk olayı ve Sovyetler Birliği'ndeki Pan-Türkist hareketlerden yararlanma çabaları çalışma kapsamında ele alınmaktadır. Buna karşılık Fransa, 1940'ta kurulan Vichy hükümetinin yarattığı iç bölünme nedeniyle benzer bir istihbarat etkinliği gösterememiştir. Nitel literatür incelemesine dayanan çalışma, Türkiye'nin istihbarat diplomasisini ustaca kullanarak tarafsızlığını ve toprak bütünlüğünü koruduğunu, Almanya'nın yoğun çabalarına rağmen ülkeyi savaşa çekemediğini, Fransa'nın ise iç siyasi krizler nedeniyle bu alanda etkisiz kaldığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Almanya, Fransa, İkinci Dünya Savaşı, İstihbarat.

Intelligence Activities of Germany and France in Turkey during the Second World War

Abstract

This study offers a comparative analysis of the intelligence activities conducted by Germany and France in Turkey during the Second World War. Turkey's neutrality policy and strategic position made the country a major focus for both Axis and Allied intelligence operations. The study examines the extensive activities of Germany's military intelligence service, the Abwehr, in Istanbul, the espionage carried out by Elyesa Bazna under the code name "Cicero," and German attempts to exploit Pan-Turkist movements in the Soviet Union. France, by contrast, could not sustain a comparable level of intelligence activity due to the internal division created by the Vichy government established in 1940. Based on a qualitative literature review, the study shows that Turkey preserved its neutrality and territorial integrity through skillful intelligence diplomacy, that Germany failed to draw the country into the war despite its intensive efforts, and that France remained largely ineffective in this field due to its internal political crises.

Keywords: *Germany, France, World War II, Intelligence.*

GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sırasında Türkiye, Avrupa ve Asya arasında bir köprü konumunda olması nedeniyle, Almanya ve diğer müttefik ve mihver devletlerinin istihbarat faaliyetleri için bir odak noktası olmuştur. Bu dönemde Türkiye tarafsız kalma yollarını aramış ve tarafsız kalmayı başarmıştır. Ancak, Türkiye tarafsız kalsa da gerek Nazi Almanya'sı ve gerekse İngiltere ile Sovyetler Birliği Türkiye'deki istihbarat çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Almanya hem Türkiye'yi kendi tarafına çekmek istemiş, hem de Türkiye'nin Sovyetlerdeki Pan-Türkist hareketlere destek vermesi için çaba yürütmüştür. Fransa ise, o dönemde etkin bir istihbarat toplama çalışmasına girememiştir. Bunun üç önemli sebebi bulunmaktadır. Birincisi, Fransa'nın istihbarat işini daha çok askerlerin görevi olarak kabul etmesidir. İkincisi, Fransa'da 1940 yılında Nazi yanlısı Vichy hükümeti kurulmuş, eski hükümetin taraftarları da faaliyetlerini sürdürmüştür. Bu durum Fransa'nın istihbarat kabiliyetini oldukça zayıflatmıştır.

Bu çalışmanın amacı, İkinci Dünya Savaşı yıllarında Türkiye'de faaliyet gösteren Alman ve Fransız istihbarat teşkilatlarının yöntem, kapsam ve etkinliklerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Alan yazında Almanya'nın Türkiye üzerindeki istihbarat faaliyetleri farklı çalışmalarda ele alınmış olsa da, Almanya ve Fransa'nın aynı dönemdeki faaliyetlerini karşılaştıran bütüncül bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bakımdan çalışmanın, dönemin istihbarat diplomasisi literatürüne özgün bir katkı sunması beklenmektedir.

YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden belge incelemesi/literatür taraması tekniğine dayanmaktadır. Veri toplama sürecinde, konuyla ilgili birincil kaynaklar (tanık anıları, resmî yazışmalar) ile ikincil kaynaklar (akademik makaleler, kitap bölümleri ve süreli yayınlar) taranmış; Almanya ve Fransa'nın İkinci Dünya Savaşı döneminde Türkiye'deki istihbarat faaliyetlerine ilişkin bulgular sistematik biçimde derlenmiştir.

Elde edilen veriler, Almanya ve Fransa'nın istihbarat faaliyetlerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye imkân verecek şekilde tematik olarak (aktörler, yöntemler, hedefler ve sonuçlar) sınıflandırılmış ve betimsel içerik analizi ile yorumlanmıştır.

1-Almanların İstihbarat Faaliyetleri

Alman askeri istihbarat servisi Abwehr, İstanbul'da geniş çaplı faaliyetler yürütmüş ve kentin denizcilik ve diplomatik trafik merkezi rolünden faydalanmıştır. Abwehr, İngilizlerin ticari girişimlerini, özellikle Goeland Taşımacılık Şirketi'ni, İngilizlerin ve diğer müttefik ülkelerin faaliyetleri hakkında bilgi toplamak için izlemeye almıştır. Almanlar Goeland şirketine, şirketin sekreteri Madam Dumont aracılığı ile sızmışlardır. Madam Dumont, elde ettiği bilgileri Almanlara ulaştırmıştır. Öte yandan İngilizler de Almanlar aleyhine istihbarat çalışmaları yapmışlardır. Ele geçen istihbarat bilgilerinde Almanlar'ın Türkiye'yi işgal planları da yer almaktadır. Bu yüzdendir ki, İngilizler, Almanların Türkiye'yi işgal edecekleri iddiası ile bazı elçilik görevlilerinin dahi bilmedikleri operasyon birliklerini İstanbul'a getirmiş, Madam Dumont da bu bilgileri Almanlara ulaştırmıştır (Seydi, 2004, s. 75-85).

Alman istihbaratının Türkiye'yi işgal çalışmaları ile ilgili olarak yaptığı çalışmaları, yazar Rıfat N. Bali, Nazi toplama kamplarında yaşayan Türk asıllı gazeteci Nerin Emrullah Gün'ün anılarından alıntı yaparak anlatmıştır. Toplumsal Tarih dergisinde yayımlanan makaleye göre Almanlar, iş adamı, mühendis ve diplomat görüntüsünde Türkiye'ye gelerek kendilerine uygun bir hükümet kurmayı planlamıştır. Hükümete uymayanların nerelerde tutulacaklarına kadar detay içeren planın bir istihbarat çalışması olduğu açıktır. Örneğin zamanın Anadolu Ajansı Genel Müdürü'nün araba sevdiği, bu yüzden de garajda tutuklanacağı gibi detaylar derin bir istihbarat faaliyetine işaret etmektedir. Almanlar bunun için A, B ve C listeleri oluşturmuşlar; A listesinde Başbakan ve bakanlar ile Genel Kurmay Başkanı yer alırken, B listesinde Almanya hakkında görüşleri tam belirginleşmemiş erkânın isimleri yer almıştır. C listesinde ise Almanya için çalışanların adı yazılmıştır (Bali, 2015, s. 50-56).

2-Cicero Casusluk Olayı

Türkiye'deki en dikkat çekici istihbarat faaliyetlerinden birisi, "Cicero" kod adıyla bilinen Türk vatandaşı Elyesa Bazna'nın istihbarat çalışmalarıdır. Türkiye'deki İngiliz büyükelçisi Sir Hughe Knatchbull-Hugessen'in uşağı olarak görev yapan Bazna, Almanlara gizli İngiliz belgelerinin kopyalarını sağlamıştır. Ancak bu operasyonun stratejik etkisi sınırlı kalmıştır, çünkü Almanlar bu bilgilerin doğruluğundan şüphe duymuştur. Elyesa Bazna, Türkiye'deki Alman büyükelçisi tarafından "Cicero" kod adıyla anılan ve o zamana kadarki en yüksek maaşlı casustur. Cicero'nun Almanlara ulaştırdığı belgeler, Moskova, Kahire ve Tahran'daki müttefik konferansları, planlanan savaş stratejileri ve müttefiklerin Türkiye'yi müttefikler tarafında savaşa sokma çabaları hakkında yazışmaları, telgrafları ve raporları içermiştir. Bazna, İngiliz gizli belgelerini fotoğraflamış, bunları 1943-1944 yılları arasında Almanlara satmış ve İngiliz sterlini ile birkaç elmasla ödenen tahmini 1,2 milyon dolar kazanmıştır. Nisan 1944'te fark edilmeden işinden ayrılmıştır. Rolü, savaştan uzun süre sonra, Ankara'daki Alman büyükelçiliğindeki eski Alman bağlantısı Ludwig Moyzisch'in anılarını 1950'de Almanya'da yayımlamasına kadar bilinememiştir (Laska, 2002, s. 76).

3-Pan-Türkist Aktivistlerle İş Birliği

Nazi Almanyası, Pan-Türkist duyguları kendi lehine kullanarak Türkiye ve Sovyetler Birliği'ndeki Türk halkları üzerinde etkili olmayı amaçlamıştır. Ancak bu çabalar, ideolojik çatışmalar ve Türkiye'nin temkinli tutumu nedeniyle sınırlı başarı elde etmiştir. Pan-Türkistler için, Nazi Almanlarının Haziran 1941'de Sovyetler Birliği'ne saldırması, Türk halklarının Sovyet hâkimiyetinden kurtulması için bir şans gibi görünmüştür. Sovyetlerdeki Pan-Türkistler hem Türk hem de Nazi Alman hükümetlerini kendilerini desteklemeleri için ikna etmeye çalışmışlardır. Türkiye'nin Almanların Pan-Türkist politikalarını benimsemesi durumunda Almanya tarafında savaşa girmesi öngörülmüş olsa da, Türkiye nihayetinde komşusu Sovyetlerin misilleme yapmasına yol açma ihtimaliyle Pan-Türkist hareketleri bastırmıştır. Almanlar kendilerini Sovyetler Birliği'ndeki Pan-Türkist aktivistlerin işbirliği teklifleriyle karşı karşıya kalmışlar ve giderek daha fazla baskı altında kalan Almanlara çok sayıda gönüllü sağlamıştır. Böyle olsa da, ırkçı ve emperyalist Nazi ideolojilerinin Sovyet otoritesi altında yaşayan halkların çıkarlarıyla çatışması, nihayetinde bu işbirliğini etkisiz hâle getirmiştir (Lüdke, 2023, s. 51-74).

4-Almanya'nın Türkiye'yi Mihver'e Çekme Çabaları

Türkiye, savaşın büyük bir bölümünde tarafsızlık politikasını sürdürmüş ve istihbarat diplomasisini toprak bütünlüğünü korumak için bir araç olarak kullanmıştır. Bu süreçte Alman, İngiliz, Fransız ve diğer kaynaklardan elde edilen bilgilerden faydalanmış, ancak bağımsızlığını korumuştur. Türkiye, Vichy hükümeti öncesinde, Fransız istihbaratının özellikle Azerbaycan ve Bakü'de çalışmasının yolunu açmış, Fransızlar Almanların petrol ihtiyacını karşılayan bu bölgelerin fotoğraflarını çekmişlerdir. Ancak daha sonra, Alman istihbaratının bizzat kendisi, Fransızların bu istihbarat çalışmasını kullanarak, bölgeye Fransız saldırısı olacağını ileri sürerek bunu ifşa etmiştir (Bezci, 2016, s. 80-95).

Almanya, Türkiye'yi Mihver Devletleri diye tanımladığı ittifak ortaklığına dahil etmek için siyasi ve askeri baskılar uygulamış, hatta toprak kazanımları vaat etmiştir. Almanya'nın Yugoslavya ve Yunanistan'a savaş ilan etmesi üzerine müttefik devletler Türkiye'nin savaşa katılması için baskı uygulamışlardır. Ancak Türkiye, dengeli bir politika izleyerek savaşa doğrudan katılmaktan kaçınmış ve tarafsızlığını 1945'e kadar sürdürmüştür. Bu süreçte Türk kamuoyunu yönlendirecek istihbarat faaliyetlerinde bulunmuştur (Akandere, 2009, s. 16-21).

5-Fransa'nın İkinci Dünya Savaşı'nda Türkiye'deki İstihbarat Faaliyetleri

II. Dünya Savaşı sırasında Fransız istihbaratının Türkiye'deki faaliyetleri hakkında doğrudan bilgi veren akademik bir makaleye rastlanmamıştır. Ancak, bu dönemde Türkiye'deki genel istihbarat faaliyetleri ve Fransa'nın durumu hakkında bazı bilgiler ortaya konulmuştur. Fransız istihbarat faaliyetlerinin tespitindeki bir zorluk da o dönemde Fransa'da iki ayrı hükümet bulunması ve Ankara'daki büyükelçiliğin hükümete göre el değiştirmesidir. Vichy Hükümeti diye bilinen ve 1940 yılında Nazi Almanyası'nın Fransa'yı işgal etmesinden sonra kurulan işbirlikçi hükümetin istihbarat faaliyetleri kısıtlıdır (Uyar ve Korkmaz, 2015, s. 1331-41). Zira Vichy Hükümeti'ne bağlı istihbarat birimleri, Nazi Almanyası'nın çıkarları doğrultusunda faaliyet gösterirken, Türkiye'de hep Alman elçiliğinin politikalarına göre hareket etmeyi tercih etmiştir. O dönemde Ankara'daki Fransız büyükelçisi Rene Massigli, Alman büyükelçiliğinin baskısı üzerine Vichy hükümeti tarafından geri çekilmiştir. Massigli'nin yerine atanan Jean Helleu de yine Alman büyükelçiliğinin baskıları sonucu geri çekilmiştir. Daha sonra büyükelçi olarak atanan Gaston Begery'nin göreve geldiğinde yaptığı ilk işin, Türkiye'de yaşayan de Gaulle yanlısı Fransızlar tarafından çıkarılan “France” adlı derginin yasaklanması için nota vermesi, istihbarat faaliyetlerinin daha çok muhaliflere yönelik olduğunu göstermektedir; nitekim yeni elçi bu notayı verdiğinde henüz güven mektubunu sunmamıştır (Çiftci, 2015, s. 16-44). Bu arada, Fransa'da istihbarat işi orduya bağlı

olduğundan, ordudaki kuvvetler arasında paylaşılmıştır. Bu nedenle, savaş yıllarında istihbarat görevlisi olarak çalışan Marc Bloch, Fransa'nın 1940 yılında iki hükümete bölünmesinin ve Almanya'ya boyun eğmesinin istihbarat eksikliğinin bir sonucu olduğunu ifade etmiştir (Sel, 1985).

SONUÇ

II. Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın Türkiye'deki istihbarat faaliyetleri, Türkiye'nin tarafsız bir ülke olması ve tarafsız kalma niyeti sebebiyle özellikle karşı devletler üzerine yoğunlaşmıştır. Alman çabaları bazı taktik avantajlar sağlasa da Türkiye, ustaca yürüttüğü istihbarat diplomasisi ile savaştaki tarafsızlığını ve toprak bütünlüğünü korumayı başarmıştır. Gerekirse Türkiye'yi işgal etme planları dahi yapan Almanya bu amaçla özel bir istihbarat çalışması yürütmüş, öncelikle Başbakan ve bakanlar kurulunun tutuklanmasının ve tutuklandıktan sonra nerede tutulacaklarının planlamasını yapmıştır.

Bu dönemde Fransa ise Türkiye'de Almanya, İngiltere ve Rusya kadar güçlü bir istihbarat çalışması yapamamıştır. Bunda, Fransız istihbaratının doğrudan ordunun elinde olmasının yanı sıra, ülkede 1940 yılında Almanya'nın emrinde olan bir Vichy hükümetinin bulunmasının da etkisi vardır. Bu hükümet, istihbarat faaliyetlerini daha çok eski hükümet taraftarlarına karşı yürütmüştür.

Bu çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak araştırmalar için çeşitli öneriler sunmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda, dönemin Fransız ve Alman arşiv belgelerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, ayrıca İngiliz ve Sovyet istihbarat faaliyetlerinin de bu karşılaştırmaya dâhil edilmesi, Türkiye'nin savaş dönemi istihbarat diplomasisinin daha bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Akandere, Osman (2009). II. Dünya Savaşı Yıllarında Almanya'nın Türkiye'ye Baskısı ve Savaşın İçerisine Çekme Gayretleri. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 6(1), 16-21.

Bali, R. N. (2015). Nazi Almanya'sının Türkiye'de yandaş hükümet kurma planı: Orient Stern (Şark Yıldızı) harekâtı. *Toplumsal Tarih*, 262, 50-56.

Bezci, E. B. (2016). Turkey's intelligence diplomacy during the Second World War. *Journal of Intelligence History*, 15(2), 80-95.

Çiftci, F. (2015). II. Dünya Savaşı'nda Türkiye'de Vichy Fransa'sı ve Hür Fransa Mücadelesi. *Eğitim ve Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 16-44.

Laska, V. (2002). Richard Wires. The Cicero spy affair: German access to British secrets in World War II. *International Social Science Review*, 76.

Lüdke, T. (2023). Pan-Turkism in action? Turkic nationalists, Nazi Germany and Turkey during World War II. *Turkish Historical Review*, 15(1), 51-74.

Sel, L. (1985). *İkinci Dünya Savaşında İstihbarat.* Genelkurmay Basımevi.

Seydi, S. (2004). The intelligence war in Turkey during the Second World War: A Nazi spy on British premises in Istanbul. *Middle Eastern Studies*, 40(3), 75-85.

Uyar, H. ve Korkmaz, Ç. C. (2015). Birinci ve İkinci Dünya Savaşı'nın işbirlikçi hükümetleri: Damat Ferit Paşa ve Vichy hükümetleri. *Belgi Dergisi*, (10), 1331-1341.

Uygulamali Fen Kulübü Etkinliklerinin Öğrencilerin Fen Öğrenme Deneyimlerine Yansimalari: Nitel Bir Uygulama Örneği

İlayda GÜLER[1], Sevgül ÇALIŞ[2]

[1]E-mail: 802451005@ogr.uludag.edu.tr ; Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Bursa / Türkiye.

[2]E-mail: : scalis@uludag.edu.tr ; Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Bursa/ Türkiye.

Özet

Fen bilimleri eğitiminin öğrencilerin kuramsal bilgilerin yanı sıra gözlem yapma, deney gerçekleştirme, problem çözme ve bilimsel süreç becerilerini geliştirecek biçimde yapılandırılması önemlidir. Bu araştırmanın amacı, uygulamalı fen kulübü kapsamında gerçekleştirilen deney ve etkinliklerin öğrencilerin Fen Bilimleri dersine yönelik tutumlarına ilişkin yansımalarını incelemektir. Araştırma, bir özel eğitim kurumunda 4, 5 ve 6. sınıfta öğrenim gören 15 öğrencinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler haftada bir gün laboratuvar ortamında deney, tasarım ve modelleme etkinliklerine katılmıştır. Veriler, öğrencilerle gerçekleştirilen görüşmeler aracılığıyla elde edilmiş ve içerik analiziyle incelenmiştir. Bulgular, uygulamalı fen kulübü etkinliklerinin öğrencilerin fen bilimlerine yönelik ilgi, merak ve olumlu düşüncelerini desteklediğini, soyut konuların somutlaştırılmasına katkı sağladığını ve deney yapmaya yönelik özgüvenlerini artırdığını göstermiştir. Ayrıca grup çalışmaları yoluyla sosyal etkileşimlerin desteklendiği görülmüştür. Sonuç olarak, uygulamalı fen kulüplerinin fen öğrenmesini destekleyen etkili öğrenme ortamları olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ders dışı öğrenme, fen eğitimi, fen kulübü, fen öğrenme deneyimleri, uygulamalı öğrenme.

Abstract

It is important to structure science education in a way that enables students to develop not only theoretical knowledge but also observation, experimentation, problem-solving, and scientific process skills. The aim of this study is to examine the reflections of experiments and activities conducted within the scope of an applied science club on students' attitudes toward Science courses. The study was conducted with 15 students attending 4th, 5th, and 6th grades at a private educational institution. The students participated in experiments, design, and modeling activities in a laboratory setting once a week. Data were collected through interviews with the students and analyzed using content analysis. The findings indicated that the applied science club activities supported students' interest, curiosity,

and positive attitudes toward science, contributed to concretizing abstract concepts, and increased their confidence in conducting experiments. The activities also supported social interaction through group work. Consequently, applied science clubs were found to be effective learning environments that support science learning.

Keywords: Applied learning, extra-curricular learning, science club, science education, science learning experiences

GİRİŞ

Fen bilimleri; bireylerin doğal dünyayı anlamalarını, çevrelerinde meydana gelen olayları sorgulamalarını ve bilimsel bilgiye ulaşma süreçlerini deneyimlemelerini sağlayan önemli bir disiplin alanıdır. Fen bilimleri eğitiminin yalnızca bilgi aktarımına dayalı olarak yürütülmesi yerine öğrencilerin deney, gözlem, araştırma ve keşif süreçlerine aktif olarak katılmalarını sağlayacak biçimde yapılandırılması gerekmektedir. Nitekim fen bilimleri, öğrencilere soru sorma, araştırma yapma, hipotez oluşturma ve elde edilen sonuçları yorumlama fırsatı sunmaktadır (Odubunni & Balagun, 1991). Bu nedenle öğrencilerin fen bilimleri öğrenme süreçlerinde aktif rol almaları, etkili ve kalıcı öğrenmeler açısından önem taşımaktadır.

Fen bilimleri dersi fizik, kimya ve biyoloji gibi farklı disiplin alanlarına ilişkin çok sayıda kavram, olgu ve ilişkiyi içermektedir. Özellikle ortaokul düzeyinde öğrencilerin somut işlemler döneminden soyut düşünme dönemine geçiş sürecinde olmaları, soyut fen kavramlarının öğrenilmesinde çeşitli güçlükler yaşamalarına neden olabilmektedir (Piaget, 1976). Öğrencilerin fen bilimleri dersinde yaşadıkları öğrenme güçlükleri, zaman içerisinde derse yönelik ilgilerinin ve tutumlarının olumsuz yönde gelişmesine de neden olabilmektedir. Bu nedenle fen bilimleri öğretiminde öğrencilerin konuları yalnızca teorik olarak öğrenmeleri yerine, bilgileri deneyimlemelerine ve günlük yaşamla ilişkilendirmelerine olanak sağlayan uygulamalara yer verilmesi önemlidir.

Günümüz eğitim sistemi anlayışına göre öğrenciler etkili öğrenmeleri gerçekleştirebilmek için eğitim-öğretim sürecinde aktif olmalıdır (MEB, 2018). Öğrencilerin aktif olarak derse katılabilmelerini sağlayan öğrenme türlerinden biri de işbirlikli öğrenmedir. İşbirlikli öğrenme, öğrencilerin küçük gruplar halinde çalışarak ve birbirinin öğrenmesine yardım ederek öğrenmeyi gerçekleştirme sürecidir (Açıkgöz, 2003). Fen bilimleri dersinde gerçekleştirilen laboratuvar ve deney

etkinlikleri, öğrencilerin hem bireysel hem de grup içerisinde çalışmasına olanak sağlayarak bilimsel süreç becerilerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilmektedir.

Fen bilimleri öğretiminin yalnızca ders saatleriyle sınırlandırılmaması ve öğrencilerin ilgi alanlarına yönelik ders dışı öğrenme ortamlarının oluşturulması da önem taşımaktadır. Bu bağlamda okul kulüpleri, öğrencilerin akademik öğrenmelerini destekleyen, farklı deneyimler edinmelerine ve sosyal becerilerini geliştirmelerine olanak sağlayan öğrenme ortamlarıdır. Öğrenci kulüplerinin öğrencilerin kendilerini tanımalarına, sosyal ve duygusal becerilerini geliştirmelerine, öğrendikleri bilgi ve becerileri uygulamalarına ve yeni deneyimler edinmelerine katkı sağladığı belirtilmektedir (Darling, Caldwell, & Smith, 2005).

Ders dışı fen ve STEM kulüplerine ilişkin güncel çalışmalar, bu ortamların uygulamalı projeler, deneyler ve iş birlikli öğrenme deneyimleri için esnek fırsatlar sunduğunu göstermektedir. STEM kulüpleri üzerine yapılan güncel bir içerik analizi, bu alandaki çalışmaların öğrencilerin ilgi, motivasyon, katılım, iş birliği ve akademik çıktılarının yanı sıra öğrenci deneyimleri ve algılarına da odaklandığını ortaya koymuştur (Öndeş, 2025). Benzer biçimde, informal ve okul dışı fen eğitimi üzerine yapılan bir meta-analiz, bu tür öğrenme deneyimleri ile öğrencilerin STEM ilgileri arasında genel olarak olumlu bir ilişki bulunduğunu; ancak sonuçların programın niteliği, öğrenci düzeyi ve uygulama bağlamına göre değişebildiğini göstermektedir (Xia, Bentley, Fan, & Tai, 2025). Bu nedenle fen kulübü deneyimlerinin yalnızca sonuç değişkenleri üzerinden değil, öğrencilerin bu deneyimleri nasıl anlamlandırdıkları üzerinden de incelenmesi önemlidir.

Fen bilimlerine yönelik duyuşsal yönelimler, etkili fen eğitiminin önemli çıktıları arasındadır. Bununla birlikte, fen bilimlerine yönelik "tutum" tek ve homojen bir yapı değildir; ilgi, öz-yeterlik, bilimin toplumsal değeri ve farklı duyuşsal bileşenler araştırmalarda ayrı ya da birleşik biçimlerde ele alınabilmektedir (Mao, Cai, He, Chen, & Fan, 2021; Şimşek & Nuhoğlu, 2009). Bu nedenle mevcut çalışma, öğrencilerin fen bilimlerine yönelik genel tutum düzeylerinde bir değişim ölçtüğü iddiasında bulunmamaktadır. Çalışmada, öğrencilerin uygulamalı fen kulübü sonrasında ifade ettikleri olumlu düşünceler, ilgi ve merak, algılanan öğrenme katkısı, deney yapmaya yönelik güven ve sosyal etkileşim deneyimleri nitel olarak incelenmektedir.

Bu noktadan hareketle, farklı fen konularını deney, modelleme ve tasarım etkinlikleri aracılığıyla ele alan bir fen kulübünün öğrenciler tarafından nasıl deneyimlendiğinin incelenmesi, uygulamalı ve ders dışı fen öğrenme ortamlarının

öğrenci perspektifinden anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bu çalışma, fen kulübünün etkililiğine ilişkin nedensel bir sınama yapmak yerine, kulübe katılan öğrencilerin yaşadıkları öğrenme deneyimlerini ve bu deneyimlere yükledikleri anlamları betimlemeye odaklanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, uygulamalı fen kulübü kapsamında gerçekleştirilen deney, tasarım, modelleme ve laboratuvar etkinliklerinin öğrencilerin fen öğrenme deneyimlerine nasıl yansıdığını öğrenci görüşleri doğrultusunda incelemektir. Bu doğrultuda araştırmanın temel sorusu, "Uygulamalı fen kulübüne katılan öğrenciler, kulüp etkinliklerinin Fen Bilimleri dersine yönelik düşüncelerine, ilgi ve meraklarına, öğrenme deneyimlerine, deney yapmaya yönelik güvenlerine ve sosyal etkileşimlerine yansımalarını nasıl ifade etmektedir?" şeklinde belirlenmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışma, belirli bir fen kulübü uygulamasına katılan öğrencilerin deneyimlerini ve algılarını kendi ifadeleri üzerinden betimlemeyi amaçlayan nitel betimsel bir çalışma olarak yapılandırılmıştır. Araştırmanın amacı, uygulamanın öğrenciler üzerindeki nedensel etkisini test etmek değil; öğrencilerin uygulamalı fen kulübü deneyimlerini nasıl anlamlandırdıklarını ortaya koymaktır. Bu nedenle bulgular, görüşme verileri ve çalışma bağlamı ile sınırlı olarak yorumlanmıştır.

Araştırmanın çalışma grubunu bir özel eğitim kurumunda öğrenim gören 4, 5 ve 6. sınıf düzeyindeki toplam 15 öğrenci oluşturmaktadır. Öğrenciler dönem başında ilgi alanları doğrultusunda kulüplere yönlendirilmiş ve Fen-Bilim ve Teknoloji Kulübü'ne katılan öğrenciler çalışma grubunu oluşturmuştur. Katılımın öğrencilerin ilgi alanlarına dayalı olması nedeniyle grubun fen bilimlerine başlangıçta belirli düzeyde ilgi duyan öğrencileri içermesi mümkündür. Bu öz-seçim özelliği, bulguların yorumlanmasında dikkate alınmış ve görüşler kulübün neden olduğu bir değişimin kanıtı olarak ele alınmamıştır. Katılımcıların sınıf düzeylerine göre dağılımı 4. sınıf n=6, 5. sınıf n=7, 6. sınıf n=2 şeklindedir.

Fen kulübü çalışmaları her hafta Çarşamba günü ikişer ders saati olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Öğrencilerin fen bilimlerine yönelik deneyimlerini artırmak amacıyla etkinlikler laboratuvar ortamında yürütülmüştür. Uygulama toplam 8 ay sürmüş ve süreçte 16 farklı etkinlik gerçekleştirilmiştir. Uygulama sürecinin başlangıcında öğrencilere laboratuvarın tanımı yapılmış, laboratuvar malzemeleri tanıtılmış ve bilimsel araştırma basamakları hakkında bilgi

verilmiştir. Bunun yanında laboratuvar güvenliği konusunda gerekli bilgilendirmeler yapılmıştır. Öğrenciler kendi istekleri doğrultusunda üçer kişilik gruplara ayrılmış ve etkinlikler grup çalışması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her hafta öğrencilere ilgili etkinliğe yönelik çalışma materyalleri verilmiş, öğrencilerin etkinliği iş birliği içerisinde tamamlamaları sağlanmıştır. Etkinliklerin sonunda öğrencilerin elde ettikleri sonuçları diğer öğrencilerle paylaşmaları teşvik edilmiştir. Böylece öğrencilerin uygulamalara yalnızca gözlemci olarak değil, aktif katılımcı olarak dâhil olmaları sağlanmıştır.

Araştırmada öğrencilerin uygulamalı fen kulübü deneyimlerine ilişkin görüşlerini belirlemek amacıyla öğrenci görüşmelerinden yararlanılmıştır. Görüşmelerde öğrencilerin kulüp etkinliklerinin Fen Bilimleri dersine yönelik düşüncelerine, ilgi ve meraklarına, öğrenmelerine, akademik başarılarına ilişkin algılarına ve deney yapmaya yönelik değerlendirmelerine odaklanılmıştır. Görüşmeler, çalışmada ölçülmüş bir "tutum puanı" üretmek amacıyla değil, öğrencilerin deneyimlerini kendi ifadeleriyle betimlemek amacıyla kullanılmıştır. Görüşmeler yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılarak, araştırmacı tarafından bireysel olarak ve yaklaşık 15-20 dakika sürecek şekilde yürütülmüştür.

Toplanan verilerin analizinde nitel analiz yöntemlerinden içerik analizi kullanılmıştır. Görüşme kayıtları transkribe edilmiş, ardından kodlar oluşturularak temalara ulaşılmıştır. Analiz sürecinde veriler araştırmacılar tarafından bağımsız olarak kodlanmış ve kodlayıcılar arası güvenirlik sağlanmıştır. Bu araştırma kapsamında gerekli Etik kurul izin bilgileri alınmış, öğrenci velilerinden yazılı onam formu temin edilmiştir.

BULGULAR

Öğrenci görüşlerinin incelenmesi sonucunda, katılımcıların uygulamalı fen kulübü deneyimlerini çoğunlukla olumlu ifadelerle anlamlandırdıkları görülmüştür. Elde edilen görüşler altı ana tema altında sunulmuştur. Uygulama sürecinde gerçekleştirilen etkinlikler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Uygulamalı Fen Kulübünde Gerçekleştirilen Etkinlik Örnekleri

Fen Konusu/Alanı	Gerçekleştirilen Etkinlik
Sürtünme kuvveti	Ayrılmayan Kitaplar
Hava direnci	Uçak-Paraşüt Yapımı
Kuvvet ve hareket	Mancınık Yapımı / Balonla Çalışan Araba / Roket Yapımı
Isı ve sıcaklık	Isınan Hava Yükselir
Teknoloji	Hologram Etkinliği
Basınç	Açık Hava Basıncı Deneyleri
Biyoloji	Muzun DNA'sını Çıkarma / Fil Modeli
Mekanik sistemler	Hidrolik Fren Sistemi Modeli
Enerji ve hareket	Balonla Çalışan Gemi
Fizik / Optik	Basit Yay Düzeneği / Renklerin Dansı
Tasarım ve mühendislik	Lastikle Çalışan Araba

Öğrenci görüşleri doğrultusunda elde edilen ana bulgular ve temalar aşağıda açıklanmaktadır:

Fen Bilimleri Dersine Yönelik Olumlu Düşünceler: Kulüp çalışmalarının derse yönelik mevcut olumlu tutumları pekiştirdiği görülmüştür. Bir öğrenci bu durumu, "Fen Bilimleri dersini çok sevdiğim için bu kulübe gelmiştim ama artık daha da çok seviyorum." [Ö1, 4. Sınıf] şeklinde ifade etmiştir.

İlgi ve Merakta Artış: Uygulamalı etkinliklerin fen bilimlerine yönelik merakı artırdığı belirlenmiştir. Öğrencilerden biri "Fen Bilimleri dersine olan ilgimi ve merakımı daha çok arttırdı." [Ö2, 4. Sınıf] değerlendirmesinde bulunmuştur.

Öğrenmeyi Kolaylaştırma ve Soyut Bilgilerin Somutlaştırılması: Uygulamaların zihinsel canlandırmayı kolaylaştırdığı ifade edilmiştir. Öğrenci ifadesinde "Etkinlik yapınca anlayamadığım konuyu kafamda daha iyi canlandırıp anlayabiliyorum." [Ö6, 6. Sınıf] demiştir.

Algılanan Akademik Katkı: Doğrudan ölçüm yapılmamakla birlikte öğrenciler öznel olarak başarılarının arttığını ifade etmişlerdir. Bir öğrenci "Soruları okuyunca kulüpte yaptığımız etkinlikler gözümün önüne geldi ve notlarım yükseldi." [Ö4, 5. Sınıf] beyanında bulunmuştur.

Deney Yapmaya Yönelik Özgüven ve Heyecan: Öğrencilerin deney yapmaya ilişkin çekincelerinin azaldığı gözlenmiştir. "Önceden deney yapmaktan korkuyordum, kulüp etkinlikleri sonrasında ise yeni deneyleri keşfetmeye yönelik merakım arttı." [Ö3, 4. Sınıf]

Sosyal Etkileşim ve İş Birliği: Farklı sınıf düzeyindeki öğrencilerin grup çalışması ile iletişimlerinin geliştiği belirtilmiştir. "Farklı yaşıtlarımla aynı kulüp içerisinde bir araya gelmek ve üçer kişilik gruplar halinde çalışmalar yapmak arkadaşlık ve iletişim becerilerimi geliştirdi." [Ö5, 5. Sınıf]

SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırmadan elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, katılımcıların uygulamalı fen kulübünü Fen Bilimleri dersine yönelik olumlu düşünceler, ilgi ve merak, kavramları zihinde canlandırma, deney yapmaya yönelik güven ve grup içinde çalışma ile ilişkilendirdikleri görülmektedir. Bununla birlikte, çalışma ön test-son test veya standartlaştırılmış bir tutum ölçümü içermediğinden bu sonuçlar kulübün öğrenciler üzerinde nedensel bir etkisi olarak yorumlanmamalıdır. Bulgular, bu çalışma grubundaki öğrencilerin kulüp deneyimlerine ilişkin nitel ve öznel değerlendirmelerini ortaya koymaktadır.

Öğrencilerin etkinlikler sayesinde anlamakta zorlandıkları konuları daha iyi canlandırabildiklerini ifade etmeleri, uygulamalı öğrenme ortamlarının soyut fen kavramlarını somut deneyimlerle ilişkilendirmede öğrenciler tarafından işlevsel bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, ders dışı STEM ve fen etkinliklerinin öğrencilere uygulamalı ve ürün odaklı öğrenme fırsatları sunduğunu vurgulayan güncel çalışmalarla uyumludur (Ayers, Wade-Jaimes, Wang, Pennella, & Pounds, 2020; Öndeş, 2025). Öğrencilerin ilgi ve meraklarına ilişkin olumlu ifadeleri de okul dışı ve ders dışı fen öğrenme literatürüyle örtüşmektedir. İnformal fen eğitimi çalışmalarını bir araya getiren bir meta-analiz, bu tür programlarla öğrencilerin STEM ilgileri arasında olumlu ilişki bulunduğunu gösterse de sonuçların uygulama bağlamına göre değişebildiğini vurgulamaktadır (Xia, Bentley, Fan, & Tai, 2025).

Grup çalışması ve sosyal etkileşim boyutuna ilişkin yorumlar, fen kulüplerinin akademik olmayan kazanımları desteklediğini bildiren çalışmalarla paralellik göstermektedir (Magaji, Ade-Ojo, & Bijlhout, 2022). Akademik başarıya ilişkin bulgular ise tamamen öğrencilerin kendi algılarına dayanmaktadır. Nitekim fen tutumu ile başarı arasında olumlu ilişkiler bulunsa da (Mao, Cai, He, Chen, & Fan, 2021), bu araştırmada doğrudan başarı testi uygulanmamıştır. Çalışmanın öz-seçimli (gönüllü) bir grupta yapılması, fen ilgisi önceden yüksek öğrencilerin grupta yer almasına imkan tanımış olabilir (Liu & Schunn, 2020).

Çalışmanın sınırlılıkları kapsamında, 15 öğrenciyle, tek bir özel eğitim kurumunda ve öğrencilerin ilgi alanları doğrultusunda seçtikleri bir fen kulübü bağlamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bulguların farklı okul türlerine veya öğrenci gruplarına genellenmesi amaçlanmamaktadır. Çalışmada başlangıç düzeyini gösteren bir ön ölçüm, karşılaştırma grubu veya standartlaştırılmış tutum ölçeği bulunmadığından öğrencilerin ifadelerinde görülen olumlu yönelimler uygulamanın neden olduğu değişimler olarak yorumlanamaz. Verilerin öğrenci öz-bildirimlerine dayanması sosyal beğenirlik ve hatırlama etkilerine açık olabilir. Akademik başarı doğrudan ölçülmemiştir. Ayrıca farklı sınıf düzeylerindeki öğrencilerin aynı çalışma grubunda yer alması, yaş ve gelişim düzeyine bağlı olası farklılıkların ayrıntılı biçimde incelenmesini sınırlandırmıştır. Bu sınırlılıklar doğrultusunda çalışma, etkililik kanıtı üretmekten çok belirli bir fen kulübü bağlamındaki öğrenci deneyimlerinin betimlenmesi olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada uygulamalı fen kulübü kapsamında gerçekleştirilen deney, tasarım, modelleme ve laboratuvar etkinliklerinin öğrencilerin fen öğrenme deneyimlerine nasıl yansıdığı öğrenci görüşleri doğrultusunda incelenmiştir.

Elde edilen görüşler, öğrencilerin kulüp deneyimlerini Fen Bilimleri dersine yönelik olumlu düşünceler, ilgi ve merak, bazı konuları daha kolay zihinde canlandırma ve deney yapmaya yönelik artan merak/güven ile ilişkilendirdiklerine işaret etmektedir. Bu bulgular öğrencilerin öznel değerlendirmelerini yansıtmaktadır.

Grup çalışmasına dayalı uygulama yapısı, farklı sınıf düzeylerindeki öğrencilerin birlikte çalışmasına ve sonuçlarını paylaşmasına olanak sağlamıştır.

Bazı öğrenciler kulüp çalışmalarını akademik öğrenmeleri ve notlarına ilişkin olumlu algılarla ilişkilendirmiştir. Ancak çalışmada akademik başarıya yönelik doğrudan bir ölçüm yapılmadığından bu ifadeler algılanan akademik katkı olarak yorumlanmalıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışma grubundan elde edilen görüşler uygulamalı fen kulüplerinin öğrenciler tarafından deneyimleyerek öğrenmeyi, fenle ilgili merakı ve iş birlikli çalışmayı destekleyen tamamlayıcı öğrenme ortamları olarak algılanabileceğine işaret etmektedir. Sonuçlar tek bir bağlama ve öz-seçimli küçük bir katılımcı grubuna dayandığından, daha geniş bir etkililik veya nedensellik iddiası taşımamaktadır.

Araştırmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda şu öneriler geliştirilebilir: Fen bilimleri dersini desteklemek amacıyla, okulların olanakları ve öğrenci ihtiyaçları dikkate alınarak uygulamalı fen kulübü etkinliklerinin tamamlayıcı öğrenme fırsatları olarak kullanılması değerlendirilebilir.

Fen kulübü etkinliklerinin yalnızca belirli sınıf seviyeleriyle sınırlandırılmayarak farklı yaş gruplarındaki öğrencilerle gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Fen kulüplerinde deneylerin yanı sıra modelleme, tasarım, mühendislik uygulamaları ve günlük yaşam problemlerine yönelik etkinliklere daha fazla yer verilmelidir.

Öğrencilerin etkinlikleri yalnızca izleyen değil, planlayan, uygulayan, gözlemleyen ve sonuçlarını paylaşan aktif katılımcılar olmaları sağlanmalıdır.

Uygulamalı fen etkinliklerinin öğrencilerin fen bilimlerine yönelik ilgi, tutum ve öğrenme çıktıları üzerindeki etkisini sınamak amacıyla daha büyük örneklemlerle, karşılaştırma gruplarıyla ve nicel/karma yöntemli çalışmalar yürütülebilir.

Gelecek araştırmalarda fen bilimlerine yönelik tutum ölçekleri, başarı testleri, görüşmeler ve gerektiğinde sistematik gözlemler birlikte kullanılarak uygulamalı fen kulüplerinin akademik, duyuşsal ve sosyal çıktıları daha kapsamlı biçimde incelenebilir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, K. Ü. (2003). *Aktif öğrenme.* İzmir: Eğitim Dünyası Yayınları.

Ayers, K. A., Wade-Jaimes, K., Wang, L., Pennella, R. A., & Pounds, S. B. (2020). The St. Jude STEM Clubs: An afterschool STEM club for upper elementary school students in Memphis, TN. *Journal of STEM Outreach,* 3(1), 1–14. https://doi.org/10.15695/jstem/v3i1.13

Darling, N., Caldwell, L. L., & Smith, R. (2005). Participation in school-based extracurricular activities and adolescent adjustment. *Journal of Leisure Research,* 37(1), 51–76. https://doi.org/10.1080/00222216.2005.11950038

Liu, A. S., & Schunn, C. D. (2020). Predicting pathways to optional summer science experiences by socioeconomic status and the impact on science attitudes and skills. *International Journal of STEM Education,* 7(1), Article 49. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00247-y

Magaji, A., Ade-Ojo, G., & Bijlhout, D. (2022). The impact of after school science club on the learning progress and attainment of students. *International Journal of Instruction,* 15(3), 171–190. https://doi.org/10.29333/iji.2022.15310a

Mao, P., Cai, Z., He, J., Chen, X., & Fan, X. (2021). The relationship between attitude toward science and academic achievement in science: A three-level meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 784068. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.784068

Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2018). *Fen bilimleri dersi öğretim programı (İlkokul ve ortaokul 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. sınıflar).* Ankara: MEB Yayınları.

Odubunni, O., & Balagun, T. A. (1991). The effect of laboratory and lecture teaching methods on cognitive achievement in integrated science. *Journal of Research in Science Teaching,* 28(3), 213–224. https://doi.org/10.1002/tea.3660280305

Öndeş, R. N. (2025). Research trends in STEM clubs: A content analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(3), 561–588. https://doi.org/10.1007/s10763-024-10477-z

Piaget, J. (1976). *The grasp of consciousness: Action and concept in the young child.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Şimşek, N., & Nuhoğlu, H. (2009). İlköğretim öğrencilerinin fen bilgisi dersine yönelik tutumlarının belirlenmesi. *Kastamonu Eğitim Dergisi,* 17(1), 143–152.

Xia, X., Bentley, L. R., Fan, X., & Tai, R. H. (2025). STEM outside of school: A meta-analysis of the effects of informal science education on students' interests and attitudes for STEM. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(5), 1153–1181. https://doi.org/10.1007/s10763-024-10504-z

Taltiften Hatıraya; Elazığlı Kore Gazilerinin Madalyaları Üzerine Bir İnceleme

Ahmet ÇELİK[1]

[1] ahmetcelik2@firat.edu.tr; Fırat Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Tarih Bölümü, Elazığ / Türkiye.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 125K642 Nolu "Tarihin Son Tanıkları; Elazığ'daki Kore Gazilerinin Anlatılarıyla Kültürel Süreklilik İnşası" Başlıklı proje kapsamında hazırlanmıştır

Özet

Türkiye'nin yakın tarihinde tartışmalı bir yeri olan Kore Savaşı'na katılımı, Soğuk Savaş ekseninde askeri ve siyasi tarih çerçevesinde ele alınıp incelenmiştir. Ancak Kore Savaşı'nın sonuçları ve savaşa katılan Mehmetçik açısından da ele alınması gereken bölgesel veya bireysel araştırmalar da gereklidir. Bu çalışma, Elazığlı Kore Gazileri Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait, Kore Savaşı'na katılmalarından dolayı verilen madalyaların fiziksel özellikleri, veriliş amaçları ve zaman içerisinde kazandıkları hatıra değeri bakımından incelenmesiyle oluşturulmuştur.

Araştırmada belge analizi, sözlü tarih ve nesne merkezli inceleme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın temel kaynaklarını gaziler ve yakınlarıyla yapılan mülakatlar, gazilere ait madalyalar, Kore Savaşı'yla ilgili akademik çalışmalar oluşturmaktadır.

Yapılan incelemede Birleşmiş Milletler adına verilen hizmet madalyaları ile Kore'deki gazi teşkilatları tarafından sonraki yıllarda sunulan takdir ve hatıra madalyalarının bir arada bulunduğu görülmektedir. Bu durum, madalyaların yalnızca savaş sırasındaki hizmetten değil, bu hizmetin savaş sonrasında farklı kurumlar tarafından yeniden hatırlandığını göstermektedir.

Çalışmamız; Kore gazilerine ait madalyaların resmi birer taltif aracından gazilerin kişisel hatıralarını, ailelerin gazilik algısını ve Elazığ'ın Kore Savaşı hafızasını taşıyan maddi kültür unsurlarına dönüşmesini incelemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kore Savaşı, Elazığlı Kore Gazileri, Askeri Madalya, Taltif, Kültürel Hafıza

FROM COMMENDATION TO REMEMBRANCE: A STUDY OF THE MEDALS OF KOREAN WAR VETERANS FROM ELAZIĞ

Abstract

Türkiye's participation in the Korean War, which occupies a contested place in its recent history, has largely been examined within the framework of military and political history and in the broader context of the Cold War. Nevertheless, regional and individual studies are also necessary to understand the consequences of the war and the experiences of the Turkish soldiers who took part in it. This study examines the medals awarded to Korean War veterans from Elazığ—Bozo Kemerli, Kamil Kaya, and Mahmut Sarı—in terms of their physical characteristics, the purposes for which they were conferred, and the commemorative value they acquired over time.

The research employs document analysis, oral history, and object-centred analysis. Its primary sources consist of interviews conducted with the veterans and their relatives, the medals belonging to the veterans, and academic studies on the Korean War.

The findings reveal that United Nations service medals coexist with medals of appreciation and commemoration presented in subsequent years by veterans' organisations in Korea. This indicates that the medals represent not only recognition of wartime service but also the ways in which that service was subsequently remembered and commemorated by various institutions.

This study examines how the medals belonging to Korean War veterans were transformed from official instruments of commendation into elements of material culture that embody the veterans' personal memories, their families' perceptions of veteranhood, and Elazığ's collective memory of the Korean War.

Keywords: Korean War, Korean War Veterans from Elazığ, Military Medals, Commendation, Cultural Memory

GİRİŞ

Kore Savaşı, İkinci Dünya Savaşı sonrasında belirginleşen iki kutuplu uluslararası sistemin ilk büyük sıcak çatışmalarından biri olmasının yanında, Türkiye Cumhuriyeti'nin sınırları dışında ve çok uluslu bir askerî kuvvet

bünyesinde katıldığı ilk savaş olması bakımından da özel bir yere sahiptir. Türkiye'nin Kore'ye asker göndermesi; Soğuk Savaş şartları, Sovyetler Birliği'nden algılanan tehdit, Batı güvenlik sistemi içerisinde yer alma arayışı, Birleşmiş Milletler kararları ve NATO üyeliği hedefiyle yakından ilişkilidir(Çelik, 2020). Bununla birlikte Kore Savaşı'nın yalnızca uluslararası ilişkiler, asker gönderme kararı ve Türk Tugayı'nın muharebeleri üzerinden değerlendirilmesi, savaşın bireysel ve toplumsal hafızadaki karşılığını açıklamak için yeterli değildir. Türkiye'nin farklı şehirlerinden Kore'ye giden askerlerin yaşadıkları, savaş sonrasında taşıdıkları gazi kimliği ve ailelerinde muhafaza edilen kişisel eşyalar, savaşın toplumsal tarihini tamamlayan önemli kaynaklardır.

Kore Savaşı ve Türk Tugayı hakkında askerî ve siyasi tarih merkezli geniş bir literatür bulunmasına rağmen, son yıllarda şehir ve ilçe ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar savaşın yerel boyutunu daha görünür hâle getirmeye başlamıştır. Denizli, Aydın, Antalya ve Merzifon örneklerinde şehit ve gazilerin tespit edilmesi, biyografik bilgilerinin kaydedilmesi ve yaşayan gazilerle görüşmeler yapılması; ulusal tarih anlatısı içerisinde geri planda kalan bireysel deneyimlerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlamıştır(Karaman, 2020 ve Haytaoğlu, 2002, ve Doğanay, 2018 ve Oğuz, 2012). Özellikle gazilerle gerçekleştirilen görüşmeler, savaşa katılımın resmî gerekçeleriyle askerlerin savaşı algılama ve anlamlandırma biçimlerinin her zaman örtüşmediğini göstermektedir. Nitekim Merzifonlu Kore gazileri üzerine yapılan araştırmada, görüşülen gazilerin çoğunun Kore'ye gönüllü olarak gitmediği, savaşın nedenleri ve tarafları hakkında yeterli bilgi sahibi olmadığı ve askerî bir görevlendirme sonucunda savaşa katıldığı belirlenmiştir (Karaman, 2020). Bu sonuç, gazi anlatılarının resmî tarih söylemini yalnızca destekleyen malzemeler olarak değil, söz konusu söylemi tamamlayan, çeşitlendiren ve gerektiğinde sorgulayan tarihsel kaynaklar olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte gazilerin savaş tecrübeleri yalnızca sözlü anlatılarda yaşamamaktadır. Fotoğraflar, askerlik belgeleri, mektuplar, üniformalar, rozetler ve madalyalar da savaş deneyiminin günümüze ulaşmasını sağlayan maddi kültür unsurlarıdır. Bu nesneler arasında madalyalar, askerî hizmetin resmî olarak tanınmasını ve sahibinin taltif edilmesini temsil etmeleri nedeniyle ayrı bir önem taşımaktadır. Ancak madalyanın anlamı, onu veren devlet veya kurumun belirlediği resmî gerekçeyle sınırlı değildir. Bir nesnenin üretildiği, el değiştirdiği, kullanıldığı ve sonraki kuşaklar tarafından yeniden anlamlandırıldığı aşamaların incelenmesi, onun bir tür "kültürel biyografisinin" kurulmasına imkân vermektedir (Kopytoff, 1986). Bu bakımdan bir madalya, ilk verildiği anda askerî hizmeti belgeleyen resmî bir taltif aracı iken zaman içerisinde gazinin savaş tecrübesini somutlaştıran kişisel bir hatıraya; gazinin ölümünden sonra ise ailesi tarafından korunan ve kuşaklar arasında aktarılan bir hafıza nesnesine dönüşebilmektedir.

Bu çalışmanın problemi, Kore Savaşı'na ilişkin mevcut literatürde gazilerin savaş tecrübelerine ve biyografilerine belirli ölçülerde yer verilmesine rağmen, gazilere ait madalyaların türleri, kurumsal statüleri, sembolik özellikleri ve aile hafızasında kazandıkları anlamların yeterince incelenmemesidir. Madalyaların çoğu zaman yalnızca savaş hizmetini kanıtlayan veya gazilik statüsünü gösteren nesneler olarak kabul edilmesi, bunların zaman içerisinde değişen işlevlerinin

gözden kaçırılmasına neden olmaktadır. Ayrıca resmî hizmet madalyalarıyla savaşın ardından devletler, gazi teşkilatları veya çeşitli kuruluşlar tarafından verilen hatıra ve takdir madalyalarının birbirinden ayrılmaması, söz konusu nesnelerin veriliş amacı ve tarihinin hatalı yorumlanması sonucunu doğurabilmektedir.

Bu bildiri, Elazığlı Kore gazileri **Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya** ait madalyaları; fiziksel özellikleri, üzerlerindeki yazı ve semboller, veren kurumlar, veriliş amaçları ve sahipleriyle kurdukları biyografik ilişki bakımından incelemektedir. Çalışma, "Bu madalyalar hangi kurumlar tarafından ve hangi amaçlarla verilmiştir?", "Madalyaların üzerindeki semboller Kore Savaşı'nı ve askerî hizmeti nasıl temsil etmektedir?" ve "Resmî taltif amacıyla verilen bu nesneler zaman içerisinde kişisel, ailevi ve yerel hafızanın taşıyıcılarına nasıl dönüşmüştür?" sorularına cevap aramaktadır.

Araştırmada belge analizi, sözlü tarih ve nesne merkezli inceleme yöntemleri birlikte kullanılmaktadır. Çalışmanın başlıca kaynaklarını gazilere ait madalyaların fotoğrafları, Bozo Kemerli ve Mahmut Sarı ile gerçekleştirilen mülakatlar, vefat etmiş olan Kamil Kaya'nın çocukları ve torunuyla yapılan görüşmeler, Elazığlı Kore şehitlerinin resmî biyografik kayıtları ve Kore Savaşı hakkında yayımlanmış akademik çalışmalar oluşturmaktadır (*Kore Savaşı Şehitlerinin Biyografileri,1992)*. Mülakatlar gazilerin bütün savaş tecrübelerini aktarmak amacıyla değil; kısa biyografilerini, madalyalarla ilişkilendirilebilecek hizmet süreçlerini ve gazilik kimliğine yükledikleri anlamı açıklayacak ölçüde kullanılmaktadır. Bu sınırlama, hem bildirinin madalya merkezli yapısını korumakta hem de sözlü tarih kayıtlarının bağımsız bir çalışmada daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesine imkân vermektedir.

Çalışmanın somut katkısı, üç Elazığlı Kore gazisine ait madalyaların kişi bazında kayıt altına alınması, resmî hizmet madalyaları ile sonradan verilen takdir ve hatıra madalyalarının birbirinden ayrılması ve bu nesnelerin askerî hizmetten aile hafızasına uzanan anlam değişiminin ortaya konulmasıdır. Madalya fotoğrafları metin içerisinde, ilgili gazi ve madalyanın incelendiği kısımlarda numaralandırılarak kullanılmıştır. Böylece görseller yalnızca metni süsleyen unsurlar olarak değil, üzerlerindeki yazı, sembol, kurdele ve kullanım izleri üzerinden tarihsel bilgi sunan birincil maddi kaynaklar olarak değerlendirilecektir.

1. KORE SAVAŞI'NIN TARİHSEL ARKA PLANI

Kore Savaşı'nın ortaya çıkışı, yalnızca 25 Haziran 1950'de Kuzey Kore birliklerinin Güney Kore'ye saldırmasıyla açıklanamaz. Savaşın tarihsel arka planında Kore Yarımadası'nın büyük devletler arasındaki nüfuz mücadelesine sahne olması, Japon sömürge yönetimi, İkinci Dünya Savaşı sonrasında oluşan güç boşluğu ve Amerika

Birleşik Devletleri ile Sovyetler Birliği arasındaki ideolojik rekabet bulunmaktadır. Bu bakımdan Kore Savaşı, yerel bir iç çatışmanın Soğuk Savaş şartlarında uluslararası bir askerî mücadeleye dönüşmesinin ilk önemli örneklerinden biridir.

Kore Yarımadası, coğrafi konumu nedeniyle tarih boyunca Çin, Japonya ve Rusya'nın siyasi ve askerî rekabet alanlarından biri olmuştur. Japonya'nın 1904-1905 Rus-Japon Savaşı'ndan galip çıkmasının ardından yarımada üzerindeki nüfuzu artmış, Kore 1910'da Japonya tarafından ilhak edilmiştir. Yaklaşık otuz beş yıl süren Japon hâkimiyeti, İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru Japonya'nın yenilmesiyle sona ermiştir. Bununla birlikte Japon yönetiminin sona ermesi, Kore'ye beklenen bağımsızlığı ve siyasi bütünlüğü getirmemiştir. Japon kuvvetlerinin teslim alınması amacıyla yarımadanın 38. paralel esas alınarak iki askerî harekât bölgesine ayrılması, daha sonraki siyasi bölünmenin temelini oluşturmuştur. Buna göre 38. paralelin kuzeyi Sovyetler Birliği'nin, güneyi ise Amerika Birleşik Devletleri'nin denetimine bırakılmıştır (A Hanbook of Korea, 1993).

Başlangıçta geçici bir askerî düzenleme olarak düşünülen bu ayrım, ABD ile Sovyetler Birliği arasında Kore'nin geleceği konusunda uzlaşma sağlanamaması üzerine kalıcı bir siyasi bölünmeye dönüşmüştür. ABD ve Sovyetler Birliği temsilcilerinden oluşan ortak komisyon kurulmasına ve olayın Birleşmiş Milletler'e taşınmasına rağmen, 38. paralel yalnızca coğrafi bir sınır olmaktan çıkararak iki farklı siyasi sistem arasındaki çatışma hattına dönüştürmüştür. Sovyetler Birliği'nin 1948'in sonlarında, ABD'nin ise 1949'da askerî birliklerinin büyük bölümünü Kore'den çekmesi, iki Kore arasındaki gerilimi ortadan kaldırmamıştır (Korea, Past and Present, 1972). Aksine sınır hattında meydana gelen çatışmalar ve karşılıklı birleşme iddiaları, askerî bir hesaplaşma ihtimalini giderek artırmıştır.

Kuzey Kore birliklerinin 25 Haziran 1950'de 38. paraleli geçerek güneye doğru ilerlemesiyle savaş başlamıştır. Saldırının ilk aşamasında Kuzey Kore ordusu kısa sürede önemli bir ilerleme sağlamış ve Güney Kore'nin başkenti Seul'ü ele geçirmiştir. Güney Kore yönetiminin yardım talebi üzerine konu aynı gün Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyine taşınmıştır. Güvenlik Konseyi, Kuzey Kore'nin saldırısını uluslararası barışı bozan bir eylem olarak değerlendirmiş; çatışmaların durdurulmasını ve Kuzey Kore kuvvetlerinin 38. paralelin kuzeyine çekilmesini istemiştir. Sovyetler Birliği temsilcisinin Çin'in Birleşmiş Milletlerde temsil edilmemesini protesto etmek amacıyla toplantılara katılmaması, söz konusu kararların veto edilmeden alınmasını mümkün kılmıştır (Haytaoğlu, 2002).

Kuzey Kore'nin ilerlemeyi sürdürmesi üzerine Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi, üye devletlere Güney Kore'ye yardım etmeleri çağrısında bulunmuştur. Böylece başlangıçta Kore Yarımadası'nın iki yönetimi arasında meydana gelen çatışma, ABD'nin öncülüğünde oluşturulan çok uluslu Birleşmiş Milletler kuvvetinin savaşa katılmasıyla uluslararası bir nitelik kazanmıştır. Birleşmiş Milletlerin çağrısına askerî, sağlık veya lojistik yardım yoluyla çok sayıda devlet karşılık vermiş; on altı devlet Kore'ye muharip birlik göndermiştir. Birleşmiş Milletler kuvvetlerinin komutanlığına Uzak Doğu'daki Amerikan kuvvetlerinin başında bulunan General Douglas MacArthur getirilmiştir (Haytaoğlu, 2002).

Savaşın ilk aylarında Kuzey Kore birlikleri, Güney Kore ve Amerikan kuvvetlerini yarımadanın güneydoğusundaki Pusan çevresine kadar çekilmeye zorlamıştır. Ancak Eylül 1950'de gerçekleştirilen İnchon Çıkarması savaşın seyrini değiştirmiş; Birleşmiş Milletler kuvvetleri kuzeye doğru ilerleyerek 38. paraleli aşmıştır. Birleşmiş Milletler birliklerinin Çin sınırındaki Yalu Nehri'ne yaklaşması, Çin Halk Cumhuriyeti'nin savaşa müdahale etmesine yol açmıştır. Kasım 1950'den itibaren geniş çaplı Çin taarruzuyla cephedeki askerî denge yeniden değişmiş ve Birleşmiş Milletler kuvvetleri güneye çekilmek zorunda kalmıştır (Çavdar, 2000). Bu gelişmeler, Kore'de kısa sürede sonuçlanacağı düşünülen askerî harekâtı, farklı devletlerin doğrudan veya dolaylı biçimde dâhil olduğu uzun süreli bir yıpratma savaşına dönüştürmüştür.

Cephe hattının 1951 yılı içerisinde yeniden 38. paralel çevresinde istikrar kazanmasıyla taraflar kesin bir askerî zafer elde etmekten uzaklaşmıştır. Temmuz 1951'de başlayan ateşkes görüşmeleri; askerî sınırın belirlenmesi, savaş esirlerinin durumu ve denetim mekanizmaları konusundaki anlaşmazlıklar nedeniyle yaklaşık iki yıl sürmüştür. Nihayet 27 Temmuz 1953'te Panmunjom'da imzalanan Ateşkes Antlaşması ile silahlı çatışmalar durdurulmuş ve iki taraf arasında silahsızlandırılmış bir bölge oluşturulmuştur. Bununla birlikte bir barış antlaşması imzalanmadığı için Kore Yarımadası'nın siyasi bölünmüşlüğü sona ermemiştir (Armaoğlu, 1984).

Kore Savaşı'nın çok uluslu niteliği, bildiride incelenen madalyaların tarihsel bağlamını da belirlemektedir. Elazığlı gazilere ait madalyalarda Birleşmiş Milletler ambleminin, Kore Yarımadası tasvirinin, "KOREA" ibaresinin ve Korece yazıların bulunması; bu nesnelerin yalnızca bireysel askerî hizmeti değil, savaşın uluslararası niteliğini ve sonraki yıllarda oluşturulan Türk-Kore dostluğu hafızasını da temsil ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla madalyaların üzerindeki semboller, Kore Savaşı'nın siyasi ve askerî tarihinin maddi nesneler üzerindeki yansımaları olarak değerlendirilebilir.

2. TÜRKİYE'NİN KORE SAVAŞI'NA KATILMASI VE TÜRK TUGAYI

Türkiye'nin Kore Savaşı'na katılma kararı, İkinci Dünya Savaşı sonrasında şekillenen güvenlik endişeleri ve dış politika yönelimi çerçevesinde değerlendirilmelidir. Savaş sonrasında Sovyetler Birliği'nin Türkiye'den toprak ve Boğazlar rejimi konusunda taleplerde bulunması, Ankara'nın güvenliğini Batılı devletlerle kurulacak ittifakta aramasına neden olmuştur. Türkiye bir taraftan Amerika Birleşik Devletleri ile siyasi ve askerî ilişkilerini geliştirirken diğer taraftan yeni oluşturulan Batı savunma sisteminin içerisinde yer almaya çalışmıştır. Bu nedenle Kore Savaşı, Türkiye açısından yalnızca uzak bir coğrafyada ortaya çıkan askerî çatışma değil, Batı ittifakına bağlılığın ve Birleşmiş Milletler sistemi içerisindeki sorumlulukların fiilen gösterilebileceği bir dış politika sınavı olarak görülmüştür (Doğanay, 2018).

Cumhurbaşkanı Celâl Bayar'ın başkanlığında 25 Temmuz 1950'de toplanan Bakanlar Kurulu, Kore'de görev yapmak üzere 4.500 kişilik silahlı bir Türk birliğinin Birleşmiş Milletler emrine verilmesini kararlaştırmıştır (Eroğlu, 1990). Karar, Türkiye'nin savaşa fiilen katılmasının hukuki ve siyasi temelini oluşturmuş; aynı zamanda Cumhuriyet döneminde ülke sınırları dışına muharip birlik gönderilmesine ilişkin önemli bir tartışmayı başlatmıştır. Hükûmet kararının Türkiye Büyük Millet Meclisine önceden sunulmaması, muhalefet tarafından 1924 Anayasası'nın savaş ilanı ve silahlı kuvvetlerin kullanılmasıyla ilgili hükümleri bakımından eleştirilmiştir. Muhalefetin itirazı yalnızca Kore'ye asker gönderilmesine değil, böylesine önemli bir kararın Meclisin onayı alınmadan verilmesine yönelmiştir. Buna karşılık hükûmet, söz konusu kararın bir savaş ilanı değil, Türkiye'nin Birleşmiş Milletler Antlaşması'ndan doğan yükümlülüklerinin yerine getirilmesi olduğunu savunmuştur (Erhan, 2001).

Türkiye'nin savaşa katılmasının temel gerekçelerinden biri, Birleşmiş Milletlerin kolektif güvenlik sistemine destek verilmesidir. Bununla birlikte kararın, Türkiye'nin NATO'ya girme arayışından bağımsız olmadığı da açıktır. Türkiye daha önce NATO üyeliği için yaptığı başvurudan sonuç alamamış, Kore'ye asker gönderme kararından kısa süre sonra, 1 Ağustos 1950'de üyelik talebini yenilemiştir. Türk hükûmeti, Kore'de üstlenilecek askerî sorumluluğun Türkiye'nin Batı savunma sistemi açısından önemini göstereceğini ve NATO üyeliğine yönelik itirazların aşılmasına katkı sağlayacağını düşünmüştür. Dönemin iktidarı tarafından Kore'de Birleşmiş Milletlere verilecek desteğin NATO üyeliği için önemli bir fırsat olarak değerlendirilmesi, asker gönderme kararının dış politika boyutunu açıkça ortaya koymaktadır (Bağcı, 1990).

Kore'ye gönderilecek birliğin teşkil edilmesine Ağustos 1950'de başlanmıştır. Ankara'da oluşturulan tugayın komutanlığına Tuğgeneral Tahsin Yazıcı getirilmiştir. Tugayın ana muharip unsurunu 241. Piyade Alayı oluşturmuş; birliğe topçu, istihkâm, muhabere, ulaştırma ve sağlık unsurları da dâhil edilmiştir. Başlangıçta 4.500 kişi olarak açıklanan birlik, destek unsurlarının eklenmesiyle daha geniş bir kadroya ulaşmıştır. Tugayın personelinin belirlenmesinde resmî söylemde gönüllülük öne çıkarılmışsa da daha sonra gazilerle yapılan görüşmeler, askerlerin tamamının gönüllü olarak seçilmediğini göstermektedir. Merzifonlu gaziler üzerine yapılan araştırmada görüşülen kişilerden yalnızca biri savaşa gönüllü olarak katıldığını belirtmiş; diğer gaziler birlik seçimi, görevlendirme veya komutan emri sonucunda Kore'ye gönderildiklerini ifade etmiştir (Karaman, 2020). Elazığlı gazilerin anlatılarında da benzer biçimde kura ve birlik esaslı görevlendirmelerin öne çıkması, "Kore'ye giden askerlerin tamamının gönüllü olduğu" yönündeki genelleyici anlatının ihtiyatla değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Hazırlıklarını Ankara'da tamamlayan birlikler demir yoluyla İskenderun'a sevk edilmiş ve buradan Amerikan nakliye gemileriyle Kore'ye hareket etmiştir. Birliğin personel ve malzemesi farklı gemilere bindirilmiş; yaklaşık üç hafta süren deniz yolculuğunun ardından ilk kafileler 17 Ekim 1950'den itibaren Pusan Limanı'na ulaşmıştır. Türk Tugayı buradan trenlerle Taegu bölgesine gönderilmiş; burada Amerikan silahlarının kullanımı, muharebe usulleri ve birlikte görev

yapılacak birliklerin çalışma düzeni hakkında kısa süreli bir eğitimden geçirilmiştir. Tugay daha sonra Amerikan 25. Piyade Tümenine bağlanarak Birleşmiş Milletler kuvvetlerinin komuta sistemi içerisine dâhil edilmiştir (Yazıcı, 1963).

Türk Tugayı'nın Kore'ye ulaştığı dönem, Birleşmiş Milletler kuvvetlerinin kuzeye doğru ilerlediği, ancak Çin Halk Cumhuriyeti'nin savaşa müdahalesiyle askerî dengenin hızla değiştiği bir aşamaya rastlamıştır. Tugay, Kasım 1950'de Kunuri bölgesinde Çin kuvvetlerinin geniş çaplı taarruzuyla karşılaşmıştır. Türk birlikleri; Tokchon, Wawon, Sinnimni ve Kunuri hattında yürüttükleri muharebeler sırasında ağır kayıplar vermekle birlikte, kuşatılma tehlikesi yaşayan Birleşmiş Milletler birliklerinin geri çekilmesine zaman kazandırmıştır. Kunuri Muharebeleri, Türk Tugayı'nın Kore'deki askerî varlığının ulusal ve uluslararası kamuoyunda tanınmasını sağlayan başlıca gelişmelerden biri olmuştur (Haytaoğlu, 2002).

Türkiye'nin savaşa katılma gerekçeleriyle sıradan askerlerin savaşı algılama biçimleri arasında ayrım yapılması gerekmektedir. Devlet ve kamuoyu söyleminde Kore'ye asker gönderilmesi; dünya barışının korunması, komünizmin yayılmasının önlenmesi, Birleşmiş Milletler yükümlülüklerinin yerine getirilmesi ve Türkiye'nin güvenliğinin Kore'den savunulması gibi gerekçelerle açıklanmıştır. Buna karşılık gazilerin önemli bir kısmı, Kore'ye gitmeden önce savaşın sebepleri ve tarafları hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olmadıklarını; kendilerine verilen askerî görevi yerine getirdiklerini belirtmiştir (Karaman, 2020). Dolayısıyla devletin savaşa yüklediği siyasi anlam ile askerin kişisel tecrübesi birbirine eşitlenmemelidir.

Bu ayrım, bildiride incelenen madalyaların yorumlanması bakımından da önemlidir. Birleşmiş Milletler amblemi ve "KOREA" tokası taşıyan hizmet madalyaları, askerlerin çok uluslu bir kuvvet bünyesinde yerine getirdikleri görevin kurumsal karşılığını temsil etmektedir. Kore Cumhuriyeti veya Kore'deki gazi kuruluşları tarafından sonraki yıllarda verilen madalyalar ise aynı askerî hizmetin savaş sonrasında yeniden hatırlandığını ve Türk askerlerinin Kore'nin resmî ve toplumsal hafızasında yaşamaya devam ettiğini göstermektedir. Böylece madalyalar, bir taraftan Türkiye'nin Kore Savaşı'na katılma kararının birey üzerindeki somut sonucunu, diğer taraftan bu hizmetin farklı dönemlerde ve farklı kurumlar tarafından taltif edilme biçimlerini görünür kılmaktadır.

3. ELAZIĞ'IN KORE SAVAŞI HAFIZASI: ŞEHİTLER VE GAZİLER

Türkiye'nin Kore Savaşı'na tugay düzeyinde askerî birliklerle katılması, savaşın etkisini yalnızca ulusal dış politika ve askerî tarih alanlarıyla sınırlı bırakmamıştır. Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen askerlerin Kore'ye gönderilmesi, savaşın şehirler, ilçeler, köyler ve aileler düzeyinde karşılık bulmasına neden olmuştur. Bu bakımdan

Kore Savaşı, Türkiye'nin uluslararası konumunu etkileyen bir askerî müdahale olmasının yanında, yerel kayıplar, gazi anlatıları ve ailelerde korunan hatıra nesneleri üzerinden toplumsal hafızaya yerleşen bir tarihsel olaydır.

Genelkurmay Başkanlığı tarafından yayımlanan *Kore Savaşı Şehitlerinin Biyografileri* adlı eserdeki kayıtlara göre Elazığ'dan Kore Savaşı'na katılarak şehit olan on iki asker tespit edilmiştir. Bunlardan Muzaffer Arca, Halil Dağ, Yaşar Türkmen ve Faik Kırak Birinci Türk Tugayı; Ömer Oğuzhan, Mehmet Özmen ve Sait Taşdemir İkinci Türk Tugayı; Ali Selçuk, Resul Aydın, Ahmet Çankaya, Şahin Karataş ve Faik Yörük ise Üçüncü Türk Tugayı bünyesinde görev yapmıştır (*Kore Savaşı Şehitlerinin Biyografileri, 1992)*. Şehitlerin farklı değiştirme tugaylarında yer alması, Elazığ'dan Kore'ye asker katılımının savaşın yalnızca ilk safhasıyla sınırlı olmadığını; 1950'den 1953'e uzanan farklı görev dönemlerine yayıldığını göstermektedir.

Elazığlı askerlerin kayıpları içerisinde Kunuri ve Vegas muharebeleri özellikle öne çıkmaktadır. İstihkâm Üsteğmen Muzaffer Arca 28 Kasım 1950'de, Onbaşı Yaşar Türkmen ise 29 Kasım 1950'de Kunuri'de şehit olmuştur. Üçüncü Türk Tugayı'nda görev yapan İstihkâm Üstçavuş Ali Selçuk, Çavuş Resul Aydın, Er Şahin Karataş ve Piyade Er Faik Yörük'ün şehadet tarihleri ise 28-29 Mayıs 1953 olarak kaydedilmiş; şehadet yerleri Vegas şeklinde gösterilmiştir (*Kore Savaşı Şehitlerinin Biyografileri, 1992)*. Bu kayıtlar, Elazığlı askerlerin Türk Tugayı'nın ağır kayıplar verdiği başlıca muharebe alanlarında bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte şehitlerin biyografileri ile savaşın yerel hafızadaki yeri, bildirinin merkez konusu değildir. Bu bilgiler, madalyaları incelenen gazilerin hizmet ettikleri tarihsel ve toplumsal çevreyi açıklamak amacıyla kullanılmaktadır.

Bu araştırmanın merkezinde, Elazığ'da yaşayan veya hayatlarının önemli bir bölümünü Elazığ'da geçiren Kore gazileri **Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı** bulunmaktadır. Buradaki "Elazığlı Kore gazileri" ifadesi yalnızca doğum yerine dayalı dar bir sınıflandırmayı değil, gazilerin Elazığ'daki ikametlerini, aile ilişkilerini ve savaş hatıralarının şehirde muhafaza edilmesini ifade etmektedir. Bu ayrım özellikle Bozo Kemerli bakımından önemlidir. Kemerli, mülakatta 1931 yılında Siverek'in Abdülaziz köyünde doğduğunu, daha sonra ailesiyle birlikte Yarımca'ya geldiğini belirtmiştir. Askerlik hizmeti sırasında Kore'ye gidecek personelin kura yoluyla belirlendiğini söyleyen Kemerli, İzmir'den gemiyle hareket ettiklerini ve yolculuğun "25 gün, 25 gece" sürdüğünü aktarmıştır (Bozo Kemerli ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Kemerli'nin anlatısında savaşın siyasi nedenlerinden ziyade askerî görevin yerine getirilmesi, aile özlemi ve yurda dönüş sevinci öne çıkmaktadır.

Mahmut Sarı, 1931 yılında doğduğunu ve Karakoçan'ın Karapınar köyünde yaşadığını belirtmiştir. Askerlik görevini İzmir-Bergama'daki 192. Piyade Alayında sürdürürken bağlı bulunduğu alayın Kore'ye gönderilmek üzere seçildiğini ifade eden Sarı, Kore'de İkinci Tabur Yedinci Bölük bünyesinde görev yaptığını aktarmaktadır. Mülakatında Vegas ve Ağulco olarak adlandırdığı ileri karakollardaki görevlerinden, keşif faaliyetlerinden ve cephede yaşanan çatışmalardan

söz etmektedir (Mahmut Sarı ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Sarı'nın anlatısında Kore'ye katılım, kişisel bir tercih veya macera arayışından çok devlet tarafından verilen askerî bir vazife olarak anlamlandırılmaktadır. Nitekim "Türkiye Cumhuriyeti namına" Kore'ye gittiğini belirten Sarı, vazifeyi "şeref" ve "namus" kavramlarıyla ilişkilendirmiştir (Mahmut Sarı ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Bu yaklaşım, sahip olduğu madalyaların onun açısından yalnızca savaşa katılımı belgeleyen nesneler değil, yerine getirilen görevin tanınmasını sağlayan taltif araçları olduğunu düşündürmektedir.

Kamil Kaya'ya ilişkin bilgiler ise gazinin vefat etmiş olması nedeniyle çocukları ve torunuyla yapılan görüşmelerden elde edilmiştir. Oğlu Aydın Kaya'nın anlatımına göre Kamil Kaya, askerlik hizmeti sırasında Kore'ye gönderilmek üzere seçilmiş; ailesiyle vedalaşabilmek amacıyla kısa süreliğine köyüne gelmiştir. Kaya'nın Kore'ye gidişi, ailesi ve çevredeki köylüler tarafından dönüşü belirsiz, tehlikeli bir yolculuk olarak algılanmış; sağ salim dönmesi için ailesi tarafından adak adanmıştır (Aydın Kaya ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Çocukları tarafından aktarılan anlatılarda Kamil Kaya'nın Kore'deki hizmeti, aile açısından gurur kaynağı olarak hatırlanmakta; vefatından sonra askerî törenle defnedilmesi de gazilik kimliğinin devlet tarafından tanınmasının devamı olarak değerlendirilmektedir (Selahattin Kaya ve Bedri Kaya ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026).

Üç gazinin anlatıları aynı nitelikte değildir. Bozo Kemerli ve Mahmut Sarı'nın bilgileri doğrudan kendi sözlü tanıklıklarına dayanırken, Kamil Kaya'nın savaş tecrübesi aile bireylerinin aktardığı kuşaklar arası anlatılar üzerinden takip edilebilmektedir. Bu nedenle Kamil Kaya hakkında çocukları ve torunu tarafından aktarılan bilgiler, doğrudan gazi anlatısı olarak değil, aile hafızasında korunmuş sözlü tarih verileri olarak ele alınmalıdır. Bu farklılık, çalışmanın sınırlılığı olmakla birlikte aynı zamanda madalyaların hafıza işlevini açıklayan önemli bir veridir. Gazinin vefatından sonra madalyaların çocukları ve torunları tarafından korunması, savaş tecrübesinin doğrudan tanıklıktan ailevi hatırlamaya geçtiğini göstermektedir.

Elazığlı şehitlerin resmî biyografileri ile üç gazinin ve ailelerinin anlatıları birlikte değerlendirildiğinde, Kore Savaşı'nın Elazığ'daki hafızasının iki temel unsur üzerinden şekillendiği görülmektedir: *savaşta hayatını kaybeden askerlerin temsil ettiği şehitlik hafızası ve savaştan dönen askerlerin taşıdığı gazilik hafızası*. Madalyalar ise gazilik hafızasının en görünür maddi unsurları arasındadır. Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait madalyaların incelenmesi, yalnızca üç askerin Kore'deki hizmetini tanıtmayacak; aynı zamanda uluslararası bir savaşın Elazığ'daki ailelere, yerel topluma ve sonraki kuşaklara hangi nesneler aracılığıyla aktarıldığını da ortaya koyacaktır.

4. TALTİF, MADALYA VE MADDİ HAFIZA

Madalya, belirli bir hizmetin, başarının veya fedakârlığın yetkili bir makam tarafından tanındığını gösteren sembolik bir taltif aracıdır. Askerî bağlamda madalya verilmesi, yalnızca kişinin gerçekleştirdiği hizmetin ödüllendirilmesi anlamına gelmez; aynı zamanda devletin veya uluslararası kuruluşun hangi eylemleri değerli ve hatırlanmaya layık gördüğünü kamuya ilan eder. Bu yönüyle madalya, bireysel askerî hizmet ile kurumsal hafıza arasında bağ kurmaktadır. Madalyanın üzerindeki yazılar, figürler, armalar, tarihler ve kurdele renkleri, taltif edilen hizmetin hangi siyasi ve askerî çerçeve içerisinde anlamlandırıldığını gösteren görsel bir dil meydana getirmektedir.

Kore Savaşı'na katılan askerlere verilen madalyalar, savaşın çok uluslu yapısını yansıtmaktadır. Türk askerleri, Türkiye Cumhuriyeti'nin kararıyla Kore'ye gönderilmiş olmakla birlikte, Birleşmiş Milletler kuvvetlerinin komuta sistemi içerisinde ve çoğunlukla Amerikan birlikleriyle koordineli biçimde görev yapmıştır. Bu nedenle gazilerin koleksiyonlarında farklı devletler ve kuruluşlar tarafından verilen madalyalarla karşılaşılmaktadır. Birleşmiş Milletler tarafından belirli hizmet şartlarını yerine getiren askerlere verilen madalyalar, uluslararası askerî hizmeti belgelendirirken; Kore Cumhuriyeti veya Kore'de faaliyet gösteren gazi teşkilatları tarafından daha sonraki yıllarda sunulan madalyalar, aynı hizmetin savaş sonrasında yeniden hatırlanmasını ve takdir edilmesini temsil etmektedir.

Bu noktada **resmî hizmet madalyası** ile **hatıra veya takdir madalyası** arasında ayrım yapılması gerekmektedir. Resmî hizmet madalyası, yetkili bir devlet veya uluslararası kuruluş tarafından önceden belirlenmiş görev, süre ve katılım şartlarına göre verilmektedir. Bu tür madalyalar, sahibinin belirli bir askerî harekâta veya uluslararası göreve katıldığını kurumsal düzeyde belgelemektedir. Hatıra veya takdir madalyaları ise savaşın yıldönümleri, gazi buluşmaları, dostluk programları ya da resmî ziyaretler sırasında, daha önce yerine getirilmiş bir hizmeti anmak ve gazilere minnettarlığı göstermek amacıyla verilebilmektedir. Dolayısıyla hatıra madalyasının savaş sırasında değil, aradan uzun yıllar geçtikten sonra verilmiş olması mümkündür. Bu durum, onun tarihsel değerini ortadan kaldırmamakta; ancak veriliş tarihi ve kurumsal statüsünün resmî hizmet madalyasından farklı değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Pierre Nora'nın hafıza mekânlarına ilişkin yaklaşımı da hafızanın yalnızca coğrafi alanlarda değil, maddi, sembolik ve işlevsel özellikler taşıyan nesnelerde somutlaşabileceğini göstermektedir. Nora, bir hafıza unsurunun aynı anda maddi bir varlığa, sembolik bir anlama ve hatırlamayı sürdüren işlevsel bir niteliğe sahip olabileceğini belirtmektedir (Nora, 1989). Bu bakımdan bir gazinin madalyası küçük ölçekli ve taşınabilir bir hafıza mekânı olarak değerlendirilebilir. Madalya maddidir; çünkü fiziksel olarak korunmakta ve kuşaktan kuşağa aktarılmaktadır. Semboliktir; çünkü gazilik, fedakârlık, askerî görev ve devletler arası dostluk gibi anlamları temsil etmektedir. İşlevseldir; çünkü görüldüğünde veya aile bireyleri tarafından gösterildiğinde gazinin hayat hikâyesinin yeniden anlatılmasını sağlamaktadır.

Madalya ile sahibi arasındaki ilişkinin sona ermemesi, nesnenin kişisel hafıza içerisindeki yerini güçlendirmektedir. Gazinin madalyayı törenlerde takması, onu gazilik kimliğinin kamusal bir işareti hâline getirirken; gündelik hayatta bir kutuda, çekmecede veya özel bir köşede saklaması nesneye daha mahrem bir hatıra niteliği kazandırmaktadır. Gazinin vefatından sonra madalyanın çocukları veya torunları tarafından korunmasıyla nesnenin anlamı yeniden değişmektedir. Bu aşamada madalya, sahibinin doğrudan savaş tecrübesinden aile üyelerinin devraldığı anlatıya geçmekte; bireysel hatıradan kuşaklar arası hafızaya dönüşmektedir.

Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait madalyaların günümüze ulaşması da bu dönüşüm çerçevesinde değerlendirilmelidir. Madalyaların fotoğraflanması, üzerlerindeki yazı ve sembollerin kaydedilmesi ve sahipleriyle ilişkilendirilmesi, yalnızca bir koleksiyonun kataloglanması değildir. Bu işlem aynı zamanda gazilerin Kore'deki hizmetlerinin, ailelerinin gazilik algısının ve Elazığ'ın Kore Savaşı'yla kurduğu tarihsel bağın belgelenmesini sağlamaktadır. Özellikle Kamil Kaya'nın vefatından sonra madalyalarının ailesi tarafından korunması, taltif nesnesinin gazinin şahsi mülkiyetinden çıkarak aile mirasına dönüşmesini açık biçimde göstermektedir.

5. ELAZIĞLI KORE GAZİLERİNİN MADALYALARI

Bu bölümde Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait madalyalar kişi merkezli olarak incelenmektedir. Değerlendirmede madalyaların mevcut fiziksel görünümü, ön ve arka yüzlerindeki sembol ve yazılar, kurdele özellikleri, veren kurum ve gazilerin hizmet hayatıyla ilişkisi esas alınmıştır. Ayrıca resmî hizmet madalyaları ile savaşın ardından verilen hatıra ve takdir madalyaları birbirinden ayrılmıştır.

5.1. Bozo Kemerli'ye Ait Madalya

Bozo Kemerli'ye ait koleksiyonda bulunan madalya, altın sarısı görünümündeki dairesel bir madalyon ile kırmızı, sarı, koyu kahverengi, beyaz, açık mavi ve turuncu renklerden oluşan dikey şeritli bir kurdeleden meydana gelmektedir. Kurdeleyi taşıyan dikdörtgen biçimli üst parça mavi zeminlidir ve üzerinde büyük harflerle "Korean War Veteran" yazılıdır.

Madalyanın ön yüzünde merkezî bir arma, bu armanın çevresinde Korece yazılar, iki yanda yıldızlar ve alt bölümde defne dalları bulunmaktadır. Merkezdeki kırmızı-mavi renkli *taegeuk* motifi, Güney Kore'nin millî sembolizmine gönderme yapmaktadır. Madalyanın arka yüzünde Korece **"대한민국"**, yani "Kore Cumhuriyeti" ibaresi ile İngilizce **"The Korean Veterans Association"** yazısı yer almaktadır. Bu kitabe, madalyanın veren veya takdim sürecini yürüten kurumla ilgili doğrudan maddi kanıt sunmaktadır.

Fotoğraf 1. Bozo Kemerli'ye ait Müttefik Kore Savaşı Gazileri hatıra/takdir madalyasının ön ve arka yüzü.

Literatürde bu tasarıma sahip örnekler **"Allied Korean War Veterans Medal"**, yani "Müttefik Kore Savaşı Gazileri Madalyası" adıyla tanımlanmaktadır. Madalyanın Kore Gaziler Derneğinin katıldığı gazi buluşmaları ve Kore'yi yeniden ziyaret programları sırasında müttefik ülke gazilerine takdim edilen bir hatıra veya takdir madalyası olduğu belirtilmektedir (Ingraham, 1993).

Bozo Kemerli'nin mülakatında gazilik statüsünü kendi talebiyle elde edilmiş bir unvan olarak değil, devlet tarafından verilen bir hakkın ve tanınmanın sonucu olarak değerlendirdiği görülmektedir. Kemerli'nin "Devlet bize verdi, kendimiz almadık" şeklindeki ifadesi doğrudan madalya hakkında söylenmemiş olsa da gaziliği kurumsal bir taltif ve tanıma biçimi olarak algıladığını göstermektedir (Bozo Kemerli ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Kore Gaziler Derneği tarafından verilen madalya da bu kurumsal tanınmanın uluslararası boyutunu temsil etmektedir.

5.2. Kamil Kaya'ya Ait Madalyalar

Kamil Kaya'nın aile koleksiyonunda üç madalya bulunmaktadır. Bunlardan ilki Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyası, ikincisi Bozo Kemerli örneğiyle aynı tasarıma sahip Kore Gaziler Derneği madalyası, üçüncüsü ise ikinci madalyanın minyatürüdür. Aynı koleksiyonda resmî hizmet madalyasıyla sonradan verilmiş hatıra/takdir madalyasının bir arada bulunması, Kamil Kaya'nın askerî hizmetinin farklı tarihlerde ve farklı kurumlar tarafından taltif edildiğini göstermektedir.

Kamil Kaya'nın ilk madalyası, açık mavi ve beyaz dikey şeritlerden oluşan kurdelesi ve üzerinde **"KOREA"** yazılı tokası sayesinde güvenle tanımlanabilmektedir. Dairesel madalyonun ön yüzünde, Kuzey Kutbu merkezli dünya haritasını çevreleyen zeytin dallarından oluşan Birleşmiş Milletler amblemi bulunmaktadır. Bu tasarım, Birleşmiş Milletler kuvvetleri bünyesinde Kore'de yerine getirilen uluslararası askerî hizmeti temsil etmektedir.

Bu madalya, Kamil Kaya'nın Kore'deki fiilî askerî hizmetini belgeleyen resmî nitelikte bir uluslararası hizmet madalyasıdır. Kaya'nın çocukları ve torunuyla gerçekleştirilen görüşmelerde onun ikinci kafileyle Kore'ye gittiği, uzun bir deniz yolculuğunun ardından bölgeye ulaştığı ve yaklaşık iki yıl görev yaptığı aktarılmaktadır (Aydın Kaya ve Özgür Kaya ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Bununla birlikte madalyanın standart biçimi, Kaya'nın Birleşmiş Milletler kuvvetleri içerisindeki hizmetinin maddi kanıtlarından biridir.

Fotoğraf 2. Kamil Kaya'ya ait Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyasının ön yüzü.

Kamil Kaya'nın ikinci madalyası, biçim ve semboller bakımından Bozo Kemerli'ye ait madalyayla aynı özellikleri taşımaktadır. Üst bölümde mavi zemin üzerine **"Korean War Veteran"** ibaresi, çok renkli dikey şeritlerden oluşan kurdele ve altın sarısı görünümlü dairesel madalyon bulunmaktadır. Madalyonun ön yüzünde Korece yazılar, merkezî arma, *taegeuk* motifi ve defne dalları görülmektedir.

Fotoğraf 3. Kamil Kaya'ya ait Müttefik Kore Savaşı Gazileri hatıra/takdir madalyasının ön yüzü.

Kamil Kaya'nın koleksiyonundaki üçüncü nesne, "Korean War Veteran" madalyasının küçük boyutlu örneğidir. Kurdele renkleri, üstteki dikdörtgen taşıyıcı bölüm ve dairesel madalyon üzerindeki semboller büyük madalyayla uyumludur. Boyut dışında temel tasarım özelliklerinin korunması, bu parçanın bağımsız bir madalya türü değil, büyük örneğin minyatürü olduğunu göstermektedir.

Minyatür madalyalar genellikle asıl madalyanın taşınmasının uygun olmadığı kıyafetlerde veya tören düzenlerinde kullanılmaktadır. Büyük madalya ile minyatürünün aile koleksiyonunda birlikte korunması, gazinin kamusal törenlerdeki temsilinin ve madalyanın aile tarafından muhafaza edilmesinin maddi göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Fotoğraf 4. Kamil Kaya'ya ait Müttefik Kore Savaşı Gazileri madalyasının minyatürü.

5.3. Mahmut Sarı'ya Ait Madalyalar

Mahmut Sarı'nın koleksiyonunda iki farklı hizmet madalyası bulunmaktadır. Bunlardan biri Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyasının Türkçe kitabeli örneği, diğeri ise Güney Kore tarafından verilen 6.25 Olayı/Savaşı Katılım Madalyasıdır. Sarı'nın koleksiyonu, aynı askerî hizmetin hem Birleşmiş Milletler hem de Kore Cumhuriyeti tarafından tanındığını gösteren iki resmî madalyayı bir araya getirmesi bakımından önemlidir.

Mahmut Sarı'ya ait ilk madalyanın ön yüzünde zeytin dallarıyla çevrelenen Birleşmiş Milletler amblemi bulunmaktadır. Arka yüzde ise büyük harflerle şu Türkçe kitabe yer almaktadır: "*Birleşmiş Milletler Andlaşması prensiplerinin müdafaası uğrunda yapılan hizmet için*" Bu ifade, Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyasının standart arka yüz kitabesinin Türkçe karşılığıdır. Madalyanın farklı dillere sahip örnekleri, savaşa asker gönderen ülkelerin kullanımına göre hazırlanmıştır. Türkçe kitabeli örnek de Türk askerlerinin Birleşmiş Milletler kuvvetleri içerisindeki hizmetini belgelemektedir.

Fotoğraf 5. Mahmut Sarı'ya ait Türkçe kitabeli Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyasının ön ve arka yüzü.

Fotoğraftaki madalya, yaş ve kullanıma bağlı aşınma izleri taşımaktadır. Madalyon ve askı düzeneğinde renk değişimleri, yüzey kayıpları ve oksitlenmeye benzer izler görülmektedir. Mevcut kurdele altın sarısı veya turuncuya yaklaşan tek renkli bir görünüme sahiptir ve "KOREA" tokası bulunmamaktadır. Bu kurdele, Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyasının standart açık mavi-beyaz şeritli kurdelesiyle uyuşmamaktadır. Kurdele ve askı düzeninin sonradan değiştirilmiş, onarılmış veya farklı bir parçayla birleştirilmiş olması mümkündür.

Mahmut Sarı'nın anlatısında Kore'de bulunmak, devlet adına yerine getirilen bir vazife olarak açıklanmaktadır. Sarı'nın "Ben Türkiye Cumhuriyeti namına gittim. Vazifemi yaptım" şeklindeki ifadesi, madalyanın üzerindeki kurumsal kitabe ile gazinin kişisel görev anlayışı arasında doğrudan bir anlam ilişkisi kurulmasına imkân vermektedir (Mahmut Sarı ile Sözlü Tarih Mülakatı, 2026). Birleşmiş Milletler madalyası uluslararası bir hizmeti taltif ederken Sarı, aynı hizmeti Türkiye Cumhuriyeti adına üstlenilmiş bir görev olarak hatırlamaktadır.

Mahmut Sarı'ya ait ikinci örnek, Güney Kore tarafından Kore Savaşı'na katılan personele verilen **Kore Savaşı Hizmet Madalyasıdır**. Madalya, ilk adıyla **"6.25 Olayı Katılım Madalyası"** olarak da bilinmektedir. "6.25" ifadesi, Kuzey Kore saldırısının başladığı 25 Haziran 1950 tarihine işaret etmektedir.

Fotoğraf 6. Mahmut Sarı'ya ait Kore Cumhuriyeti Kore Savaşı Hizmet Madalyasının ön ve arka yüzü.

Dairesel madalyonun ön yüzünde defne dallarıyla çevrelenmiş iki çapraz mühimmat figürü, Kore Yarımadası'nın kabartma görünümü ve küresel çizgiler bulunmaktadır. Çapraz mühimmat askerî mücadeleyi, Kore Yarımadası savaşın coğrafyasını, çevredeki defne dalları ise hizmetin taltif edilmesini temsil etmektedir. Arka yüzde dikey biçimde **"6.25 사변 종군기장"** karşılığındaki kitabe ile alt kısımda **"대한민국"**, yani "Kore Cumhuriyeti" ibaresi bulunmaktadır. Güney Kore Ulusal Müze ağına bağlı e-Museum kataloğu da aynı tasarımı, Kore Savaşı'na katılan yerli ve yabancı askerî personele verilen katılım/hizmet madalyası olarak tanımlamaktadır (Republic of Korea e-Museum, 2026).

Yuvarlak ve çapraz mühimmatlı bu tasarımın 14 Nisan 1954 tarihli düzenlemeyle kabul edildiği belirtilmektedir (Korean War Service Medal, 2026). Dolayısıyla madalya, Sarı'nın Kore'de görev yaptığı sırada taşıdığı anlık bir muharebe nişanı değil, savaş hizmetini tanımak amacıyla savaşın son safhasında veya sonrasında düzenlenen resmî bir hizmet madalyasıdır. Bu özellik, madalyanın geriye dönük taltif niteliğini göstermektedir.

Fotoğraftaki kurdele kırmızı zemin üzerinde ince sarı veya altın renkli dikey çizgilere sahiptir. Buna karşılık Güney Kore müze kayıtlarında bu madalya için sarı zeminli ve iki yanında ince kırmızı çizgiler bulunan bir kurdele tarif edilmektedir (Republic of Korea e-Museum, 2026). Bu farklılık, kurdelenin zaman içinde değiştirilmiş veya yeniden düzenlenmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Üç gaziye ait koleksiyonlar birlikte değerlendirildiğinde üç ayrı taltif katmanı ortaya çıkmaktadır. Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'daki Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyaları, çok uluslu kuvvet içerisindeki fiilî görevi belgelemektedir. Mahmut Sarı'ya ait Güney Kore Kore Savaşı Hizmet Madalyası, aynı hizmetin savaşa ev sahipliği yapan devlet tarafından tanındığını göstermektedir. Bozo Kemerli ve Kamil Kaya'nın "Korean War Veteran" ibareli madalyaları ise savaş hizmetinin daha sonraki yıllarda gazi teşkilatları aracılığıyla yeniden hatırlanmasını temsil

etmektedir. Böylece madalya koleksiyonları, Kore'de yerine getirilen askerî görevden savaş sonrası anma ve dostluk faaliyetlerine uzanan farklı tarihsel dönemleri aynı maddi bütünlük içerisinde bir araya getirmektedir.

SONUÇ

Türkiye'nin Kore Savaşı'na katılması, Cumhuriyet döneminin dış politika yönelimi ve askerî tarihi bakımından önemli bir dönüm noktasıdır. Birleşmiş Milletlerin çağrısı üzerine alınan asker gönderme kararı, Türkiye'nin Batı ittifakı içerisinde yer alma iradesini somutlaştırmış; Türk Tugayı'nın Kore'deki faaliyetleri ise bu siyasi tercihin askerî alandaki karşılığını oluşturmuştur. Bununla birlikte savaşın tarihsel anlamı yalnızca hükûmet kararları, diplomatik gelişmeler ve muharebeler üzerinden açıklanamaz. Kore'ye gönderilen askerlerin yaşadıkları, savaş sonrasında taşıdıkları gazilik kimliği ve ailelerinde korunan şahsi eşyalar, savaşın bireysel ve yerel hafızadaki devamlılığını göstermektedir.

Bu çalışma, Elazığlı Kore gazileri Bozo Kemerli, Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait madalyaları kurumsal statüleri, fiziksel özellikleri, üzerlerindeki semboller ve zaman içerisinde kazandıkları anlamlar bakımından incelemiştir. İnceleme sonucunda, üç gaziye ait koleksiyonlarda aynı nitelikte olmayan madalyaların bulunduğu belirlenmiştir. Kamil Kaya ve Mahmut Sarı'ya ait Birleşmiş Milletler Kore Hizmet madalyaları, gazilerin çok uluslu Birleşmiş Milletler kuvveti içerisindeki görevlerini belgeleyen resmî hizmet madalyalarıdır. Mahmut Sarı'ya ait Kore Savaşı Hizmet Madalyası, aynı askerî hizmetin Kore Cumhuriyeti tarafından da tanındığını göstermektedir. Bozo Kemerli ve Kamil Kaya'ya ait "Korean War Veteran" ibareli örnekler ise savaş sırasındaki hizmet şartlarına bağlı birer kampanya madalyasından ziyade, Kore Gaziler Derneği tarafından sonraki yıllarda sunulmuş hatıra ve takdir madalyalarıdır. Kamil Kaya'nın koleksiyonunda aynı madalyanın minyatürünün de bulunması, madalyaların törenlerde taşınmasına ve gazilik kimliğinin kamusal olarak sergilenmesine ilişkin ayrı bir kullanım biçimine işaret etmektedir.

Bu farklılıklar, gazilerin üzerinde veya aile koleksiyonlarında bulunan bütün nesnelerin genel biçimde "Kore madalyası" olarak adlandırılmasının bilimsel açıdan yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Madalyaların veren kurum, veriliş amacı ve takdim tarihi bakımından sınıflandırılması gerekmektedir. Resmî hizmet madalyası, devlet veya uluslararası kuruluş tarafından belirlenmiş şartlara bağlı olarak verilirken; hatıra ve takdir madalyaları geçmişteki hizmeti anmak ve gazilere duyulan minnettarlığı göstermek amacıyla daha sonraki tarihlerde sunulabilmektedir. Dolayısıyla bir madalyanın savaşın ardından verilmiş olması onun tarihsel değerini azaltmamakta, fakat temsil ettiği taltif biçimini değiştirmektedir.

Madalyaların mevcut fiziksel durumları da nesnelerin zaman içindeki serüvenine ilişkin bilgi vermektedir. Kamil Kaya'ya ait Birleşmiş Milletler Kore Hizmet Madalyası, açık mavi-beyaz çizgili kurdelesi ve "KOREA" tokasıyla standart tasarımını büyük ölçüde korumuştur. Mahmut Sarı'ya ait aynı tür madalyanın Türkçe kitabeli madalyonu ise güvenle tanımlanabilmekle birlikte mevcut kurdelesi ve askı düzeneği standart örnekten farklıdır. Benzer biçimde Mahmut Sarı'ya ait Güney Kore Kore Savaşı Hizmet Madalyasının kurdelesi de müze kayıtlarındaki standart tarifle

uyuşmamaktadır. Bu farklılıklar, kurdelelerin zaman içerisinde değiştirilmiş veya onarılmış olabileceğini düşündürmektedir.

Sözlü tarih kayıtları, madalyaların sahipleri tarafından nasıl anlamlandırıldığını bütünüyle açıklamasa da gazilerin görev ve taltif anlayışını ortaya koymaktadır. Bozo Kemerli'nin gazilik statüsünü devlet tarafından verilen bir hak olarak değerlendirmesi, Mahmut Sarı'nın Kore'deki hizmetini Türkiye Cumhuriyeti adına yerine getirilmiş bir vazife şeklinde tanımlaması ve Kamil Kaya'nın çocuklarının babalarının gaziliğini aile açısından bir gurur kaynağı olarak görmesi, resmî taltif ile kişisel ve ailevi anlam arasında bağ kurmaktadır.

Kamil Kaya'nın vefatından sonra madalyalarının çocukları ve torunları tarafından korunması, taltif nesnesinin kişisel mülkiyetten aile mirasına geçişini açık biçimde göstermektedir. Gazinin hayatta olduğu dönemde askerî hizmeti ve kamusal gazilik kimliğini temsil eden madalya, onun vefatından sonra aile üyelerinin geçmişle ilişki kurmasını sağlayan maddi bir hafıza unsuruna dönüşmektedir. Bozo Kemerli ve Mahmut Sarı'ya ait madalyaların kayıt altına alınması da bu nesnelerin kaybolma veya sahipleriyle ilişkilerinin unutulması riskine karşı tarihsel bilginin korunmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak incelenen madalyalar, yalnızca askerî hizmet karşılığında verilmiş metal nesneler değildir. Bunlar Türkiye'nin Kore Savaşı'na katılımını, Birleşmiş Milletler bünyesindeki çok uluslu görevi, Kore Cumhuriyeti'nin müttefik askerlere yönelik minnettarlığını, gazilerin vazife anlayışını ve ailelerin gazilik hatırasını aynı maddi varlık üzerinde bir araya getirmektedir. Bu nedenle madalyaların fotoğraflanması, kitabelerinin okunması, kurumsal statülerinin belirlenmesi ve sahiplerinin anlatılarıyla birlikte belgelenmesi, Elazığ'ın Kore Savaşı hafızasının korunması bakımından önem taşımaktadır. Çalışmanın ortaya koyduğu resmî taltiften kişisel hatıraya ve aile mirasına uzanan dönüşüm, savaş tarihinin yalnızca cephelerde ve resmî belgelerde değil, ailelerin koruduğu maddi nesnelerde de yaşamaya devam ettiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Madalyalar; Bozo Kemerli, Mahmut Sarı ve Kamil Kaya koleksiyonları.

Bozo Kemerli, Mahmut Sarı ve Kamil Kaya'nın Yakınları ile Sözlü Tarih Mülakatı Kayıt ve Çözümleme Metni, (2026). Elazığ.

A Hanbook of Korea, (1993). Korean Overseas İnformation Service, Seoul/Kore.

Armaoğlu, F. (1984). *20.Yüzyıl Siyasi Tarihi 1914-1980*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, Ankara.

Bağcı, H. (1990). *Demokrat Parti Dönemi Dış Politikası*, İmge Kitapevi, Ankara.

Çavdar, T. (2000). *Türkiye'nin Demokrasi Tarihi 1950-1995*, İmge Kitapevi, Ankara.

Çelik, A. (2020). *Soğuk Savaş'ın Oluşum Süreci ve Türkiye'ye Etkileri (1939-1952)*, Hiper Yayın, İstanbul.

Doğanay, R. (2018). "Tarihî Tanık Olarak Antalyalı Kore Gazileri", *Antalya Kitabı 1: Selçukludan Cumhuriyet'e Sosyal Bilimlerde Antalya*, Antalya Büyükşehir Belediyesi Basımevi, Antalya, 2018.

Erhan, Ç. (2001). "ABD ve NATO'yla İlişkiler 1945-1960", Türk Dış Politikası, Kurtuluş Savaşından Bugüne Olgular, Belgeler, Yorumlar, C. 1(1919-1980), Ed. Baskın Oran, İletişim Yayınları, İstanbul.

Eroğul, C. (1990). *Demokrat Parti (Tarihi ve İdeolojisi)*, İmge Yayınları, Ankara, 1990.

Haytoğlu, E. (2002). "Kore Savaşı ve Denizli Kore Şehitleri İle Gazileri", *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, S. 11.

Ingraham, K. R. (1993). *Honors, Medals and Awards of the Korean War, 1950-1953*, Binghamton, NY: Infrared Press.

Kahraman, N. (2020). "Kore Gazileri Üzerine Nitel Bir Çalışma: Merzifonlu Kore Gazileri", *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi,* S. 15, 2020.

Kopytoff, I. (1986). "The Cultural Biography of Things: Commoditization as Process", ed. Arjun Appadurai, *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*, Cambridge University Press.

Kore Savaşı Şehitlerinin Biyografileri, (1992). Genelkurmay Basımevi, Ankara.

Korea, Past and Present, (1972). Kwongmyong Puplishing Company, Seolu/Korea.

KoreanMedals.com, Güney Kore madalyalarına ilişkin tarihsel mevzuat ve katalog incelemesi, Erişim 4 Eylül 2026.

Nora, P. (1989). "Between Memory and History: Les Lieux de Mémoire", *Representations,* No: 26, Spring-1989.

Oğuz, A. (2012). "Sözlü Tarih Çerçevesinde Kore Gazilerinin Kore Savaşı'yla İlgili Hatıraları" *Milli Folklor Uluslararası Kültür Aratırmaları Dergisi*, S. 94, 2012.

Republic of Korea e-Museum, "6.25 Savaşı Katılım Madalyası" koleksiyon kaydı, Erişim 4 Eylül 2026.

Yazıcı, T. (1963). *Kore Birinci Türk Tugayında Hatıralarım*, Ülkü Basımevi, İstanbul, 1963.

Bir Mahmetçiğin Kaleminden Kıbrıs Barış Harekâtı; Elazığlı Gazi Yaşar Sürgeç'in Cephe Günlüğü

Ahmet ÇELİK[1]

[1] ahmetcelik2@firat.edu.tr; Fırat Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Tarih Bölümü, Elazığ / Türkiye.

Özet

Türkiye'nin yakın tarihinde önemli bir yeri olan Kıbrıs Barış Harekâtı üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak müdahalenin siyasi ve hukuki dayanaklarına, siyasi, askeri ve diplomatik sonuçlarına ve askeri safhalarına odaklanmaktadır. Buna karşılık harekâta katılan askerlerin cephe deneyimleri ile bu deneyimlerin sonraki yıllarda nasıl hatırlandığı nispeten daha sınırlı ölçüde incelenmiştir.

Bu çalışma, Kıbrıs Barış Harekâtı'na katılan Elazığlı Gazi Yaşar Sürgeç'in el yazması günlüğünden hareketle savaşın bir piyade askeri tarafından nasıl yaşandığını ve anlamlandırıldığını incelemektedir. Araştırmanın temel kaynağı, Gazi Yaşar Sürgeç tarafından kaleme alınan, savaş anılarının yazıldığı günlüktür. Günlükte Kahramanmaraş'tan hareket, Mersin'e intikal, deniz yolculuğu, Girne'ye çıkış, uzun yürüyüşler, iaşe sorunları, mevzi hayatı, nöbet, çatışma, yaralanma ve ölüm olayları anlatılmaktadır. Bunun yanında, harekâttan yarım asır sonra Gazi Sürgeç ile yapılan sözlü mülakatta çalışmanın temel kaynağını oluşturmaktadır.

Çalışmada mikro tarih yaklaşımı, tarihsel kaynak analizi ve tematik içerik analizi birlikte kullanılmıştır. Gazinin günlüğündeki bulgular, açlık, susuzluk, yorgunluk ve belirsizliğin askeri çatışmalar kadar belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Arkadaş dayanışması, mizah, dua, şehitlik ve gazilik düşüncesi savaş şartlarına karşı dayanaklılığı desteklerken; Türk tarihine, vatana ve bayrağa yapılan göndermeler harekâtı milli ve tarihsel bir devamlılık içerisinde anlamlandırmaktadır.

Çalışma, Kıbrıs Barış Harekâtı'nın operasyonel tarihini tekrarlamak yerine savaşın gündelik, bedensel, duygusal ve hafızaya ilişkin boyutlarını aynı kişiye ait yazılı ve sözlü tanıklıklar üzerinden ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kıbrıs Barış Harekâtı, Gazi Yaşar Sürgeç, Asker Günlüğü, Savaş Hafızası

THE CYPRUS PEACE OPERATION THROUGH THE PEN OF A TURKISH SOLDIER: THE FRONTLINE DIARY OF YAŞAR SÜRGEÇ, A VETERAN FROM ELAZIĞ

Abstract

Numerous studies have examined the Cyprus Peace Operation, which occupies an important place in Türkiye's recent history. These studies have predominantly focused on the political and legal foundations of the intervention, its political, military, and diplomatic consequences, and its operational phases. By contrast, the frontline experiences of the soldiers who participated in the operation and the ways in which these experiences were remembered in subsequent years have received comparatively limited scholarly attention.

Drawing on the handwritten diary of Yaşar Sürgeç, a veteran from Elazığ who participated in the Cyprus Peace Operation, this study examines how the conflict was experienced and interpreted by an infantry soldier. The principal source of the research is Sürgeç's diary, in which he recorded his wartime experiences. The diary recounts his departure from Kahramanmaraş, deployment to Mersin, sea voyage, landing at Kyrenia, long marches, supply problems, life in defensive positions, guard duty, combat, injuries, and deaths. An oral history interview conducted with Sürgeç half a century after the operation constitutes another principal source of the study.

The study combines a microhistorical approach with historical source analysis and thematic content analysis. The diary demonstrates that hunger, thirst, exhaustion, and uncertainty played roles as decisive as armed combat in shaping the soldier's wartime experience. While comradeship, humour, prayer, and the ideals of martyrdom and veteranhood strengthened resilience under wartime conditions, references to Turkish history, the homeland, and the national flag situated the operation within a broader sense of national and historical continuity.

Rather than reiterating the operational history of the Cyprus Peace Operation, this study reveals the everyday, corporeal, emotional, and memorial dimensions of war through the written and oral testimonies of the same individual.

Keywords: Cyprus Peace Operation, Veteran Yaşar Sürgeç, Soldier's Diary, War Memory

GİRİŞ

Kıbrıs Barış Harekâtı, Türkiye'nin yakın dönem tarihinde askeri sonuçlarının yanı sıra siyasi, diplomatik ve toplumsal etkileri bulunan önemli gelişmelerden biridir. 15 Temmuz 1974 tarihinde Nikos Sampson öncülüğünde

gerçekleştirilen darbe, adadaki anayasal düzeni ortadan kaldırmış ve ENOSİS'in gerçekleştirilmesi ihtimalini güçlendirmişti. Türkiye, diğer garantör devletlerle ortak bir müdahale imkânının oluşmaması üzerine Garanti Antlaşması'ndan doğan yetkilerine dayanarak, 20 Temmuz 1974 tarihinde harekâtı başlatmıştır. 15 Temmuz 1974 sabahı Nikos Sampson'un başını çektiği Rum Milli Muhafız Ordusuna bağlı, Rum birlikleri 3 tankla Cumhurbaşkanlığı sarayına saldırmıştır. Bu darbe girişiminin sonucunda kritik bölgeler isyancıların eline geçince, Makarios Ada'dan kaçmıştır. Gelişen bu durum karşısında adadaki Türk direnişini örgütleyen liderlerden biri olan Rauf Denktaş, Türkiye'nin duruma müdahale etmesini istemiştir (Kapucu, 2020). İki aşamada yürütülen harekât, Kıbrıs'taki askeri ve siyasi dengeleri değiştirmekle kalmamış; Türkiye'nin dış politikası, Türk-Yunan ilişkileri ve Türk-Amerikan ilişkileri üzerinde de uzun süreli sonuçlar doğurmuştur (Dolanbay, 2019).

Harekât üzerine oluşan literatür; karar alma süreci, diplomatik görüşmeler, çıkarma ve hava indirme faaliyetleri, birliklerin sevk ve idaresi, harekâtın hukuki dayanakları ve uluslararası sonuçları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte Kıbrıs Barış Harekâtı'nın tarih yazımında resmî askerî tarihten kaynaklanan bütünlüklü bir anlatı henüz oluşmamıştır. Harekâta katılan askerlerin tuttuğu not ve hatıra defterleri bu literatür içerisinde yer almakla birlikte söz konusu metinlerin önemli bir kısmı yayımlanmamış, yayımlananların bir bölümü ise kaynak eleştirisi ve karşılaştırmalı incelemeye tabi tutulmadan kahramanlık anlatıları şeklinde sunulmuştur. Nitekim er ve erbaşlar arasında hatıra defteri tutmanın yaygın olduğu, Kıbrıs'a gönderilecekleri anlaşıldıktan sonra çok sayıda askerin bu tür defterler tutmaya başladığı ifade edilmektedir (Güvenç, 2022). Buna rağmen sıradan askerlerin açlık, susuzluk, yorgunluk, korku, arkadaşlık, komutanlarla ilişkiler, mevzi hayatı ve savaş şiddeti gibi gündelik deneyimleri, harekâtın siyasi ve operasyonel boyutlarına kıyasla daha az incelenmiştir.

Bu çalışma, Kıbrıs Barış Harekâtı'na katılan Elazığlı Gazi Yaşar Sürgeç'in 88 sayfadan oluşan yayımlanmamış el yazması günlüğünü merkeze almaktadır. Metinde Kahramanmaraş'tan hareket, Osmaniye, Adana ve Mersin üzerinden gerçekleştirilen intikal, çıkarma gemisine biniş, deniz yolculuğu, Girne'ye çıkış, birliklerin ilerleyişi, iaşe sorunları, mevzi hayatı, nöbetler, çatışmalar, yaralanmalar ve ölümler anlatılmaktadır(Sürgeç, 1974). Günlüğün özgün nüshasının incelenmesi, yalnızca metin içeriğinin değil; sayfa düzeni, yazı biçimi, düzeltmeler ve anlatının maddi özelliklerinin de kaynak eleştirisi kapsamında değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Araştırmanın amacı, Yaşar Sürgeç'in anlatısından hareketle Kıbrıs Barış Harekâtı'nın bir piyade eri tarafından nasıl deneyimlendiğini analiz etmektir. Bu doğrultuda askerî sevk ve intikal, açlık ve susuzluk, arkadaş dayanışması, komuta ilişkileri, korku, mizah, millî ve dinî söylem, düşman algısı ve savaş şiddeti temel inceleme başlıkları olarak belirlenmektedir. Çalışmada mikro tarih yaklaşımı, tarihsel kaynak analizi ve tematik içerik analizi birlikte kullanılmaktadır. Günlükteki bilgiler, harekâtın doğrulanabilir kronolojisi ve Sürgeç ile yaklaşık yarım asır sonra gerçekleştirilen sözlü tarih mülakatıyla karşılaştırılmaktadır (Sürgeç, 1974). Bununla birlikte günlük ile mülakat aynı

kişinin anlatılarına dayandığından, iki kaynak arasındaki örtüşmeler bağımsız tarihsel doğrulama olarak kabul edilmemektedir. Özellikle tarihler, kişi adları, askerî birlikler ve şiddet olaylarına ilişkin ifadeler eleştirel ve ihtiyatlı biçimde değerlendirilmektedir.

Çalışmanın katkısı, Kıbrıs Barış Harekâtı'nın genel askerî tarihini yeniden anlatmak değil; harekâtın operasyonel anlatılarında geri planda kalan gündelik, bedensel ve duygusal deneyimleri özgün bir asker günlüğü üzerinden görünür kılmaktır. Günlük ile sözlü tanıklığın birlikte ele alınması ayrıca savaş sırasında kaydedilen deneyim ile yaklaşık yarım yüzyıl sonra kurulan hatırlama anlatısı arasındaki devamlılık ve farklılıkların belirlenmesini sağlamaktadır. Böylece çalışma, savaşın yalnızca askerî birliklerin hareketleri ve ulaşılan sonuçlardan ibaret olmadığını; açlık, korku, dayanışma, inanç, düşmanlık, şiddet ve hatırlama süreçlerini kapsayan çok katmanlı bir insan deneyimi olduğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır.

1. KIBRIS MESELESİNİN TARİHSEL ARKA PLANI

Doğu Akdeniz'in merkezinde yer alan Kıbrıs, Anadolu, Suriye, Mısır ve Ege Denizi arasındaki konumu nedeniyle tarih boyunca askerî, siyasi ve ticari önem taşımıştır. Ada, 1571'de Osmanlı Devleti tarafından Venediklilerden alınmış ve yaklaşık üç asır Osmanlı yönetiminde kalmıştır. Fetihten sonra Kıbrıs bir Osmanlı eyaleti hâline getirilmiş; adanın üretim kapasitesini artırmak, güvenliğini sağlamak ve idarî yapısını güçlendirmek amacıyla Anadolu'nun çeşitli bölgelerinden Türk nüfus adaya yerleştirilmiştir. Bu iskân süreci, adadaki Türk varlığının toplumsal ve demografik temelini oluşturmuştur (Öztuna, 1977 ve Uzunçarşılı, 1995).

Kıbrıs'ın Osmanlı yönetiminden çıkışı, 1877–1878 Osmanlı-Rus Savaşı sonrasında ortaya çıkan uluslararası şartlarla bağlantılıdır. Ayastefanos Antlaşması'nın Rusya'ya sağladığı kazanımların Doğu Akdeniz ve Hindistan yolu bakımından kendi çıkarlarını tehdit ettiğini düşünen İngiltere, Osmanlı Devleti'ne Rusya'ya karşı destek vermeyi teklif etmiştir. Bu desteğin karşılığında 4 Haziran 1878'de imzalanan Kıbrıs Sözleşmesi ile adanın yönetimi geçici olarak İngiltere'ye bırakılmıştır. II. Abdülhamid sözleşmeyi, Osmanlı Devleti'nin ada üzerindeki egemenlik haklarının korunması şartıyla onaylamıştır. Böylece Osmanlı hâkimiyeti hukuken devam etmekle birlikte adanın fiilî yönetimi İngiltere'ye geçmiştir (Çelik, 2021 ve Kılıç, 2019).

Osmanlı Devleti'nin Birinci Dünya Savaşı'na İngiltere'nin karşısında girmesi üzerine İngiliz hükümeti, 5 Kasım 1914'te Kıbrıs'ı tek taraflı olarak ilhak ettiğini açıklamıştır. Savaş sonrasında hazırlanan Sevr Antlaşması'nda ilhakın Osmanlı Devleti tarafından tanınması öngörülmüş; ancak bu antlaşma yürürlüğe girmemiştir. Türkiye, 24 Temmuz 1923 tarihli Lozan Barış Antlaşması'nın 20. maddesiyle İngiltere'nin 1914'te ilan ettiği ilhakı tanımıştır. Antlaşmanın 21. maddesi ise adada yaşayan Türklerin vatandaşlık durumunu düzenlemiştir (Gazioğlu, 1997 ve Meray, 2007). Böylece Kıbrıs,

hukuken de İngiliz egemenliğine girerken adadaki Türk toplumunun siyasi geleceği Türkiye'nin doğrudan hâkimiyet alanının dışında kalmıştır.

Kıbrıs meselesinin Türkiye'nin dış politikasında yeniden ön plana çıkması, İkinci Dünya Savaşı sonrasında güçlenen Enosis hareketiyle gerçekleşmiştir. Adayı Yunanistan'a bağlama düşüncesi, Kıbrıslı Rumlar arasında daha önce de mevcut olmakla birlikte 1950'li yıllarda uluslararası ve örgütlü bir nitelik kazanmıştır. Yunanistan, self-determinasyon ilkesi üzerinden Kıbrıs meselesini Birleşmiş Milletler gündemine taşırken; 1955'te faaliyete başlayan EOKA, İngiliz yönetimine karşı silahlı mücadele yürütmüş ve aynı zamanda Enosis'e karşı çıkan Kıbrıs Türk toplumunu hedef almıştır (Oran, 2014 ve İsmail, 1992). Kıbrıslı Türkler ise siyasi teşkilatlanmanın yanı sıra silahlı savunma amacıyla çeşitli yeraltı örgütleri kurmuş; bu oluşumlar 1958'de Türk Mukavemet Teşkilatı çatısı altında birleştirilmiştir (Keser, 2007). Böylece mesele, İngiliz sömürge yönetimi ile Rum toplumu arasındaki bir uyuşmazlık olmaktan çıkarak Türkiye ile Yunanistan'ın da doğrudan taraf olduğu uluslararası bir soruna dönüşmüştür.

Türkiye ve Yunanistan arasında yürütülen görüşmeler sonucunda 11 Şubat 1959'da Zürih Antlaşması imzalanmış; bunu Türkiye, Yunanistan ve İngiltere ile Kıbrıs Türk ve Rum toplumlarının temsilcilerinin katıldığı 19 Şubat 1959 tarihli Londra Antlaşması izlemiştir. Bu düzenlemeler Enosis ve taksim seçenekleri yerine, iki toplumun siyasi ortaklığına dayanan bağımsız bir devlet kurulmasını öngörmüştür. Antlaşmalar kapsamında kabul edilen Garanti Antlaşması ile Türkiye, Yunanistan ve İngiltere, Kıbrıs Cumhuriyeti'nin bağımsızlığını, toprak bütünlüğünü ve anayasal düzenini garanti altına almıştır. Garantör devletlerin ortak girişimde bulunamaması durumunda her birine, antlaşmayla kurulan düzeni yeniden tesis etmek amacıyla tek başına harekete geçme imkânı tanınmıştır (Uçarol, 2019).

Zürih ve Londra antlaşmaları doğrultusunda 16 Ağustos 1960'ta Kıbrıs Cumhuriyeti kurulmuştur. Yeni devletin anayasası, yönetimin Türk ve Rum toplumları arasında paylaşılmasına dayanmıştır. Cumhurbaşkanlığı Rumlara, cumhurbaşkanı yardımcılığı Türklere ayrılmış; Bakanlar Kurulu ile Temsilciler Meclisinde iki toplum için belirli temsil oranları kabul edilmiştir. Ancak Cumhurbaşkanı Makarios'un 1963'te Türk toplumunun anayasal güvencelerini zayıflatacak değişiklikler önermesi, ortaklık devletinde ciddi bir krize yol açmıştır. Türk tarafının bu önerileri reddetmesinin ardından, Aralık 1963'te başlayan saldırılar, iki toplumlu devlet yapısının fiilen çökmesine neden olmuştur. "Kanlı Noel" olarak adlandırılan olaylarda çok sayıda Kıbrıslı Türk hayatını kaybetmiş veya yaşadığı yeri terk etmek zorunda kalmıştır (Cankurt, 2015).

1963–1964 olayları Türkiye'nin adaya askerî müdahale ihtimalini gündeme getirmiştir. Türkiye müdahale hazırlığına başlamış, fakat ABD Başkanı Lyndon B. Johnson'ın Başbakan İsmet İnönü'ye gönderdiği mektup ve uluslararası baskılar geniş kapsamlı bir harekâtı engellemiştir. Bununla birlikte Türk Hava Kuvvetleri, Ağustos 1964'te Erenköy ve çevresindeki Rum kuvvetlerine yönelik sınırlı bir hava harekâtı gerçekleştirmiştir. Kasım 1967'de Rum ve Yunan

kuvvetlerinin Geçitkale ile Boğaziçi köylerine saldırması üzerine Türkiye bir kez daha askerî müdahale hazırlığına girişmiş ve TBMM hükümete kuvvet kullanma yetkisi vermiştir. Kriz, Yunan birliklerinin ve Grivas'ın adadan çekilmesiyle geçici olarak aşılmıştır. Aynı yıl kurulan Geçici Kıbrıs Türk Yönetimi ise iki toplumun siyasi ve idarî bakımdan giderek birbirinden ayrıldığını göstermiştir (Uçarol, 2019 ve Fırat, 1997 ve Tuncer, 2012).

Kıbrıs'taki dengeleri değiştiren son gelişme, Yunanistan'daki askerî yönetimin desteğiyle 15 Temmuz 1974'te gerçekleştirilen darbe olmuştur. Makarios yönetimden uzaklaştırılmış ve Enosis yanlısı Nikos Sampson devlet başkanlığına getirilmiştir. Türkiye, darbeyi Kıbrıs Cumhuriyeti'nin bağımsızlığını ve 1960 antlaşmalarıyla kurulan anayasal düzeni ortadan kaldırmaya yönelik bir girişim olarak değerlendirmiştir. İngiltere ile ortak müdahale imkânının sonuçsuz kalması ve diplomatik temaslardan çözüm elde edilememesi üzerine Türkiye, Garanti Antlaşması'nın kendisine tanıdığı hakka dayanarak 20 Temmuz 1974'te askerî harekâtı başlatmıştır (Savrun, 2019 ve Kapucu, 2020). Böylece yaklaşık yirmi yıldır diplomasi, toplumlar arası çatışma ve müdahale tehdidi ekseninde ilerleyen Kıbrıs meselesi, Türkiye'nin doğrudan askerî güç kullandığı yeni bir aşamaya geçmiştir.

Yaşar Sürgeç'in günlüğü, bu siyasi ve diplomatik sürecin karar vericiler düzeyindeki anlatısından farklı olarak, alınan müdahale kararının sahadaki bir askerin hayatına nasıl yansıdığını göstermektedir. Devletler arası görüşmelerde antlaşmalar, garantörlük yetkisi ve askerî planlar üzerinden şekillenen harekât; Sürgeç'in anlatısında belirsiz bir sevk emri, uzun yolculuklar, ağır teçhizat, açlık, susuzluk, korku, arkadaş dayanışması ve çatışmayla karşılaşma biçiminde görünür hâle gelmektedir.

2. KIBRIS BARIŞ HAREKÂTI'NIN ASKERÎ SEYRİ

15 Temmuz 1974'te gerçekleştirilen darbenin ardından Türkiye, Kıbrıs Cumhuriyeti'nin anayasal düzeninin yeniden kurulması amacıyla öncelikle diplomatik girişimlerde bulunmuştur. Başbakan Bülent Ecevit'in İngiltere ile ortak müdahale imkânını görüşmek üzere Londra'ya gitmesi, askerî harekât öncesinde Garanti Antlaşması çerçevesindeki iş birliği yollarının araştırıldığını göstermektedir. İngiltere'nin ortak müdahaleye yanaşmaması ve ABD'nin Ankara ile Atina arasında yürüttüğü temaslardan sonuç alınamaması üzerine Türkiye tek taraflı müdahale kararı almıştır. Askerî hazırlıklar 15 Temmuz'dan itibaren hızlandırılmış; harekâtın sevk ve idaresi Adana'daki 6. Kolordu Komutanlığına verilmiştir. Kara, deniz ve hava kuvvetlerinin birlikte görev aldığı harekât; çıkarma, hava indirme, hava hücumu ve kara ilerlemesinden oluşan müşterek bir operasyon şeklinde planlanmıştır (Bodur, 2005 ve Kapucu, 2020).

Birinci Kıbrıs Barış Harekâtı, 20 Temmuz 1974 sabahı Türk Hava Kuvvetlerine ait uçakların belirlenen hedeflere yönelik faaliyetleriyle başlamıştır. Hava harekâtının temel amacı Rum Millî Muhafız Ordusunun havaalanlarını, topçu

mevzilerini, karargâhlarını ve takviye güzergâhlarını etkisiz hâle getirmek; çıkarma ve hava indirme birliklerine güvenli bir hareket alanı oluşturmaktı. Aynı saatlerde Kayseri'den havalanan nakliye uçakları paraşüt birliklerini Lefkoşa'nın kuzeyindeki bölgelere indirmiş, helikopterlerle taşınan komando birlikleri ise Boğaz ve Beşparmak Dağları çevresine sevk edilmiştir. Türk Silahlı Kuvvetlerinin daha önce bu ölçekte müşterek bir denizaşırı harekât gerçekleştirmemiş olması, birlikler arasındaki koordinasyonu operasyonun en önemli unsurlarından biri hâline getirmiştir (Erdem, 1999).

Deniz yoluyla taşınan çıkarma birlikleri, Girne'nin batısındaki Pladini Plajı olarak da bilinen Yavuz Çıkarma Plajı'ndan karaya çıkmıştır. Çıkarma öncesinde deniz komandoları kıyı ve deniz altındaki muhtemel engelleri kontrol etmiş, savaş gemileri kıyıdaki Rum mevzilerine ateş desteği sağlamıştır. İlk aşamada kıyı başının tutulması, ardından çıkarma birlikleriyle hava indirme ve komando birliklerinin birleşmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte harekât planlandığı ölçüde düzenli ilerlememiş; birliklerin farklı bölgelere dağılması, ağır silah ve araçların karaya çıkarılmasındaki gecikmeler, haberleşme sorunları ve Rum kuvvetlerinin direnişi Türk birliklerinin hareketini zorlaştırmıştır (Can, 2014).

Rum Millî Muhafız Ordusu, özellikle Girne-Lefkoşa yolu, Boğaz bölgesi ve Türk yerleşimlerinin çevresinde karşı saldırılar düzenlemiştir. Türk birlikleri bir taraftan çıkarma alanını genişletmeye çalışırken diğer taraftan Gönyeli, Ortaköy ve Lefkoşa çevresindeki Türk bölgelerinin savunulmasına destek vermiştir. Harekâtın ilk gününde çıkarma birlikleriyle hava yoluyla indirilen birlikler arasında tam bağlantı kurulamamış; bu durum kıyı başının güvenliği bakımından önemli bir risk oluşturmuştur. Türk kuvvetleri 21 ve 22 Temmuz'daki çatışmaların ardından Girne'ye girmiş, kıyı başını genişletmiş ve Girne-Lefkoşa yolunun kontrolünü sağlayarak çıkarma birlikleri ile Boğaz bölgesindeki birlikler arasında bağlantı kurmuştur (Terzioğlu, 1989 ve Artuç, 1989).

Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi, 20 Temmuz'da kabul ettiği 353 sayılı kararla ateşkes çağrısında bulunmuştur. Türkiye, Yunanistan ve İngiltere arasında yürütülen temasların ardından ateşkesin 22 Temmuz 1974 saat 17.00'de yürürlüğe girmesi kabul edilmiştir. Ateşkes sırasında Türk birlikleri Girne kıyısında bir köprübaşı oluşturmuş, Girne-Lefkoşa bağlantısını sağlamış ve Lefkoşa'nın kuzeyindeki Türk bölgeleriyle birleşmiştir. Bununla birlikte kontrol edilen alanın dar, dağınık ve savunulması güç olması; Rum kuvvetlerinin çevredeki Türk yerleşimlerine yönelik baskısının sürmesi ve ateşkes hattının kesin olarak belirlenememesi, askerî ve siyasi belirsizliğin devam etmesine yol açmıştır (Tuncer, 2012 ve Yılmaz, 2017). Birinci Harekât'ın ardından Türkiye, Yunanistan ve İngiltere dışişleri bakanları 25–30 Temmuz 1974 tarihleri arasında Cenevre'de bir araya gelmiştir. Görüşmeler sonunda imzalanan Cenevre Deklarasyonu'nda adada fiilen iki özerk yönetimin bulunduğu kabul edilmiş; Rum ve Yunan kuvvetlerinin işgal ettikleri Türk yerleşimlerinden çekilmeleri öngörülmüştür. Ancak ateşkes ihlalleri ile Türk yerleşimlerinin tahliye edilmemesi, taraflar arasındaki güvensizliği artırmıştır. 8 Ağustos'ta başlayan İkinci Cenevre Konferansı'nda Türkiye, Kıbrıs Türk toplumunun güvenliğini coğrafi temele dayalı özerk bir yönetimle sağlamayı amaçlayan öneriler sunmuştur. Rum ve

Yunan tarafının değerlendirme için ek süre istemesi ve tarafların yönetim modeli üzerinde uzlaşamaması üzerine görüşmeler 14 Ağustos sabahı sonuçsuz kalmıştır (İsmail, 1992).

İkinci Kıbrıs Barış Harekâtı 14 Ağustos 1974'te başlamıştır. Birinci Harekât sırasında adaya çıkarılmış birliklerin ve ağır silahların belirli bölgelerde toplanmış olması, Türk kuvvetlerinin bu aşamada daha hızlı ilerlemesini sağlamıştır. Birlikler doğuda Lefkoşa-Mağusa, batıda ise Lefkoşa-Lefke yönünde ilerlerken Rum Millî Muhafız Ordusunun savunma hatları aşılmıştır. İkinci Harekât'ın askerî hedefi, Birinci Harekât sonunda oluşan dar ve parçalı bölgeyi genişleterek Kıbrıs Türk toplumunun yaşayabileceği, savunulabilir ve coğrafi bakımdan bütünlük taşıyan bir alan meydana getirmekti. Türk birlikleri 16 Ağustos'a kadar Mağusa-Lefke hattına ulaşmış; Türkiye aynı gün saat 19.00'dan itibaren ateşkes uygulanacağını açıklamıştır (Oran, 2014).

İkinci Harekât sonunda adanın yaklaşık üçte birlik kuzey kesimi Türk kuvvetlerinin kontrolüne girmiş ve Kıbrıs fiilen iki ayrı yönetim alanına ayrılmıştır. Ancak askerî ilerleme, özellikle İkinci Harekât sırasında uluslararası kamuoyunda Birinci Harekât'a göre daha sert tepkilerle karşılanmıştır. Harekât sonrasında nüfus hareketleri hızlanmış; kuzeydeki Rumların güneye, güneydeki Türklerin ise kuzeye geçmesiyle adanın demografik yapısı önemli ölçüde değişmiştir. Türkiye'ye uygulanan Amerikan silah ambargosu ve Türk-Yunan ilişkilerinde ortaya çıkan yeni gerilimler, harekâtın askerî sonuçlarının dış politika üzerindeki uzun süreli etkileri arasında yer almıştır (Dolanbay, 2019).

Harekâtın genel seyri, askerî planların sahadaki askerler tarafından nasıl deneyimlendiğini tek başına açıklamamaktadır. Haritalarda birlik hareketleri ve ele geçirilen bölgeler şeklinde gösterilen operasyon; Yaşar Sürgeç'in günlüğünde gemideki belirsizlik, karaya çıktıktan sonra gerçekleştirilen uzun yürüyüşler, ağır teçhizat, yetersiz iaşe, susuzluk, gece nöbetleri ve düşman ateşi altında mevzi arayışı olarak karşılık bulmaktadır. Bu nedenle harekâtın askerî çerçevesi, günlüğün kronolojisini değerlendirmek için gerekli olmakla birlikte çalışmanın asıl odak noktasını Sürgeç'in bu operasyonel süreç içerisindeki bireysel deneyimi oluşturmaktadır.

3. KAYNAKLAR VE YÖNTEM

Bu çalışmanın temel kaynağını Kıbrıs Barış Harekâtı gazisi Yaşar Sürgeç'e ait *Kıbrıs Hatırası (Çamlı Köy)* başlıklı yayımlanmamış el yazması günlük oluşturmaktadır. Günlük, 20 × 12 cm ölçülerindeki kırmızı, kalın kapaklı ve çizgili bir deftere mavi mürekkepli kalemle yazılmıştır. Defterin ilk dört sayfası boş bırakılmış; anlatı 5. sayfada başlamış ve 92. sayfada sona ermiştir. Buna göre günlük, toplam 88 yazılı sayfadan meydana gelmektedir. İncelenen özgün nüshada metin, eğik ve büyük ölçüde bitişik el yazısıyla satır çizgileri takip edilerek kaleme alınmış; sayfalar alt köşelerinden numaralandırılmıştır. Yazı karakteri, mürekkep rengi ve satır düzeni incelenen sayfalarda genel bir

süreklilik göstermektedir. Metinde yer yer kelime düzeyinde düzeltmeler bulunmakla birlikte yoğun karalama veya farklı renkte kalemle yapılmış belirgin eklemeler görülmemektedir(Sürgeç, 1974).

Günlüğün ne zaman ve hangi aşamalarda yazıldığı, metnin tarihsel niteliğinin değerlendirilmesi bakımından önemlidir. Anlatıda olaylar belirli tarihlerle ve kronolojik bir sıra içerisinde verilmekte; sevk, deniz yolculuğu, karaya çıkış, yürüyüş, mevzi hayatı ve çatışmalar birbirini takip eden gelişmeler şeklinde aktarılmaktadır. Bununla birlikte bir metinde gün ve tarihlerin bulunması, onun mutlaka olaylarla eş zamanlı olarak kaleme alındığını tek başına kanıtlamamaktadır. Günlük, savaş sırasında günü gününe tutulmuş olabileceği gibi kısa notlardan hareketle daha sonra düzenlenmiş de olabilir. Bu nedenle çalışmada metnin oluşum zamanı hakkında kesin bir hüküm verilmemiş; anlatının iç kronolojisi, maddi özellikleri ve harekâtın doğrulanabilir kronolojisi birlikte değerlendirilmiştir.

Günlüğün metin aktarımında özgün yazım ve anlatım özelliklerinin korunması esas alınmıştır. Bununla birlikte okunabilirliği sağlamak amacıyla açık yazım yanlışları düzeltilmiş, noktalama işaretleri eklenmiş ve bazı uzun cümleler anlam bütünlüğü korunarak düzenlenmiştir. Doğrudan alıntılarda Sürgeç'in kelime tercihleri mümkün olduğunca korunmuş; günümüz Türkçesine uymayan veya düşmana yönelik aşağılayıcı ifadeler metnin düşünsel dünyasını yansıttığı için çıkarılmamıştır. Anlamı kesin biçimde belirlenemeyen kişi ve yer adları ise doğrulanmış bilgi gibi sunulmamıştır. Bu yaklaşım, günlüğü edebî açıdan kusursuz bir metne dönüştürmekten çok, anlatıcının savaş deneyimini kurma biçimini korumayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın ikinci temel kaynağı, Yaşar Sürgeç ile Kıbrıs Barış Harekâtı'ndan yaklaşık yarım asır sonra gerçekleştirilen sözlü tarih mülakatıdır. Sözlü tarih, yazılı belgelerde yeterince görünmeyen bireysel deneyimleri, gündelik hayatı, duyguları ve olayların tanıklar tarafından nasıl anlamlandırıldığını ortaya çıkarmaya imkân vermektedir. Bununla birlikte sözlü anlatılar, geçmişin değişmeden muhafaza edilmiş kayıtları değildir; aradan geçen zaman, sonraki deneyimler, toplumsal hafıza ve anlatıcının görüşme anındaki konumu hatırlama biçimini etkileyebilmektedir (Dursun ve Aydın, 2022). Bu nedenle mülakat, günlüğün eksiklerini tamamlayan ve ondaki bütün bilgileri doğrulayan bir kaynak olarak değil, aynı kişinin savaş deneyimini yıllar sonra nasıl yeniden anlattığını gösteren ikinci bir tanıklık olarak kullanılmıştır.

Araştırmada mikro tarih yaklaşımı, tarihsel kaynak eleştirisi ve tematik içerik analizi birlikte kullanılmaktadır. Günlük önce kronolojik olarak okunmuş; ardından metinde tekrarlanan deneyim ve kavramlar belirlenmiştir. Bu inceleme sonucunda askerî sevk ve intikal, deniz yolculuğu, açlık ve susuzluk, arkadaş dayanışması, komuta ilişkileri, mevzi ve nöbet hayatı, korku ve mizah, millî ve dinî söylem, düşman algısı ve savaş şiddeti ana temalar olarak sınıflandırılmıştır. Temalar yalnızca tekrar sıklığına göre değil, anlatının yönünü değiştirmeleri ve Sürgeç'in savaşı anlamlandırma biçimini göstermeleri bakımından değerlendirilmiştir.

Çalışma tek bir askerin günlüğü ve sonraki sözlü tanıklığı üzerine kurulmuştur. Bu nedenle Sürgeç'in deneyimleri Kıbrıs Barış Harekâtı'na katılan bütün askerleri temsil eden ortak bir anlatı olarak değerlendirilmemektedir. Günlük, bir birlikte görev yapan, belirli güzergâhlardan ilerleyen ve olayları kendi konumu, bilgisi ve duyguları çerçevesinde kaydeden bir askerin bakışını yansıtmaktadır. Araştırmanın katkısı da genelleme yapmasından değil, genel askerî anlatıların gerisinde kalan bireysel cephe deneyimini ayrıntılı ve eleştirel biçimde görünür kılmasından kaynaklanmaktadır.

4. YAŞAR SÜRGEÇ'İN BİYOGRAFİSİ VE KIBRIS'A SEVKİ

1952 Harput/Elazığ doğumlu olan Yaşar Sürgeç, Elazığ nüfusuna kayıtlı olup askerlik hizmetini 1974 yılında Kahramanmaraş'ta konuşlu bir piyade birliğinde yapmıştır. Birliğinde piyade eri olarak görev yapan Sürgeç, günlükte zaman zaman mangasındaki askerlerin sevk ve idaresinden sorumlu bir konumda görünmektedir. Nöbetlerin düzenlenmesi, yiyeceğin askerler arasında paylaştırılması ve tehlikeli geçişlerde arkadaşlarına yol göstermesi, onun yalnızca bireysel hareket eden bir er olmadığını, manga içerisinde sorumluluk üstlendiğini göstermektedir (Sürgeç, 1974).

Sürgeç'in Kıbrıs meselesi hakkındaki bilgisi, askere gitmeden önce dönemin toplumsal ve siyasi atmosferi içerisinde şekillenmiştir. Türkiye'de Kıbrıs Türklerine yönelik saldırılar basın, radyo, mitingler ve siyasi açıklamalar aracılığıyla geniş biçimde takip edilmekteydi. Bununla birlikte Sürgeç, mülakatta birliğine hareket emri verildiğinde nereye gönderileceklerinin başlangıçta kendilerine açıklanmadığını belirtmektedir. Hazırlık emri kısa süre içerisinde verilmiş; askerlerden silahlarını, mühimmatlarını ve kişisel teçhizatlarını hazırlamaları istenmiştir. Hedefin açıkça söylenmemesi, harekât öncesindeki askerî gizlilikle ilişkili görünmektedir (Sürgeç, 1974).

Günlükte sevk süreci Kahramanmaraş'tan başlamaktadır. Sürgeç, 18 Temmuz 1974 günü saat 03.00 sıralarında başlayan yoğun askerî hareketliliği ve araçların hazırlanmasını anlatmaktadır. Birlikteki askerlerin büyük bölümü nereye götürüleceklerini bilmemektedir. Sürgeç'in ifadesine göre askerler, 19 Temmuz günü öğle saatlerinde araçlara bindirilmiş ve Osmaniye yönünde harekete geçmiştir. Yolculuk sırasında silah, mühimmat ve askerlerle yüklü konvoyun oluşturduğu kalabalık, yaklaşmakta olan görevin sıradan bir birlik intikali olmadığını düşündürmüştür (Sürgeç, 1974).

Sürgeç ve arkadaşlarının Kıbrıs'a gönderileceklerini anlamalarında yol güzergâhında karşılaştıkları halkın davranışları belirleyici olmuştur. Osmaniye, Adana ve Mersin yönünde ilerleyen askerî konvoy, yerleşim yerlerinde yoğun ilgiyle karşılanmıştır. Halkın araçları Türk bayraklarıyla takip etmesi, askerlere yiyecek, içecek ve sigara vermesi ve Kıbrıs'a ilişkin destek ifadeleri kullanması, harekâtın toplumda oluşturduğu seferberlik havasını göstermektedir. Günlükte bu karşılaşmalar yalnızca bir uğurlama töreni şeklinde anlatılmamış; gidecekleri yeri resmî bir açıklamadan önce halkın söz ve davranışlarından öğrenen askerlerin belirsizliğiyle birlikte aktarılmıştır. Sürgeç daha sonraki mülakatında da

Kıbrıs'a gideceklerini halkın sevgi gösterilerinden ve yol boyunca söylenenlerden anladıklarını belirtmiştir (Sürgeç, 1974 ve Mülakat, 2026).

Birliğin Mersin ve Taşucu bölgesine ulaşmasının ardından askerler çıkarma gemilerine bindirilmiştir. Taşucu, kara birliklerinin, araçların, ağır silahların ve mühimmatın Kıbrıs'a sevk edildiği başlıca lojistik merkezlerden biri olmuştur. Harekâta katılan farklı birliklere mensup gazilerin anlatıları, burada bekleme sürelerinin birkaç saat ile birkaç gün arasında değiştiğini göstermektedir. Sürgeç mülakatta birliğinin yaklaşık iki gün bekledikten sonra gemiye bindirildiğini ifade etmektedir. Günlük ise gemiye binişi daha yoğun ve belirsiz bir atmosfer içerisinde aktarmaktadır. Askerlerin yanında silah, mühimmat ve çeşitli askerî malzemeler bulunmakta; gemideki sınırlı alan dinlenmeyi ve hareket etmeyi zorlaştırmaktadır (Sürgeç, 1974 ve Mülakat, 2026).

Deniz yolculuğu sırasında askerler Kıbrıs'a yaklaşmakta olduklarını bilmekle birlikte karaya ne zaman ve hangi şartlarda çıkacakları konusunda yeterli bilgiye sahip değildir. Günlükte gece alarmı verilmesi, askerlerin silahlarıyla hazır beklemesi ve uzaktan duyulan patlamalar yolculuğun psikolojik gerilimini artıran unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Sürgeç, bir taraftan arkadaşlarıyla konuşarak kaygısını hafifletmeye çalışırken diğer taraftan karşılaşacakları savaşın niteliğini düşünmektedir. Bu anlatı, deniz yolculuğunun yalnızca Türkiye'den Kıbrıs'a gerçekleştirilen teknik bir nakil faaliyeti olmadığını; belirsizlik, korku, heyecan ve bekleyişin iç içe geçtiği bir geçiş evresi olduğunu göstermektedir (Sürgeç, 1974).

Sürgeç'in savaş sonrasındaki yaşamına ilişkin bilgiler daha sınırlıdır. Mülakat verilerine göre terhisinden sonra Elazığ'a dönmüş, çalışma hayatına katılmış ve uzun yıllar çimento fabrikasında çalışmıştır. Savaş deneyiminin psikolojik etkilerini belirli bir süre taşıdığını, ancak aile ve çalışma hayatının gündelik yaşama yeniden uyum sağlamasında etkili olduğunu ifade etmektedir. Kıbrıs'tan sağ salim dönmesi ailesi tarafından şükür vesilesi kabul edilmiş ve dönüşünde kurban kesilmiştir (Sürgeç, 1974). Sürgeç'in günlüğünü, fotoğraflarını ve Kıbrıs'tan getirdiği bazı malzemeleri muhafaza etmesi ise harekâtın onun hayatında geçici bir askerlik deneyimi olarak kalmadığını; gazilik kimliğinin ve savaş hafızasının sonraki yıllarda da varlığını sürdürdüğünü göstermektedir.

5. GÜNLÜKTE CEPHE DENEYİMİ

Yaşar Sürgeç'in günlüğü, Kıbrıs Barış Harekâtı'nı yalnızca birliklerin ilerleyişi, ele geçirilen bölgeler ve askerî sonuçlar üzerinden anlatmamaktadır. Metinde savaş; ağır teçhizat taşıyan, uzun mesafeler yürüyen, düzenli yiyecek ve su bulamayan, gece nöbet tutan, korkan, arkadaşlarıyla şakalaşan, komutanlarıyla tartışan, dua eden ve şiddete katılan bir askerin gündelik deneyimleri üzerinden şekillenmektedir. Bu yönüyle günlük, harekâtın operasyonel tarihini

tamamlayan mikro ölçekli bir kaynak niteliğindedir. Kıbrıs Barış Harekâtı tarih yazımının büyük ölçüde komutanların ve üst düzey katılımcıların yayımlanmış anılarına dayanması dikkate alındığında, bir piyade erinin yayımlanmamış defteri olarak savaşın tarihine ilişkin önemli veriler sunmaktadır.

5.1. Deniz Yolculuğu ve Kıbrıs'a Çıkış

Sürgeç'in anlatısında deniz yolculuğu, Türkiye'den Kıbrıs'a gerçekleştirilen sıradan bir askerî nakil olarak değil, belirsizlik ve bekleyişin hâkim olduğu bir geçiş süreci olarak yer almaktadır. Askerler gemiye silah, mühimmat ve kişisel teçhizatlarıyla birlikte bindirilmiş; kalabalık ve sınırlı hareket alanı yolculuğu güçleştirmiştir. Gemi içerisindeki düzensizlik, gece verilen alarmlar ve uzaktan duyulan patlamalar, henüz doğrudan çatışmaya girmemiş askerlerin savaşla ilk psikolojik temasını oluşturmuştur. Sürgeç bir taraftan çevresindeki askerlerle konuşmakta, diğer taraftan Kıbrıs'ta karşılaşacakları şartları düşünmektedir (Sürgeç, 1974).

Günlükte deniz yolculuğunun süresi ve karaya çıkış tarihi tam olarak belirlenememektedir. Mülakatta yaklaşık altmış dört saat denizde beklediklerini söyleyen Sürgeç, kıyıdaki çatışmalar nedeniyle gemilerin hemen yanaşamadığını ve hava bombardımanından sonra karaya çıkabildiklerini belirtmektedir (Mülakat, 2026). Harekâtın genel kronolojisine göre ilk çıkarma birlikleri 20 Temmuz sabahı Girne'nin batısındaki kıyıya ulaşmış; sonraki günlerde yeni birlik, araç ve malzeme sevkiyatı devam etmiştir (Kapucu, 2020). Sürgeç'in birliğinin hangi gemiyle ve hangi sevk dalgasında adaya ulaştığı kesinleşmediğinden, günlükteki anlatının Birinci Harekât'ın ilk çıkarma grubuyla doğrudan özdeşleştirilmesi mümkün değildir.

Karaya çıkışın ardından ilk dikkat çeken unsur, askerlerin içinde bulundukları coğrafyayı yeterince tanımamalarıdır. Sürgeç, Girne'ye ulaşmalarını ve şehir içerisindeki ilerleyişlerini çevresindeki askerler, araçlar, terk edilmiş yapılar ve çatışmanın bıraktığı izler üzerinden anlatmaktadır. Günlükte Girne, bir taraftan tarihsel ve millî anlamlar yüklenen bir şehir, diğer taraftan savaşın yol açtığı tahribatın görüldüğü bir yer olarak betimlenmiştir. Sürgeç'in bir arkadaşıyla yaptığı konuşmada şehrin güzelliği ile savaşın oluşturduğu yıkımın yan yana gelmesi, askerin Kıbrıs'a ilişkin tasavvuruyla sahada karşılaştığı gerçeklik arasındaki farklılığı göstermektedir (Sürgeç, 1974).

5.2. Yürüyüş, Ağır Teçhizat ve Bedensel Yorgunluk

Karaya çıkıştan sonra Sürgeç ve arkadaşlarının cephe deneyimini belirleyen başlıca faaliyet uzun yürüyüşlerdir. Askerler yalnızca kişisel silahlarını değil, mühimmat, sırt çantası, matara ve birlik için gerekli diğer malzemeleri de taşımaktadır. Kıbrıs'ın temmuz ve ağustos sıcakları, ağır yük ve sınırlı dinlenme imkânlarıyla birleştiğinde yürüyüş

askerler için başlı başına bir mücadeleye dönüşmüştür. Girne'den Boğaz ve Beşparmak bölgesine doğru gerçekleştirilen ilerleyişte yolun eğimi, sıcaklık ve su eksikliği askerlerin hareket kabiliyetini azaltmıştır (Sürgeç, 1974).

Günlükte yorgunluk yalnızca fiziksel bir durum olarak aktarılmamıştır. Ne kadar yol yürüneceğinin, nerede dinlenileceğinin ve bir sonraki görevin ne zaman verileceğinin bilinmemesi, bedensel yorgunluğu psikolojik belirsizlikle birleştirmiştir. Sürgeç bir manga sorumlusu olarak kendi yorgunluğuna rağmen yanındaki askerlerin yürüyüş düzenini korumaya ve geride kalmalarını önlemeye çalışmıştır. Bu durum, cephede bireysel dayanıklılık ile birlik sorumluluğunun birbirinden ayrılamadığını göstermektedir.

5.3. Açlık, Susuzluk ve İaşe Sorunları

Günlüğün en belirgin teması açlık ve susuzluktur. Sürgeç'in anlatısında askerler bazı günlerde düzenli yemek alamamış; çevreden buldukları meyveler, keçiboynuzu, buğday taneleri ve sınırlı miktardaki ekmekle ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmıştır. Bir mangaya ulaşan küçük bir ekmek parçasının askerler arasında bölüştürülmesi, iaşe sorununun ulaştığı boyutu göstermektedir. Sürgeç için ekmek yalnızca bir besin değil, askerler arasındaki paylaşma ve sorumluluğun da ölçüsüdür. Kendisinin daha fazla pay alması mümkünken ekmeği mangasındaki askerlerle eşit biçimde paylaşması, cephedeki dayanışmanın somut örneklerinden biridir (Sürgeç, 1974).

Susuzluk, açlıktan daha acil ve tehlikeli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Askerler yürüyüş ve nöbet sırasında mataralarındaki suyu kısa sürede tüketmiş; buldukları kuyulardan su içmek zorunda kalmıştır. Günlükte bir bahçeli evde su bulunması büyük bir rahatlama ve şükür duygusuyla anlatılmaktadır. Ancak her su kaynağı kullanılabilir durumda değildir. Sürgeç ve arkadaşları bazı bölgelerde tuzlu kuyu suyu içmiş; bu su susuzluğu gidermek yerine ağız kuruluğunu ve rahatsızlığı artırmıştır (Sürgeç, 1974). Mülakatta da tuzlu kuyu suyu, aradan yaklaşık yarım yüzyıl geçmesine rağmen açık biçimde hatırlanan deneyimlerden biridir (Mülakat, 2026).

Askerlerin yiyecek temininde bölgedeki sivillerle kurdukları ilişkiler de dikkat çekmektedir. Günlükte bir kuyunun çevresinde karşılaşılan kadından ekmek alınması, geçen askerî araçlardan yiyecek ve sigara istenmesi ve farklı birliklerden askerlerin ellerindeki malzemeleri paylaşması anlatılmaktadır. Sürgeç'in Elazığlı komandolarla karşılaşması ve bir komando asteğmeninin yiyecek getirmesi, hemşehrilik bağının cephe şartlarında özel bir dayanışma biçimine dönüşebildiğini göstermektedir (Sürgeç, 1974).

Sürgeç, yaşanan iaşe sorununu "Açlıkla Savaş" olarak adlandırdığı şiirinde daha açık bir eleştiriye dönüştürmüştür. Şiirde tekrarlanan "Mehmetçiğim dayan, bunun adı açlıkla savaş" dizesi, askerin yalnızca karşı kuvvetlerle değil, kendi temel ihtiyaçlarını karşılayamamanın sonuçlarıyla da mücadele ettiğini ifade etmektedir (Sürgeç, 1974). Günlüğün bu

yönü, harekâtın yalnızca kahramanlık ve askerî başarı üzerinden kurulan anlatılarına önemli bir düzeltme getirmektedir. Operasyonel kaynaklar birliklerin sevkini ve hedeflere ulaşmasını açıklarken günlük, bu ilerleyişin aç, susuz ve yorgun askerler tarafından gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır.

5.4. Komuta İlişkileri ve Arkadaş Dayanışması

Günlükte Türk ordusuna ve askerî göreve duyulan bağlılık güçlü olmakla birlikte komutanların uygulamalarına yönelik eleştiriler de bulunmaktadır. Sürgeç, iaşe yetersizliği konusunda takım komutanıyla tartışmakta ve askerlerin temel ihtiyaçlarının karşılanmadığını açıkça dile getirmektedir. Onun eleştirisi askerî hiyerarşiyi bütünüyle reddetmekten ziyade, komutanın askerlerine karşı taşıması gereken sorumluluğun yerine getirilmediği düşüncesine dayanmaktadır. Sürgeç verilen görevleri sürdürmekte, fakat sahada karşılaştığı eksiklikleri kaydetmekten kaçınmamaktadır (Sürgeç, 1974).

Bu anlatı, yıllar sonra yapılan mülakatla karşılaştırıldığında dikkat çekici bir farklılık göstermektedir. Günlükte bazı komutanlara yöneltilen sert eleştiriler öne çıkarken mülakatta askerlerle komutanlar arasındaki ilişkiler genel olarak "baba ve ağabey ilişkisi" içerisinde tanımlanmıştır. Bu farklılık, anlatılardan birinin doğru, diğerinin yanlış olduğu anlamına gelmemektedir. Günlük, açlık ve yorgunluğun yaşandığı andaki öfkeyi korurken mülakat, askerî disiplin ve gazilik kimliği içerisinden yapılmış geriye dönük bir değerlendirme sunmaktadır.

Komuta ilişkilerindeki gerilime karşılık arkadaşlık ve küçük grup dayanışması günlüğün hemen her aşamasında belirgindir. Askerler yiyecek ve suyu paylaşmakta, nöbetlerde birbirlerine eşlik etmekte, ağır malzemeleri birlikte taşımakta ve yaralanan arkadaşlarının durumunu takip etmektedir. Sürgeç'in anlatısında "arkadaş", çoğu zaman soyadı ve askerî rütbeden daha görünür bir kimliktir. Ahmet, Bayram, Fahrettin ve diğer askerlerle yapılan konuşmalar, savaşın resmî ve hiyerarşik yapısı içerisinde gündelik insan ilişkilerinin devam ettiğini göstermektedir (Sürgeç, 1974).

5.5. Mevzi Hayatı, Nöbet, Korku ve Mizah

Sürgeç ve arkadaşları bazı bölgelerde daha önce komando birlikleri tarafından kullanılan mevzileri devralmıştır. Bu mevziler her zaman tamamlanmış ve güvenli değildir. Askerler siperleri derinleştirmek, çevreyi gözetlemek ve muhtemel sızma güzergâhlarını kontrol etmek zorunda kalmıştır. Su ve kişisel temizlik imkânlarının sınırlılığı, böcekler, sıcaklık ve uykusuzluk mevzi hayatını güçleştirmiştir (Sürgeç, 1974).

Gece nöbetleri, günlüğün psikolojik bakımdan en yoğun bölümleri arasındadır. Karanlıkta duyulan küçük bir ses, bir silah mekanizmasının kurulması veya çevredeki otların hareketi düşman sızması şeklinde yorumlanabilmektedir. Sürgeç'in Ahmet ve Bayram'la dinleme nöbetine çıkması sırasında askerler seslerin yönünü belirlemeye çalışmış; görüş alanının sınırlılığı gerginliği artırmıştır (Sürgeç, 1974). Başka bir nöbette Fahrettin'le yapılan konuşmalar ise askerlerin korkuyu paylaşarak denetim altına almaya çalıştığını göstermektedir (Sürgeç, 1974).

Günlükte korku her zaman doğrudan "korktum" ifadesiyle anlatılmamaktadır. Sürekli tetikte olma, sesleri düşman hareketi olarak değerlendirme, uyuyamama ve ani ateşe hızla karşılık verme davranışları korkunun dolaylı göstergeleridir. Askerlerin bir otu veya belirsiz bir karaltıyı düşman sanarak alarm durumuna geçmeleri, savaş şartlarının algı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Bu olayların ardından yapılan şakalar ise mizahın gerginliği azaltan bir savunma mekanizması olarak kullanıldığını göstermektedir. Arkadaşların birbirlerinin korkularıyla alay etmesi, tehlikeyi ortadan kaldırmamakta; ancak onun gündelik hayat içerisinde taşınabilir hâle gelmesini sağlamaktadır.

5.6. İkinci Harekât, Yaralanma ve Ölüm

Birinci Harekât ile İkinci Harekât arasındaki ateşkes dönemi Sürgeç'in anlatısında gerçek anlamda bir barış ortamı değildir. Mevzilerin güçlendirilmesi, nöbetlerin sürdürülmesi, saldırı ihtimalinin devam etmesi ve yeni emirlerin beklenmesi, askerlerin çatışmanın yeniden başlayacağını düşündüğünü göstermektedir. 14 Ağustos'ta başlayan İkinci Harekât öncesinde birlikler hazırlanmış, silah ve mühimmat kontrol edilmiş ve askerler taarruz için harekete geçirilmiştir. Askerî kaynaklarda İkinci Harekât, Türk birliklerinin doğu ve batı yönünde süratle ilerlediği bir safha olarak anlatılmaktadır (Yılmaz, 2017). Sürgeç'in günlüğünde ise aynı süreç bombardıman, toz, yorgunluk, düzensiz arazi ve sürekli ölüm ihtimali üzerinden görünür hâle gelmektedir.

Taarruz öncesindeki Türk hava bombardımanı askerlerde güven oluşturmuş, fakat savaş alanının oluşturduğu tahribatı da artırmıştır. Birlikler bazı güzergâhlarda açık araziden ilerlemek yerine yol altındaki menfezleri ve korunaklı geçiş noktalarını kullanmıştır. Sürgeç'in menfezden geçişi anlatması, harita üzerinde sıradan görünen kısa bir mesafenin ateş altındaki asker için ne kadar tehlikeli olabildiğini göstermektedir (Sürgeç, 1974).

Seyit Ali'nin yaralanması, savaşın ölüm ve gazilik kavramlarıyla anlamlandırıldığı başlıca olaylardan biridir. Yaralı arkadaşın durumu karşısında askerler hem yardım etmeye çalışmış hem de kendi ölüm ihtimalleriyle yüzleşmiştir. Günlükte bu sırada dile getirilen "vuruşarak ölürsek şehit, kalırsak gaziyiz" düşüncesi, ölüm korkusunu dinî ve millî bir anlam çerçevesine yerleştirmektedir (Sürgeç, 1974). Şehitlik ve gazilik, yalnızca resmî statüler değil, askerin tehlike karşısında kendi varlığını açıklamasını sağlayan kavramlardır.

5.7. Düşman Algısı, Savaş Şiddeti ve Teslim Olan Askerler

Günlükte Rum ve Yunan askerleri çoğu zaman bireysel özellikleriyle değil, homojen bir düşman topluluğu şeklinde anlatılmıştır. "Rum", "Yunan" ve sıklıkla kullanılan "kâfir" kelimeleri, karşı tarafı askerî, millî ve dinî bir karşıtlık içerisinde tanımlamaktadır. Çatışmaların yoğunlaştığı bölümlerde söylemin sertleşmesi, karşı tarafın insanî özelliklerinin geri plana itilmesiyle uygulanan şiddetin anlamlandırılması arasındaki ilişkiye işaret etmektedir.

Sürgeç, Girne'den Boğaz bölgesine doğru ilerlerken bir mücahidin yakalanan altı Rum gencini etkisiz hale getirdiğini gördüğünü ileri sürmektedir (Sürgeç, 1974). Günlüğün sonraki bölümünde ise İkinci Harekât sırasında beyaz mendil sallayarak teslim olmak üzere dışarı çıkan üç Rum askerinin kendisi ve yanındaki askerler tarafından etkisiz hale getirdiklerini anlatmaktadır (Sürgeç, 1974). Aynı olay yıllar sonra yapılan sözlü tarih mülakatında da korunmuştur (Mülakat, 2026).

Bu anlatılar, kaynak eleştirisi bakımından özellikle dikkatli değerlendirilmelidir. Günlük ve mülakat aynı kişiye ait olduğundan iki metindeki örtüşme bağımsız doğrulama değildir. Olaylar askerî, adli veya başka tanıklık kaynaklarıyla desteklenmeden kesin tarihsel olgu olarak sunulamaz. Bununla birlikte ifadelerin metinden çıkarılması, savaş şiddetini örten seçmeci bir kaynak kullanımına yol açacaktır. Teslim olmuş askerlerin öldürülmesi, savaş şartlarının olağan bir sonucu veya askerî başarı olarak değerlendirilemez. Açlık, susuzluk, korku, arkadaş kayıpları ve intikam duygusu bu davranışın psikolojik bağlamını açıklayabilir; ancak onu meşrulaştırmaz. Bu nedenle anlatı, savaşın insan davranışı üzerindeki etkisi, düşmanın insanlıktan çıkarılması ve uluslararası insancıl hukukun teslim olan kişilere sağladığı koruma çerçevesinde ele alınmalıdır.

5.8. Millî ve Dinî Söylem

Sürgeç, Kıbrıs'taki görevini Osmanlı askerî geçmişi, Millî Mücadele, vatan savunması, şehitlik, gazilik ve bayrak kavramlarıyla ilişkilendirmektedir. Fatih Sultan Mehmet, Yavuz Sultan Selim, Osmanlı denizcileri ve Mustafa Kemal Atatürk aynı tarihsel devamlılık içerisinde anılmaktadır. Sürgeç ve arkadaşları kendilerini geçmişte Bizans'a, Avrupa devletlerine ve Yunan ordusuna karşı savaşan askerlerin torunları olarak görmektedir. Bu tarihsel bağ, genç askerlerin daha önce görmedikleri bir coğrafyada yürüttükleri savaşı anlamlı ve meşru bir millî görev hâline getirmektedir (Sürgeç, 1974).

Dinî söylem özellikle tehlike, açlık, susuzluk ve ölüm anlarında belirginleşmektedir. Sürgeç su veya yiyecek bulduğunda Allah'a şükretmekte, taarruz öncesinde Türk ordusunun korunması için dua etmekte ve yaralanan arkadaşlarının

iyileşmesini dilemektedir. Dua, yalnızca dinî bir uygulama değil, askerin kontrol edemediği tehlikeler karşısında psikolojik dayanıklılığını korumasını sağlayan bir araçtır. Şehitlik ve gazilik düşüncesi ise ölüm ihtimalini bireysel bir son olmaktan çıkararak dinî ve toplumsal bir karşılıkla açıklamaktadır.

Günlüğe eklenen şiir ve marşlar da bireysel cephe deneyimini kolektif millî hafızaya bağlamaktadır. "Girne'den Yol Bağladık Anadolu'ya" başlıklı şiirde Kıbrıs ile Anadolu arasında tarihsel ve duygusal bir bağ kurulmakta; Türk ordusunun adadaki varlığı millî bir zafer şeklinde sunulmaktadır. Günlüğün sonundaki şiirde Yunan bayrağının indirilmesi ve Türk bayrağının dikilmesi, anlatının sembolik zirvesi hâline getirilmektedir (Sürgeç, 1974). Bu metinler edebî niteliklerinden ziyade, Sürgeç'in savaş sırasında yaşadıklarını hangi tarihsel, millî ve dinî kavramlarla anlamlandırdığını göstermeleri bakımından önemlidir.

Sonuç olarak Sürgeç'in günlüğünde cephe deneyimi tek yönlü bir zafer ve kahramanlık anlatısından ibaret değildir. Metin, Türk ordusuna ve harekâtın amacına duyulan güçlü bağlılığı korurken sahadaki iaşe ve komuta sorunlarını görünür kılmakta; arkadaş dayanışması ve inançla birlikte korku, öfke, düşmanlaştırma ve yoğun şiddeti de içermektedir. Günlüğün tarihsel değeri, savaşın bu çelişkili ve çok katmanlı yapısını bir askerin gündelik deneyimi içerisinden aktarabilmesinden kaynaklanmaktadır.

SONUÇ

Kıbrıs Barış Harekâtı, Türkiye'nin yakın dönem tarihinde askerî, siyasi ve diplomatik sonuçları bulunan önemli gelişmelerden biridir. Harekâta ilişkin literatür ağırlıklı olarak müdahale kararının hukuki ve siyasi dayanakları, diplomatik görüşmeler, çıkarma ve hava indirme faaliyetleri, birliklerin ilerleyişi ve operasyonun uluslararası sonuçları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Buna karşılık harekâtın askerler tarafından gündelik, bedensel ve duygusal düzeylerde nasıl deneyimlendiği daha sınırlı ölçüde incelenmiştir

Yaşar Sürgeç'in günlüğü, bu bakımdan özgün bir kaynak niteliğindedir. Günlük, harekâtı karar alıcıların veya üst düzey komutanların bakış açısından değil, Kahramanmaraş'ta görev yapan bir piyade eri ve manga sorumlusu tarafından aktarmaktadır. Metinde askerî sevk, Mersin'e intikal, çıkarma gemisine biniş, deniz yolculuğu, Girne'ye ulaşma, uzun yürüyüşler, iaşe sorunları, mevzi hayatı, nöbet, çatışma, yaralanma ve ölüm olayları bir askerin gözlemleri üzerinden kaydedilmiştir. Bu anlatı, askerî planlarda birlik, hedef ve güzergâh olarak görülen unsurların sahada belirsizlik, yorgunluk, korku ve hayatta kalma çabası şeklinde deneyimlendiğini göstermektedir.

Çalışmanın en belirgin bulgularından biri, açlık ve susuzluğun Sürgeç'in cephe deneyiminde düşman ateşi kadar etkili olmasıdır. Askerlerin düzenli yiyecek alamamaları, küçük bir ekmeği manga arasında paylaşmaları, çevreden meyve ve

buğday toplamaları ve tuzlu kuyu suyu içmek zorunda kalmaları, harekâtın lojistik ve bedensel boyutunu görünür kılmaktadır. "Açlıkla Savaş" şiiri, yaşanan iaşe yetersizliğini kişisel bir yakınma olmaktan çıkararak cephedeki askerlerin ortak sorununa dönüştürmektedir.

Günlük, tek yönlü bir kahramanlık anlatısı değildir. Sürgeç, Türk ordusuna ve harekâtın amacına bağlılığını korurken bazı komutanların iaşe ve askerlerin ihtiyaçları konusundaki uygulamalarını eleştirmektedir. Askerî hiyerarşiye bağlılıkla sahadaki eksikliklere yönelik tepkinin aynı anlatıda bulunması, savaş deneyiminin çelişkili yapısını ortaya koymaktadır. Buna karşılık arkadaş dayanışması, yiyecek ve suyun paylaşılması, nöbetlerde birbirlerine destek olunması ve yaralıların durumunun takip edilmesi, küçük asker gruplarının savaş şartlarında temel dayanıklılık kaynağı olduğunu göstermektedir.

Sürgeç'in anlatısında korku çoğu zaman doğrudan ifade edilmemekte; gece duyulan seslerin düşman hareketi olarak yorumlanması, uyuyamama, sürekli tetikte bulunma ve ani ateşlere verilen tepkiler üzerinden görünür hâle gelmektedir. Arkadaşlar arasındaki şakalaşma ise bu gerilimi azaltan psikolojik bir savunma işlevi görmektedir. Dua, Allah'a sığınma, şehitlik ve gazilik düşüncesi de askerin kontrol edemediği ölüm ihtimalini anlamlandırmasını sağlamaktadır. Osmanlı geçmişi, Millî Mücadele, vatan ve bayrak etrafında kurulan tarihsel göndermeler, Kıbrıs'taki askerî görevi daha geniş bir millî devamlılık içerisine yerleştirmektedir. Buna karşılık Rum ve Yunan askerlerine yönelik düşmanlaştırıcı ve dinî karşıtlık içeren ifadeler, savaş dilinin şiddetle ilişkisini göstermektedir.

Günlük ile yaklaşık yarım asır sonra yapılan sözlü tarih mülakatı birlikte değerlendirildiğinde, Sürgeç'in savaş hafızasında bazı deneyimlerin güçlü biçimde korunduğu görülmektedir. Kıbrıs'a gönderileceklerinin başlangıçta açıklanmaması, yol boyunca halkın askerlere gösterdiği ilgi, deniz yolculuğu, açlık, susuzluk, tuzlu kuyu suyu, arkadaş dayanışması ve İkinci Harekât sırasında yaşanan çatışmalar her iki anlatıda da bulunmaktadır. Bu ortaklıklar, özellikle bedensel yoksunluklar ile yoğun tehlike anlarının hafızada kalıcılık kazandığını göstermektedir.

Sonuç olarak Yaşar Sürgeç'in günlüğü ve sözlü tanıklığı, Kıbrıs Barış Harekâtı'nın genel askerî tarihine mikro ölçekte katkı sunmaktadır. Bu katkı, harekât hakkında yeni bir operasyonel kronoloji oluşturmasından değil, bir askerin savaşı bedensel, duygusal ve zihinsel düzeylerde nasıl yaşadığını ve yıllar sonra nasıl hatırladığını göstermesinden kaynaklanmaktadır. Günlük savaş anındaki belirsizliği, yoksunluğu, eleştiriyi, inancı ve şiddeti korurken; mülakat aynı deneyimin sonraki hayat ve gazilik kimliği içerisinde yeniden anlamlandırılmasını ortaya koymaktadır. İki kaynağın eleştirel biçimde birlikte okunması, Kıbrıs Barış Harekâtı'nın yalnızca askerî birliklerin ilerleyişinden ibaret olmadığını; açlık, korku, dayanışma, düşmanlık, vicdan ve hatırlama süreçlerini içeren çok katmanlı bir insan deneyimi olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

Sürgeç, Yaşar, *Kıbrıs Hatırası (Çamlı Köy)*, Yayımlanmamış El Yazması Günlük, 1974, Kıbrıs, s. 5–92.

Çelik, Ahmet, *Yaşar Sürgeç ile Sözlü Tarih Mülakatı Kayıt ve Çözümleme Metni*, Elazığ, 2026.

Artuç, İbrahim, *Kıbrıs'ta Savaş ve Barış*, Kastaş Yayınları, İstanbul, 1989.

Bodur, Harun, *Kronolojik 20. Yüzyıl Siyasi Tarihi (1900–1999)*, Çağlar Yayınları, Ankara, 2005.

Can, Şinasi, *Kurtarılmış Ada Kıbrıs ve 1974 Barış Harekâtı*, Akademisyen Kitabevi, Ankara, 2014.

Cankurt, Ayhan, *Türkiye Cumhuriyeti Hükümetlerinin Kıbrıs Politikaları ve Kamuoyuna Yansımaları (1955–1964)*, Manas Yayınları, Elazığ, 2015.

Çelik, Ahmet, "93 Harbi Sonrası Kıbrıs'ın İngiltere'ye Devrinin Dönemin Rus Basınındaki Yansımaları", *Akdeniz 4. Uluslararası Sosyal Bilimler Kongresi*, Girne, Nisan 2021.

Dolanbay, Hacer, "1975-1984 Arası Gündem: Kıbrıs Barış Harekâtı ve Türkiye'nin Dış Politikası", *Tarih ve Gelecek Dergisi*, C. 5, S. 3, 2019.

Dursun, Mehmet Tahir ve Aydın, Çağdaş, "Sosyal Bilimler Araştırmalarında Sözlü Tarih Yöntemi", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, C. 22, S. 2, 2022, s. 12.

Erdem, T. (1999). *Kıbrıs Barış Harekâtında 3'üncü Paraşüt Taburu*, Genelkurmay Basımevi, Ankara.

Fırat, M. (1997). *1960–1971 Arası Türk Dış Politikası ve Kıbrıs Sorunu*, Siyasal Kitabevi, Ankara.

Gazioğlu, A. (1997). *Kıbrıs Tarihi: İngiliz Dönemi (1878–1960)*, Kıbrıs Araştırmaları ve Yayın Merkezi, Lefkoşa.

Güvenç, S. (2022). "Büyük Anlatısını' Arayan "Savaş": 1974 Kıbrıs Barış Harekâtı" *Türk Savaş Çalışmaları Dergisi*, C. 3, S. 1.

İsmail, S. (1992). *100 Soruda Kıbrıs Sorunu*, Dilhan Ofset, Lefkoşa.

Kapucu, D. (2020). "1974 Kıbrıs Hava Harekâtı", *Uluslararası Tarih Araştırmaları Dergisi*, C. 4, S. 2.

Keser, U. (2011). "21 Aralık 1963 Kanlı Noel, Kumsal Faciası ve Bugüne Yansımaları", *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, C. 11, S. 23.

Keser, U. (2007). *Kıbrıs'ta Yeraltı Faaliyetleri ve Türk Mukavemet Teşkilatı*, IQ Kültür Sanat Yayınları, İstanbul.

Kılıç, E. (2019). "Kıbrıs Barış Harekâtı ve Erzincanlı Kıbrıs Gazileri", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Van.

Meray, S. (2007). *Lozan Barış Konferansı: Tutanaklar-Belgeler*, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.

Oran, B. (2017). *Türk Dış Politikası: Kurtuluş Savaşı'ndan Bugüne Olgular, Belgeler, Yorumlar, 1919–1980*, C. 1, İletişim Yayınları, İstanbul.

Öztuna, Y. (1977). *Büyük Türkiye Tarihi*, C. 4, Ötüken Yayınları, İstanbul.

Savrun, E. (2018). "Kıbrıs'ta Yunan Cunta Darbesine Karşı Türk Barış Harekâtının Belgelerle Kısa Tarihi", *Uluslararası Beşerî Bilimler ve Eğitim Dergisi*, C. 4, S. 9.

Terzioğlu, S. A. (1989). *Kan, Gözyaşı ve Barış*, Kastaş Yayınları, İstanbul.

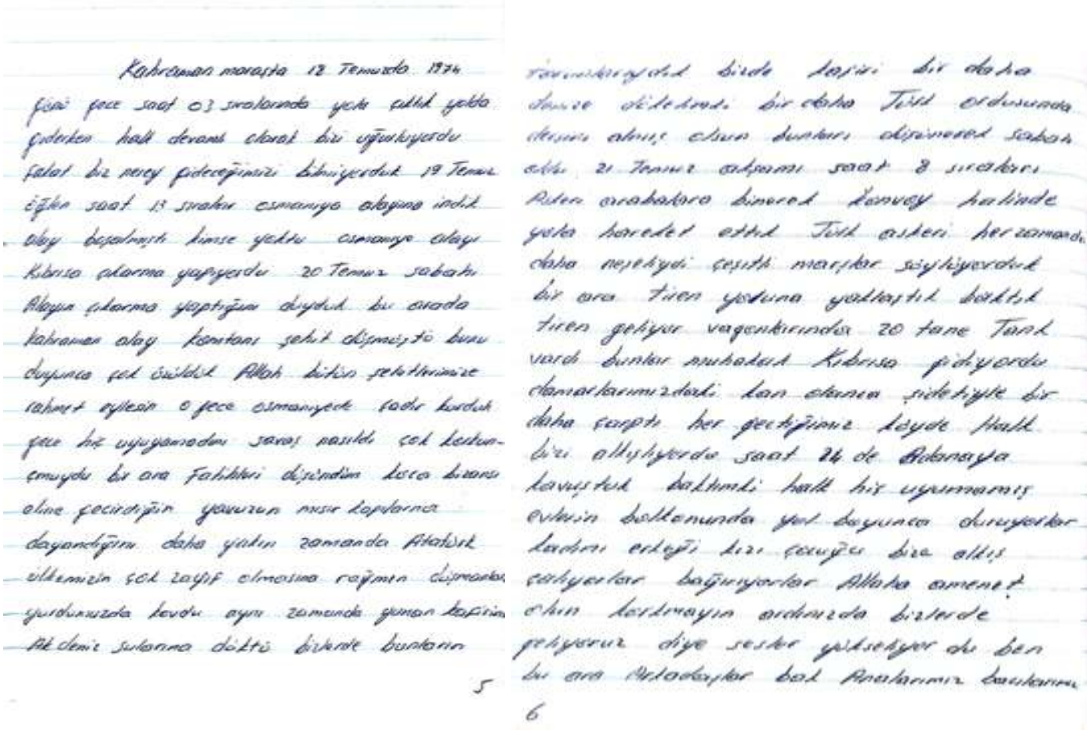
Tuncer, H. (2012). *Kıbrıs Sarmalı: Nasıl Bir Çözüm?*, Kaynak Yayınları, İstanbul.

Uçarol, R. (2019). *Siyasi Tarih 1914–2014*, C. 2, Der Yayınları, İstanbul.

Uzunçarşılı, İ. H. (1995). *Osmanlı Tarihi*, C. 3, Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara..

Yılmaz, H. (2017). "Kıbrıs Barış Harekâtı ve Sonuçları", *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, C. 6, S. 1.

EKLER


Kahraman marşla 12 Temmuz 1974
Çeşi gece saat 03 sıralarında yeni adıl yakla
çıkarken halk devamlı olarak bizi uğurluyordu
Saat biz nereye gideceğimizi bilmiyorduk 19 Temm
Öğle saat 13 sıralarında Esmaniye alayına indik
Alay başlamış bizse yedek Esmaniye alayı
Kıbrıs çıkarma yapıyordu 20 Temmuz sabahı
Alayca çıkarma yaptığını duydu bu arada
kahraman alay komutanı şehit düşmüştü bunu
duyunca çok üzüldük Allah bütün şehitlerimize
rahmet eylesin o gece Esmaniyede kadar kaldık
gece hiç uyuyamadan sabah oldu çok korkunç
emiydi bir ara Fahrettin dizdardan boca bizden
aldığı yeşilin nasıl kaybolduğunu
duyduğumu daha yakın zamanda Atatürk
ordumuzun çok zayıf olmasına rağmen düşmanları
yurdumuzda kovdu aynı zamanda yunan kapitü
Ali Demir subayını dövdü birlikte bunlarını
5

Tekrar geriye birde kapıcı bir daha
ölmüş dedeydi. bir daha Türk ordusunda
dünün ahmet olsun bunları düşünerek sabah
oldu 21 Temmuz sabahı saat 8 sıralarını
Adana arabalara binerek konvoy halinde
yola hareket ettik Türk askeri her zamanda
daha neşeliydi çeşitli marşlar söyleyerek
bir ara Tarsus yoluna yaklaştık bakıldı
Tarsus gelyor vagonlarında 20 tane Türk
varda bunlar muhabere Kıbrısa gidiyordu
damarlarımızdaki kan akarken şiddetiyle bir
daha coştu her geçtiğimiz köyde halk
bizi alkışlıyordu saat 24 de Adanaya
varıştık bakıldı halk hiç uyumamış
evlerin bahçelerinde yol boyunca dizilmişler
kadını erkeği bizi coşkuyla bize alkış
tutuyorlar bağırıyorlar Allaha emanet
olun kardeşler arkamızda bizlerde
geliyoruz diye sesler yükseliyor ki ben
bu ana kadar böyle Anavatanımızı sevdiğimi
6

Okul Öncesi Eğitim Programlarında Çocuk Refahı: Finlandiya, Singapur ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin Karşılaştırmalı Doküman Analizi

Child Wellbeing in Preschool Education Curricula: A Comparative Document Analysis of Finland, Singapore, and the Türkiye Century Maarif Model

İdris KARA[1]

[1]E-mail: idriskara@siirt.edu.tr; Siirt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çocuk Gelişimi Bölümü, Siirt/ Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, okul öncesi eğitim programlarında "çocuk refahı" (child wellbeing) kavramının nasıl ele alındığı Finlandiya, Singapur ve Türkiye örnekleri üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Nitel araştırma yaklaşımıyla yürütülen çalışmada doküman analizi yöntemi kullanılmış; veri kaynağı olarak Finlandiya Ulusal Eğitim Ajansı'nın National Core Curriculum for Early Childhood Education and Care (2022), Singapur Eğitim Bakanlığı'nın Nurturing Early Learners Framework (2022) ve Türkiye Millî Eğitim Bakanlığı'nın Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) Okul Öncesi Eğitim Programı (2024) belgelerinden yararlanılmıştır. Çocuk refahı; fiziksel refah, duygusal-psikolojik refah, sosyal refah/aidiyet, özerklik-söz hakkı/katılım ve sürdürülebilirlik-refah ilişkisi olmak üzere beş boyutta ele alınmıştır. İnceleme, üç programın da refah kavramına yer verdiğini, ancak kavramın programlardaki konumunun birbirinden ayrıldığını göstermiştir. Finlandiya'da refah, yasal bir temel ilke olarak; Singapur'da ölçülebilir bir yetkinlik ve çıktı olarak; TYMM'de ise farklı beceri alanlarına dağılmış göstergeler biçiminde yer almaktadır. Bulgular, TYMM Okul Öncesi Eğitim Programı'nda çocuk refahının ayrı ve bütünlüklü bir ilke olarak tanımlanmasının programın kavramsal bütünlüğünü ve izlenebilirliğini güçlendirebileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: çocuk refahı, doküman analizi, karşılaştırmalı eğitim, okul öncesi eğitim programı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli.

Abstract

This study examines how child wellbeing is addressed in preschool education curricula in Finland, Singapore, and Türkiye. A qualitative research design was adopted and document analysis was used as the main method. The analysis focused on the Finnish National Agency for Education's National Core Curriculum for Early Childhood Education and Care (2022), the Singapore Ministry of Education's Nurturing Early Learners Framework (2022), and the Turkish Ministry of National Education's Türkiye Century Maarif Model (TYMM) Preschool Education Programme (2024). Child

wellbeing was examined under five dimensions: physical wellbeing, emotional-psychological wellbeing, social wellbeing/belonging, autonomy-voice/participation, and the relationship between sustainability and wellbeing. The findings show that all three curricula refer to wellbeing, but the concept occupies different positions in each framework. In Finland, wellbeing is established as a statutory foundational principle; in Singapore, it is linked to measurable competencies and outcomes; and in TYMM, it appears through indicators distributed across different skill domains. The findings suggest that defining child wellbeing as a distinct and integrated principle in the TYMM preschool programme could strengthen its conceptual coherence and make the concept more visible and traceable in practice.

Keywords: child wellbeing, document analysis, comparative education, preschool education curriculum, Türkiye Century Maarif Model,

GİRİŞ

Erken çocukluk dönemi, bilişsel, duygusal, sosyal ve fiziksel gelişimin hızlı biçimde ilerlediği ve sonraki yıllardaki eğitsel ve toplumsal yaşantı üzerinde önemli etkiler bıraktığı bir dönemdir (OECD, 2017). Bu nedenle okul öncesi eğitimde çocuğun yalnızca bilgi ve beceri kazanması değil, kendisini güvende, değerli ve ait hissetmesi; günlük yaşantısında söz sahibi olabilmesi ve genel iyi oluşunun desteklenmesi de önem taşımaktadır (Statham ve Chase, 2010). Çocuk refahı (child wellbeing) kavramı, özellikle 2000'li yıllardan itibaren eğitim ve sosyal politika çalışmalarında daha görünür hâle gelmiş; sağlık ve güvenliğin ötesinde duygusal güvenlik, sosyal ilişkiler, aidiyet, özerklik ve katılım gibi farklı boyutları içeren bir yapı olarak ele alınmaya başlanmıştır (Ben-Arieh, 2008).

OECD'nin Starting Strong rapor serisinde de erken çocukluk eğitimi ve bakımının (ECEC) niteliği değerlendirilirken çocuklarla kurulan anlamlı etkileşimler ve çocukların refahı önemli göstergeler arasında yer almaktadır (OECD, 2021). Bununla birlikte, refahın resmi eğitim programlarında nasıl tanımlandığı ve program içinde hangi konuma yerleştirildiği ülkeler arasında değişmektedir. Kimi sistemlerde refah yasal bir ilke olarak güvence altına alınırken, kimi sistemlerde öğrenme çıktıları ya da beceri göstergeleri üzerinden ele alınmaktadır. Bu farklılık, Bronfenbrenner'ın (1979) ekolojik sistemler kuramında vurguladığı üzere, eğitim programlarının içinde şekillendiği kültürel ve politik çevreyle yakından ilişkilidir.

Türkiye'de 2024 yılında yürürlüğe giren Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) Okul Öncesi Eğitim Programı, çocuğun gelişimini "Erdem-Değer-Eylem Modeli" çerçevesinde bütüncül biçimde ele alan, beceri ve değer temelli kapsamlı bir düzenleme olarak hazırlanmıştır (MEB, 2024). TYMM'nin farklı ülkelerin okul öncesi eğitim programlarıyla genel düzeyde karşılaştırıldığı çalışmalar bulunmakla birlikte, çocuk refahının doğrudan odağa alındığı ve birden fazla ülkenin resmi program dokümanlarının sistematik biçimde karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çocuk refahının programlardaki yerini karşılaştırmalı olarak incelemek, TYMM'nin bu kavrama ilişkin yaklaşımını daha açık biçimde değerlendirmeye imkân vermektedir.

Karşılaştırmaya Finlandiya ve Singapur'un dâhil edilmesinde, bu iki ülkenin farklı pedagojik ve politika geleneklerini temsil etmesi etkili olmuştur. Finlandiya, çocuk hakları ve esenliğini yasal çerçeveyle güvence altına alan İskandinav yaklaşımının belirgin örneklerinden biridir (Kumpulainen, 2018). Singapur ise erken çocukluk eğitimine yönelik sistematik yatırımları ve Nurturing Early Learners (NEL) çerçevesiyle daha yapılandırılmış ve hedef odaklı bir yaklaşımı temsil etmektedir (Tan, 2017). Türkiye'deki 2024 reformunun bu iki farklı yaklaşım karşısındaki konumunu incelemek, programın çocuk refahına ilişkin güçlü ve geliştirilmesi gereken yönlerini tartışmak açısından anlamlıdır.

Çocuk refahının erken çocukluk programlarında nasıl ele alınması gerektiğine ilişkin çalışmalar, farklı kuramsal yönelimlere dayanmaktadır. Laevers'in (2005) süreç odaklı yaklaşımında refah ve katılım, çocuğun eğitim sürecindeki deneyimini anlamaya yardımcı olan ve gözlem yoluyla izlenebilen göstergeler olarak ele alınmaktadır. Buna karşılık Fattore, Mason ve Watson (2007), çocuk refahının yalnızca yetişkinler tarafından belirlenen ölçütlerle açıklanamayacağını, çocukların kendi deneyim ve değerlendirmelerinin de dikkate alınması gerektiğini savunmaktadır. Bu iki yaklaşım birlikte düşünüldüğünde, resmi programların refahı daha çok yetişkinlerin belirlediği bir çıktı olarak mı, yoksa çocuğun günlük yaşamında deneyimlediği bir süreç olarak mı gördüğü önemli bir tartışma alanı hâline gelmektedir.

Uluslararası karşılaştırmalar da çocuk refahının yalnızca ekonomik göstergelerle açıklanamayacağını göstermektedir. UNICEF'in (2007) zengin ülkelerdeki çocuk refahını altı boyutta ele aldığı Innocenti Report Card 7, İskandinav ülkelerinin, Finlandiya da dâhil olmak üzere, çocuk refahı bakımından üst sıralarda yer aldığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, çocukların yaşam koşullarının ve refahının belirlenmesinde sosyal politika tercihlerinin önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir. Öte yandan Dahlberg ve Moss (2008), erken çocukluk eğitiminde "kalite" kavramının

evrensel ve değişmez ölçütlerle tanımlanmasına karşı çıkarak, kalite ve refah anlayışlarının kültürel ve politik bağlam içinde şekillendiğini ileri sürmektedir. Dolayısıyla ülkeler arasındaki farklılıkları yalnızca başarı düzeyi üzerinden değerlendirmek yerine, refahın her bağlamda nasıl anlamlandırıldığına bakmak daha açıklayıcıdır.

Karşılaştırmalı erken çocukluk eğitimi çalışmalarında da benzer bir durum görülmektedir. Tobin, Hsueh ve Karasawa (2009) ile Samuelsson, Sheridan ve Williams (2006), farklı ülkelerin okul öncesi programlarında ortak gelişimsel amaçların bulunmasına karşın, bu amaçların programlara ve uygulamalara yansıma biçimlerinin kültürel özelliklere göre değiştiğini göstermiştir. Sylva, Melhuish, Sammons, Siraj-Blatchford ve Taggart'ın (2010) İngiltere'de yürüttüğü EPPE (Effective Pre-school and Primary Education) projesi ise erken çocukluk eğitiminin niteliğinin çocukların sonraki akademik ve sosyal-duygusal gelişimleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, çocuk refahının eğitim programlarında açık ve izlenebilir biçimde ele alınmasının yalnızca kavramsal değil, uygulamaya dönük bir karşılığının da bulunduğunu göstermektedir.

Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, Finlandiya, Singapur ve Türkiye'nin güncel okul öncesi eğitim programlarında çocuk refahının hangi boyutlarda ele alındığını ve program içinde hangi kavramsal statüye sahip olduğunu karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır.

Araştırma Soruları

1. İncelenen üç ülkenin okul öncesi eğitim programlarında çocuk refahı kavramı hangi düzeyde (yasal ilke, ölçülebilir çıktı, dağınık gösterge) yer almaktadır?

2. Programlarda fiziksel, duygusal-psikolojik, sosyal ve özerklik temelli refah boyutları nasıl ele alınmıştır?

3. Sürdürülebilirlik ile çocuk refahı arasındaki ilişki programlarda nasıl kurulmuştur?

YÖNTEM

Araştırma Modeli

Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı (Creswell, 2013) doğrultusunda yürütülen bir doküman analizi çalışmasıdır. Karşılaştırma sürecinde Bereday'in (1964) karşılaştırmalı eğitim için önerdiği betimleme, yorumlama, yan yana koyma ve karşılaştırma aşamalarından yararlanılmıştır.

Veri Kaynakları

Araştırmanın veri kaynaklarını üç ülkeye ait resmi okul öncesi eğitim programı dokümanları oluşturmaktadır:

• Finlandiya: Finnish National Agency for Education [EDUFI]. (2022). National Core Curriculum for Early Childhood Education and Care 2022. Helsinki: EDUFI.

• Singapur: Ministry of Education, Singapore [MOE]. (2022). Nurturing Early Learners: A Curriculum Framework for Preschool Education in Singapore (NEL Framework 2022). Singapore: MOE.

• Türkiye: Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı. Ankara: MEB.

Analitik Çerçeve

Analiz çerçevesi oluşturulurken ilgili alanyazından (Ben-Arieh, 2008; OECD, 2021; Statham ve Chase, 2010) yararlanılmıştır. Çocuk refahı beş boyut altında incelenmiştir: (1) fiziksel refah, (2) duygusal-psikolojik refah, (3) sosyal refah/aidiyet, (4) özerklik ve söz hakkı/katılım ve (5) sürdürülebilirlik ile refah arasındaki ilişki. Her boyut için programlarda yer alan ilgili anahtar terimler taranmış; İngilizce belgelerde well-being, wellbeing, rest, safety, bullying, autonomy, voice, participation ve sustainability; Türkçe belgede ise refah, esenlik, iyi oluş, özerklik, katılım ve sürdürülebilirlik terimleri dikkate alınmıştır. Terimlerin yalnızca bulunup bulunmadığına değil, hangi bağlamda kullanıldığına ve program içinde nasıl bir yapısal konuma sahip olduğuna da bakılmıştır.

Verilerin Analizi

Veriler betimsel analiz yoluyla incelenmiştir. Öncelikle her programda belirlenen terimlerin geçtiği yerler saptanmış, ardından bu ifadelerin kullanıldığı bağlam değerlendirilmiştir. Böylece refahın programda bir ilke, öğrenme çıktısı ya da tekil bir beceri göstergesi olarak mı ele alındığı belirlenmiştir. Daha sonra üç programın bulguları, oluşturulan beş boyutlu çerçeve doğrultusunda yan yana getirilerek karşılaştırılmıştır.

Sınırlılıklar

Çalışma yalnızca yazılı program dokümanlarının incelenmesine dayanmaktadır; dolayısıyla sınıf içindeki uygulamalara ilişkin doğrudan veri içermemektedir. TYMM belgesinin 392 sayfalık kapsamı nedeniyle tarama anahtar terimler üzerinden yürütülmüştür. Bu nedenle "refah" sözcüğüyle doğrudan ifade edilmeyen, ancak dolaylı olarak refahla ilişkili olabilecek bazı ifadelerin inceleme dışında kalmış olması mümkündür. Ayrıca karşılaştırma üç ülkenin programıyla sınırlandırılmıştır.

BULGULAR

Bulgular, Finlandiya, Singapur ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) okul öncesi eğitim programlarında çocuk refahının fiziksel, duygusal-psikolojik, sosyal, özerklik ve katılım ile sürdürülebilirlik boyutlarında nasıl ele alındığını ortaya koymaktadır.

Tablo 1'de Finlandiya, Singapur ve Türkiye'nin okul öncesi eğitim programlarında çocuk refahının beş boyutta nasıl ele alındığı karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tezlerin Yayım Yılı ve Türüne Göre Dağılımı

Tablo 1. *Finlandiya, Singapur ve TYMM Okul Öncesi Eğitim Programlarında Çocuk Refahının Boyutlara Göre Karşılaştırılması*

Boyut	Finlandiya (2022)	Singapur NEL (2022)	TYMM (2024)
Fiziksel refah	Yasal ilke düzeyinde (ECEC Kanunu md. 3): dengeli beslenme, dinlenme hakkı ve "acelesiz ortam" hakkı	"Health, Safety and Motor Skills" öğrenme alanında hedef: dengeli beslenme ile yeterli uyku, dinlenme ve egzersiz konusunda farkındalık	HSAB alanında farklı kazanımlara dağılmış ifadeler (örn. "fiziksel hareketin iyi oluşa etkisini fark eder"); bütünleşik bir ilke yok
Duygusal-psikolojik refah	Ayrı bir ilke paragrafı: zorbalıktan korunma hakkı ve "acelesiz/konsantrasyonu destekleyen ortam"	Beş SEL yetkinliğinden biri olan öz-yönetim, "personal well-being" ile doğrudan ilişkilendirilmiş	Tek bir değer göstergesi (D16.1.1: "bedensel, ruhsal ve sosyal iyi oluşu için çaba gösterir"); zorbalık kavramına açıkça yer verilmemiş
Sosyal refah / aidiyet	Akran ilişkileri ve topluluk refahı, zorbalığı önleme kültürünün bir parçası olarak ele alınıyor	Dört temel değer (Saygı, Sorumluluk, Şefkat, Dürüstlük) üzerinden sosyal uyum ve toplumla bütünleşme	Toplum Katılımı bölümünde "çocuğun ve toplumun refahı" bir amaç olarak yer alıyor; daha çok aile-okul-toplum iş birliğinin çıktısı olarak ele alınıyor
Özerklik / söz hakkı / katılım	Yasal madde (md. 9): çocuğun kendi işlerine katılma ve süreçleri etkileme hakkı; "voice" kavramı açık	"Autonomy" kavramı merkezi: oyunda seçim özgürlüğü ve öğretmenin çocuk yönelimli yaklaşıma yönelmesi	"Özerklik" yalnızca bir kez, "azimli olmak" değerinin alt göstergesinde içsel motivasyon kaynaklarından biri olarak geçiyor; hak temelli bir çerçeve yok
Sürdürülebilirlik-refah ilişkisi	Refahla aynı başlıkta: "esenlik, güvenlik ve sürdürülebilir yaşam biçimi"; bütünleşik bir ilke	Sürdürülebilirlik sınırlı yer alıyor ve refahla doğrudan ilişkilendirilmiyor	Sürdürülebilirlik sık geçiyor ancak çevresel okuryazarlık ve tüketim bağlamında ele alınıyor; refahla açık bir ilişki kurulmamış

Not: *Tablo, üç ülkenin okul öncesi eğitim programlarında çocuk refahına ilişkin ifadelerin beş boyut çerçevesinde karşılaştırılmasıyla oluşturulmuştur. Değerlendirmede kavramların programlardaki kullanım biçimi ve yapısal konumu dikkate alınmıştır.*

1. Fiziksel Refah

Finlandiya'nın National Core Curriculum belgesinde fiziksel refah, Erken Çocukluk Eğitimi ve Bakımı Kanunu'nun 3. maddesinde belirtilen on amaçtan ilki kapsamında ele alınmaktadır. Bu amaç, "her çocuğun bütüncül büyüme, gelişme, sağlık ve refahının desteklenmesi"ni güvence altına almaktadır. Ayrıca belgede "Well-being, safety, and a sustainable way of living" başlığı altında dengeli beslenme, dinlenme ve çocuğun aceleye getirilmeden, dikkatini ve konsantrasyonunu sürdürebileceği bir ortamda bulunması gibi unsurlara açıkça yer verilmektedir.

Singapur'un NEL çerçevesinde fiziksel refah, "Health, Safety and Motor Skills" öğrenme alanının amaçları arasında değerlendirilmektedir. Bu kapsamda çocukların dengeli beslenme, yeterli uyku ve dinlenme ile düzenli egzersizin sağlık açısından önemini fark etmeleri beklenmektedir. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde (TYMM) ise fiziksel refahla ilişkili ifadeler, Hareket, Sağlık ve Aktif Yaşam Becerileri (HSAB) alanındaki çeşitli kazanımlar içerisinde yer almaktadır. Örneğin, "Fiziksel hareketin iyi oluşa olumlu etkilerini fark eder" ifadesi bu kapsamda değerlendirilebilir. Bununla birlikte, fiziksel refahın program içerisinde bağımsız bir başlık altında ya da bütüncül bir ilke olarak ele alınmadığı görülmektedir.

2. Duygusal-Psikolojik Refah

Finlandiya programında duygusal refah, çocuğun zorbalık, şiddet ve tacizden korunmasına ilişkin açık ifadelerle ele alınmaktadır. Bu kapsamda zorbalığın tanınması, gerekli müdahalenin yapılması ve önlenmesine yönelik sorumluluk kurumsal bir yükümlülük olarak belirtilmektedir. Böylece çocuğun kendini güvende hissedebileceği bir eğitim ortamının oluşturulması programın temel unsurlarından biri hâline gelmektedir.

Singapur'un NEL çerçevesinde duygusal-psikolojik refah, beş sosyal-duygusal yetkinlikten biri olan "öz-yönetim" ile ilişkilendirilmekte ve "personal well-being" kavramıyla doğrudan bağlantı kurulmaktadır. TYMM'de ise duygusal refahla ilişkilendirilebilecek en belirgin ifade, "Kendine karşı görevlerini yerine getirmek" değeri altında yer alan D16.1.1 göstergesidir. "Bedensel, ruhsal ve sosyal iyi oluşu için çaba gösterir" biçimindeki bu gösterge, refahın farklı boyutlarına birlikte işaret etmektedir. Buna karşın, programın taranması sırasında zorbalık, taciz veya duygusal güvenlik hakkına ilişkin doğrudan bir ifadeye rastlanmamıştır.

3. Sosyal Refah ve Aidiyet

Finlandiya programında sosyal refah, çocuğun akranlarıyla kurduğu ilişkiler ve içinde bulunduğu toplulukla olan ilişkisi üzerinden ele alınmaktadır. Akran ilişkilerinin desteklenmesi ve çocukların topluluk içinde kendilerini güvende hissetmeleri, zorbalığın önlenmesine yönelik yaklaşımın bir parçası olarak görülmektedir.

Singapur'da sosyal refah daha çok değerler eğitimi üzerinden şekillenmektedir. Saygı, sorumluluk, şefkat ve dürüstlükten oluşan dört temel değer, çocukların sosyal ilişkiler geliştirmeleri ve çok kültürlü toplum yapısı içerisinde uyumlu bir biçimde yaşamalarıyla ilişkilendirilmektedir. TYMM'de ise sosyal refahla ilgili en açık ifade, Toplum Katılımı bölümünde "çocuğun ve toplumun refahını desteklemek" şeklinde yer almaktadır. Ancak burada refah, öncelikle çocuğun bireysel sosyal ve duygusal yaşantısından ziyade aile, okul ve toplum arasındaki iş birliğinin bir sonucu olarak ele alınmaktadır.

4. Özerklik, Söz Hakkı ve Katılım

Finlandiya'da çocuğun kendisini ilgilendiren konularda görüş bildirmesi, süreçlere katılması ve bu süreçleri etkileyebilmesi yasal güvence altındadır. Erken Çocukluk Eğitimi ve Bakımı Kanunu'nun 9. maddesi, çocuğun kendi yaşamını ilgilendiren konularda katılım ve etki hakkını açık biçimde tanımaktadır. Bu yaklaşım, çocuğu yalnızca eğitim sürecinin alıcısı olarak değil, sürece katkıda bulunan bir özne olarak değerlendirmektedir.

Singapur'un NEL çerçevesinde "autonomy" kavramına daha sık ve belirgin biçimde yer verilmektedir. Özellikle oyun sırasında çocuğun seçim yapabilmesine olanak tanınması ve öğretmenin uygulamalarını daha çocuk yönelimli bir noktaya taşıması beklenmektedir. TYMM'de ise "özerklik" kavramı yalnızca bir kez geçmekte ve "azimli olmak" değerinin alt göstergelerinden biri olarak ele alınmaktadır. Bu kullanımda özerklik; ilgi, merak, gelişim ve keşifle birlikte içsel motivasyonu destekleyen unsurlardan biri olarak görülmektedir. Bununla birlikte, çocuğun kendi kararlarını verme ve kendisini ilgilendiren süreçlere katılma hakkını temel alan açık bir çerçeveye programda rastlanmamaktadır.

5. Sürdürülebilirlik ile Refah Arasındaki İlişki

Finlandiya programında sürdürülebilirlik ile refah arasındaki ilişki diğer iki programa kıyasla daha bütünlüklü bir şekilde kurulmuştur. "Well-being, safety, and a sustainable way of living" başlığı altında sürdürülebilir yaşam, çocuğun günlük yaşamındaki refah ve güvenlik anlayışıyla birlikte ele alınmaktadır. Ekolojik, kültürel ve ekonomik sürdürülebilirliğe ilişkin unsurlar, yalnızca çevreye yönelik sorumluluklar bağlamında değil, çocukların ve topluluğun yaşam kalitesiyle ilişkili bir bütünün parçaları olarak değerlendirilmektedir.

Singapur'da sürdürülebilirliğe daha sınırlı ölçüde yer verilmekte ve kavram ile refah arasında doğrudan bir bağlantı kurulmamaktadır. TYMM'de sürdürülebilirlik kavramı ise daha sık kullanılmasına karşın ağırlıklı olarak çevresel okuryazarlık, doğal kaynakların korunması ve tüketim alışkanlıkları çerçevesinde ele alınmaktadır. Programda sürdürülebilirliğin çocuğun refahıyla doğrudan ilişkilendirildiği açık bir kavramsal çerçeve bulunmamaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada Finlandiya, Singapur ve Türkiye'nin okul öncesi eğitim programları, çocuk refahı kavramının programlardaki karşılığı üzerinden beş alt boyut dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. İncelenen programların tamamında refaha ilişkin ifadelere yer verilmekle birlikte, kavramın program içerisindeki yeri ve işlevi ülkeler arasında belirgin biçimde farklılaşmaktadır. Finlandiya'da refah, Erken Çocukluk Eğitimi ve Bakımı Kanunu'na dayanan yasal bir temel olarak ele alınırken, Singapur'da sosyal-duygusal yetkinliklerle bağlantılı ve izlenebilir bir eğitim çıktısı niteliği taşımaktadır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde (TYMM) ise refah kavramı daha çok farklı beceri alanlarına ve göstergelere dağılan bir yapı içerisinde karşımıza çıkmaktadır. Finlandiya'ya ilişkin bu değerlendirme, Kumpulainen'in (2018) ülkenin erken çocukluk eğitimi sistemini "prensipli, kişiselleştirilmiş, güvene dayalı ve çocuk merkezli" olarak nitelendiren yaklaşımıyla uyumludur.

Singapur örneğinde refahın sosyal-duygusal yetkinlikler çerçevesinde belirli beceri ve çıktılarla ilişkilendirilmesi, kavramın program içerisinde daha kolay izlenebilir hâle gelmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, Tan'ın (2017) Singapur'daki erken çocukluk eğitiminin sistematik ve hedef odaklı bir anlayışla geliştirildiğine ilişkin değerlendirmeleriyle paralellik göstermektedir. TYMM açısından bakıldığında ise çocuk refahının Erdem-Değer-Eylem Modeli'nin (MEB, 2024) genel yaklaşımı içinde karşılıkları bulunmakla birlikte, kavramın bağımsız ve bütünlüklü bir

çerçeve içerisinde tanımlanmadığı görülmektedir. Refaha ilişkin unsurların farklı beceri alanları ve göstergeler arasında dağılması, kavramın program genelindeki görünürlüğünü azaltmaktadır. Bu sonuç, Ben-Arieh'in (2008) çocuk refahının politika belgelerinde çoğu zaman örtük biçimde yer alabildiği ve açık bir çerçeveye kavuşturulmadığında izlenmesinin güçleştiği yönündeki değerlendirmesiyle birlikte düşünülebilir.

Sürdürülebilirlik ile refah arasındaki ilişki de üç program arasındaki yaklaşım farklılıklarını belirgin biçimde ortaya koymaktadır. Finlandiya'da sürdürülebilir yaşam, refah ve güvenlikle aynı başlık altında ele alınarak çocuğun günlük yaşamının doğal bir parçası olarak görülmektedir. Buna karşılık TYMM'de sürdürülebilirlik kavramına geniş bir yer verilmesine rağmen, sürdürülebilir yaşam ile çocuk refahı arasında doğrudan bir kavramsal ilişki kurulmamıştır. Programdaki sürdürülebilirlik vurgusunun daha çok çevresel okuryazarlık, doğal kaynakların korunması ve tüketim alışkanlıkları çevresinde şekillendiği görülmektedir. Dolayısıyla iki program arasındaki temel fark, sürdürülebilirliğin yalnızca çevreye ilişkin bir bilgi ve beceri alanı olarak mı, yoksa çocuğun yaşam koşulları ve refahıyla birlikte mi ele alındığı noktasında ortaya çıkmaktadır.

Genel değerlendirme, TYMM'nin okul öncesi eğitim programının kapsamlı bir yapıya ve güçlü bir değerler boyutuna sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte çocuk refahının programın farklı unsurları arasında dağılmış olması, kavramın ayrı ve görünür bir bütün olarak izlenmesini güçleştirmektedir. Programın uygulanması açısından düşünüldüğünde, refahın açık bir ilke olarak tanımlanmaması öğretmenlerin bu alanı günlük eğitim süreçlerinde sistematik biçimde ele almalarını zorlaştırabilir. Nitekim Statham ve Chase (2010), çocuk refahının eğitim ve politika belgelerinde görünür biçimde tanımlanmasının, kavramın değerlendirilmesi ve uygulamadaki karşılığının izlenmesi açısından önem taşıdığını belirtmektedir.

Bu sonuçlar Laevers'in (2005) süreç odaklı yaklaşımı açısından da değerlendirilebilir. Laevers, çocukların refah ve katılım düzeylerinin eğitim ortamının niteliğine ilişkin önemli göstergeler olduğunu ve bunların süreç içerisinde sürekli olarak gözlemlenmesi gerektiğini savunmaktadır. Finlandiya programında refahın bir hak ve kurumsal sorumluluk çerçevesinde ele alınması, bu anlayışla belirli ölçüde örtüşmektedir. TYMM'de ise refaha ilişkin ifadelerin daha çok tekil kazanım ve göstergeler üzerinden kurulması, refahın çocukların günlük deneyimleri içerisinde süreklilik gösteren bir boyut olarak izlenmesini daha az görünür hâle getirmektedir.

Diğer taraftan, üç program arasında ortaklaşan bir nokta da bulunmaktadır. İncelenen belgelerde çocuk refahı büyük ölçüde yetişkinlerin ve politika yapıcıların bakış açısından tanımlanmıştır. Fattore, Mason ve Watson'ın (2007) çocukların kendi refah anlayışlarının dikkate alınması gerektiğine ilişkin yaklaşımı düşünüldüğünde, çocukların refahı nasıl deneyimlediklerine ve bu deneyimi nasıl anlamlandırdıklarına doğrudan yer veren bir çerçevenin üç programda da sınırlı kaldığı söylenebilir. Bu nedenle, çocukların öznel deneyimlerinin programların refah anlayışına daha fazla dâhil edilmesi, yalnızca TYMM açısından değil, karşılaştırılan diğer iki program açısından da üzerinde durulabilecek bir konu olarak ortaya çıkmaktadır.

Dahlberg ve Moss'un (2008) erken çocukluk eğitiminde kalite kavramının evrensel ve tek tip ölçütlere indirgenmesine yönelik eleştirileri dikkate alındığında, Singapur ve Finlandiya arasındaki fark daha anlamlı hâle gelmektedir. Singapur'da refahın sosyal-duygusal yetkinlikler ve gözlenebilir çıktılarla ilişkilendirilmesi, kavramın belirli ölçütler üzerinden izlenmesine imkân veren daha teknik bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Finlandiya'da ise refahın günlük yaşam, ilişkiler, güvenlik ve çocuğun deneyimleriyle birlikte ele alınması daha bağlamsal bir anlayışa işaret etmektedir. TYMM'nin mevcut yapısı bu iki yaklaşımın herhangi birine bütünüyle karşılık gelmemektedir. Refah, ne Singapur'daki gibi açık biçimde ölçülebilir bir çıktı olarak tanımlanmakta ne de Finlandiya'daki gibi bağımsız ve bütünleşik bir ilke hâline getirilmektedir. Bunun yerine, farklı beceri ve değer alanları içerisinde karşılığı bulunan göstergeler üzerinden ele alınmaktadır.

Bu noktada Sylva ve arkadaşlarının (2010) EPPE projesinden elde edilen bulgular da önem kazanmaktadır. Erken çocukluk eğitimindeki niteliğin çocukların sonraki akademik ve sosyal-duygusal gelişimleriyle ilişkili olması, refah gibi temel bir boyutun programlarda açık ve izlenebilir biçimde ele alınmasını önemli hâle getirmektedir. Refahın kavramsal sınırlarının yeterince belirgin olmaması, bu boyutun eğitim sürecindeki gelişiminin ve programın uzun vadeli sonuçlarıyla ilişkisinin değerlendirilmesini güçleştirebilir. Bununla birlikte, Tobin, Hsueh ve Karasawa (2009) ile Samuelsson, Sheridan ve Williams'ın (2006) karşılaştırmalı erken çocukluk eğitimi çalışmalarında vurguladıkları kültürel bağlamın önemi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle Finlandiya, Singapur ve TYMM arasındaki farklılıkları bir programın diğerinden üstün olduğu şeklinde değerlendirmek yerine, çocuk refahının farklı eğitim sistemlerinde ve toplumsal bağlamlarda farklı biçimlerde anlamlandırıldığı ve yapılandırıldığı şeklinde okumak daha yerinde olacaktır.

Sonuç olarak, TYMM okul öncesi eğitim programında çocuk refahına ilişkin unsurların mevcut olduğu, ancak bunların programın tamamını kuşatan açık ve bütünleşik bir kavramsal çerçeve içerisinde bir araya getirilmediği görülmektedir. Programın güçlü değer ve beceri temelli yapısı içerisinde refahın daha görünür hâle getirilmesi hem kavramsal bütünlüğü hem de uygulamada izlenebilirliği destekleyebilir. Bunun yanında fiziksel, duygusal ve sosyal refahın yanı sıra çocuğun özerkliği, söz hakkı ve katılımının da açık biçimde ele alınması, refah anlayışının daha bütüncül bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayabilir. Sürdürülebilirlik ile refah arasındaki ilişkinin program içerisinde daha açık kurulması da bu bütünlüğü güçlendirecek bir diğer alan olarak değerlendirilebilir.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda ise program metinlerinde refahın nasıl tanımlandığının ötesine geçilerek, bu yaklaşımın öğretmenlerin sınıf içindeki uygulamalarına nasıl yansıdığı incelenebilir. Gözlem ve görüşme çalışmalarının bu kapsamda kullanılması, yazılı program ile uygulama arasındaki ilişkinin daha ayrıntılı biçimde ortaya konulmasına ve mevcut bulguların tamamlanmasına olanak sağlayacaktır.

Öneriler

Araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. TYMM Okul Öncesi Eğitim Programı'nda çocuk refahının, fiziksel, duygusal ve sosyal boyutlarıyla birlikte açık ve bütünlüklü bir başlık altında ele alınması, kavramın program içerisindeki görünürlüğünü artırabilir. Bu açıdan Finlandiya programındaki yaklaşım, yararlanılabilecek bir örnek olarak değerlendirilebilir.

2. Zorbalık, taciz ve duygusal güvenlik gibi çocukların refahını doğrudan ilgilendiren konuların programda daha açık biçimde ele alınması, öğretmenlerin bu konulardaki sorumluluklarının ve uygulamadaki rolünün belirginleşmesine katkı sağlayabilir.

3. Sürdürülebilirliğe ilişkin kazanımların yalnızca çevresel okuryazarlık ve kaynakların korunması çerçevesinde ele alınmayıp çocuk refahıyla da ilişkilendirilmesi, programdaki farklı öğrenme alanları arasında daha güçlü bir bütünlük kurulmasına yardımcı olabilir.

4. İleride yapılacak araştırmalarda, programda çocuk refahına ilişkin ortaya konulan yaklaşımın sınıf içindeki uygulamalara nasıl yansıdığı ele alınabilir. Öğretmenlerle gerçekleştirilecek görüşmelerin ve sınıf içi gözlemlerin kullanılması, yazılı program ile uygulama arasındaki ilişkiye ilişkin daha ayrıntılı bilgi sağlayabilir.

Etik Beyan

Bu araştırmada yalnızca kamuya açık resmî program dokümanları incelendiği için etik kurul izni gerektirecek herhangi bir insan katılımcı verisi toplanmamıştır. Araştırma kapsamında kişisel veri kullanılmamıştır.

KAYNAKÇA

Ben-Arieh, A. (2008). The child indicator movement: Past, present, and future. *Child Indicators Research, 1*(1), 3–16. https://doi.org/10.1007/s12187-007-9003-1

Bereday, G. Z. F. (1964). *Comparative method in education*. Holt, Rinehart and Winston.

Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of human development: Experiments by nature and design*. Harvard University Press.

Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). Sage.

Dahlberg, G., & Moss, P. (2008). *Beyond quality in early childhood education and care: Languages of evaluation*. Falmer Press.

Fattore, T., Mason, J., & Watson, E. (2007). Children's conceptualisation(s) of their well-being. *Social Indicators Research, 80*(1), 5–29. https://doi.org/10.1007/s11205-006-9019-9

Finnish National Agency for Education. (2022). *National core curriculum for early childhood education and care 2022*. EDUFI.

Kumpulainen, K. (2018). A principled, personalised, trusting and child-centric ECEC system in Finland. In S. L. Kagan (Ed.), *The early advantage 1: Early childhood systems that lead by example* (pp. 72–98). Teachers College Press.

Laevers, F. (2005). The curriculum as means to raise the quality of early childhood education. Implications for policy. *European Early Childhood Education Research Journal, 13*(1), 17–29. https://doi.org/10.1080/13502930585209531

Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli okul öncesi eğitim programı*. MEB.

Ministry of Education, Singapore. (2022). *Nurturing early learners: A curriculum framework for preschool education in Singapore (NEL Framework 2022)*. MOE.

OECD. (2017). *Starting strong V: Transitions from early childhood education and care to primary education*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264276253-en

OECD. (2021). *Starting strong VI: Supporting meaningful interactions in early childhood education and care*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/f47a06ae-en

Samuelsson, I. P., Sheridan, S., & Williams, P. (2006). Five preschool curricul-comparative perspective. *International Journal of Early Childhood, 38*, 11–30. https://doi.org/10.1007/BF03165975

Statham, J., & Chase, E. (2010). *Childhood wellbeing: A brief overview (Briefing Paper 1)*. Childhood Wellbeing Research Centre.

Sylva, K., Melhuish, E., Sammons, P., Siraj-Blatchford, I., & Taggart, B. (2010). *Early childhood matters: Evidence from the Effective Pre-school and Primary Education project*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203862063

Tan, C. T. (2017). Enhancing the quality of kindergarten education in Singapore: Policies and strategies in the 21st century. *International Journal of Child Care and Education Policy*, *11*(7), 1-22. https://doi.org/10.1186/s40723-017-0033-y

Tobin, J., Hsueh, Y., & Karasawa, M. (2009). *Preschool in three cultures revisited: China, Japan, and the United States*. University of Chicago Press.

UNICEF. (2007). *Child poverty in perspective: An overview of child well-being in rich countries (Innocenti Report Card 7)*. UNICEF Innocenti Research Centre.

Müzik Eğitiminde Zihinsel Uygulama: Klasik Gitar Deşifresi Üzerine Bir Araştırma*

Mental Practice in Music Education: A Study on Classical Guitar Sight-Reading

Abdullah Semih BİREL[1], Bazaf Kefee FARAJ [2]

[1]a.semihbirel@gmail.com; Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Devlet Konservatuvarı, Çalgı Yapımı ve Onarımı Bölümü, Zonguldak / Türkiye.

[2]kemerxan@gmail.com; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (mezun yüksek lisans öğrencisi), Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Güzel Sanatlar Eğitimi Anabilim Dalı, Müzik Eğitimi Bilim Dalı, Van / Türkiye.

Özet

Bu araştırma, klasik gitar eğitiminde yapılandırılmış bir zihinsel uygulama çalışmalarının öğrencilerin deşifre performansına etkisini deneysel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmaya, Türkiye'deki bir Doğu Anadolu üniversitesinin Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, Müzik Eğitimi Anabilim Dalı'nda 2017-2018 eğitim-öğretim yılında öğrenim gören sekiz klasik gitar öğrencisi katılmıştır. Araştırma kontrol grupsuz ön test-son test deneysel modelini kullanmıştır. Ön test ve son test performansları video kaydına alınarak üç gitar eğitimi uzmanı tarafından bağımsız biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin zihinsel çalışmaya ilişkin algı ve tutum düzeylerinin düşük olduğunu ortaya koymuştur (M = 31,69). Alan uzmanlarının ön test ve son test değerlendirmelerine göre, gitar öğrencilerinin temel davranışlar, teknik uygulama, müzikal etki ve yorumlama boyutlarında belirgin bir gelişme gösterdikleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel stratejiler, Bireysel çalgı eğitimi, Deşifre becerisi, Klasik gitar, Müzikal performans, Zihinsel uygulama.

* Bu çalışma birinci yazarın danışmanlığında bir Doğu Anadolu üniversitesi bünyesinde tamamlanmış olan (2018) yüksek lisans tezinin verilerinden üretilmiştir.

Abstract

This study aims to experimentally examine the effect of structured mental practice studies on students sight-reading performance in classical guitar education. Eight classical guitar students studying at the Music Education Department, Faculty of Fine Arts Education, of an Eastern Anatolian University in Turkey during the 2017-2018 academic year participated in the study. The study employed a pre test-post test experimental design without a control group. Pre test and post test performances were video recorded and independently evaluated by three expert guitar educators. The obtained findings revealed that students held low levels of perception and attitudes regarding mental rehearsal (*M* = 31.69). According to the field experts pre- and post-test evaluations, it was evident that guitar students showed noticeable improvement across the dimensions of foundational behaviors, technical execution, musical impact, and interpretation.

Keywords: Classical guitar, Cognitive strategies, Individual instrument training, Mental practice, Musical performance, Sight-reading.

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın teknolojik ve pedagojik gelişmeleri, müzik eğitiminde köklü değişimlere zemin hazırlamıştır. Uçan (1996), birey olarak insanı biyopsişik, toplumsal ve kültürel bir varlık olarak tanımlamakta; bilişsel, duyuşsal ve devinişsel davranışlarıyla da bir bütün olarak ele almaktadır (s. 9). Bu bütüncül bakış açısından hareketle bireysel çalgı eğitiminin, müzik eğitiminin vazgeçilmez bileşenlerinden biri olduğu değerlendirilmektedir. Nitekim bireysel çalgı eğitimi dersi; yalnızca teknik bir beceri aktarımından ibaret olmayıp temel algılama ve dinleme eğitimini de kapsayan çok boyutlu bir süreçtir. Bu derste öğrencilere bilinçli algılama, işitme, okuma ve bütün bunları birlikte seslendirmenin temelleri verilmektedir.

Bu çok boyutlu yapının somut bir yansıması olan klasik gitar eğitimi; doğru oturuş, tutuş ve duruş pozisyonlarının yanı sıra konum geçişleri, akorlu pasajlar ile sağ el teknikleri (apoyando, tirando) gibi ileri düzey motor becerilerin sistematik biçimde geliştirilmesini gerektiren özgün bir alandır. Türkiye'de bu disiplin; konservatuvarlar, müzik öğretmenliği lisans programları ve güzel sanatlar fakülteleri başta olmak üzere pek çok yükseköğretim kurumunda akademik bir çerçevede yürütülmektedir. Bahsedilen kapsamlı eğitim yaklaşımı içerisinde yalnızca fiziksel pratik değil; bilişsel süreçlerin de aktif

katılımı vurgulanmaktadır. Bu bağlamda zihinsel uygulama, enstrümana erişimin kısıtlı olduğu koşullarda dahi etkili öğrenmeyi mümkün kılmakta; bu çalışmada yürütülmüş olan deneysel çalışma da bu yöntemin deşifre performansını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde iyileştirdiğini ortaya koymaktadır.

Zihinsel Uygulama (ZU)

Literatürde zihinsel uygulama kavramı, herhangi bir fiziksel eylem gerçekleştirilmeksizin yalnızca zihin aracılığıyla yürütülen çalışma süreci olarak ele alınmaktadır. Mental pratik, mental imgeleme ve mental tasvir gibi farklı terimlerle de ele alınan bu kavram araştırmacılar tarafından birbirine yakın biçimlerde tanımlanmaktadır.

Zihinsel uygulama (ZU), kas hareketi veya ses üretimi olmadan bir becerinin gizli veya hayali provası olarak tanımlanmaktadır (Coffman, 1990, s. 187; Ross, 1985, s. 221). Bu bilişsel süreç, hayal gücü içinde yürütülür ve bir performansın fiziksel icrasını etkileme amacı taşır (Freymuth, 1994, s. 18). Bernardi, Schories, Jabusch, Colombo ve Altenmüller (2013) ZU'yu, performans artırma niyetiyle önceden tasarlanmış bir fikir veya eylemin zihinsel temsilini oluşturma tekniği olarak vurgulamaktadırlar (s. 275). Zihinsel pratiğin öğrenme üzerindeki katkısı, büyük ölçüde görevin fiziksel/motor bileşenlerinden değil, bilişsel-sembolik bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bilişsel süreç sırasında öğrenici, hangi hareket veya stratejilerin denenebileceğini zihninde tasarlayabilir; her bir eylemin olası sonuçlarını, benzer becerilerle ilgili geçmiş deneyimlerine dayanarak bir dereceye kadar öngörebilir ve bu öngörüler doğrultusunda uygun olmayan hareket seçeneklerini eleyerek daha isabetli bir performans planı oluşturabilir (Schmidt, 1982; aktaran Feltz ve Landers, 1983, s. 46). Nitekim zihinsel imgelemenin, etkinliğin fiziksel olarak icra edilmesiyle benzer sinirsel yolları harekete geçirdiği bilinmektedir; bu durum, hareketin gerçekleştirileceği vücut bölgesinde düşük düzeyli kas tepkilerine yol açmakta ve dolayısıyla zihinsel çalışmayı, nadiren de olsa, tamamen hareketsiz bir süreç olmaktan çıkarmaktadır (Grouios, 1992; Kosslyn, Ganis, & Thompson, 2001; aktaran McHugh-Grifa, 2011, s. 66).

Berenson (1999), "Mental Practice and Imagery for Musicians - A Practical Guide for Optimizing Practice Time, Enhancing Performance, and Preventing Injury" adlı Malva Freymuth'a ait kitap değerlendirmesinde, yazarın kendi sakatlık deneyimlerinden yola çıkarak zihinsel uygulamanın önemine dair mantıklı bir çözüm sunduğunu anlatmıştır. Berenson, Freymuth'un zihinsel pratiğin verimliliği artırdığını, müziği fiziksel olarak çalmadan önce zihinde prova yapmanın vücudu doğru tepkiler vermeye programladığını ve yaratıcı imgelerin teknik ve müzikal hedefleri desteklediğini belirttiğini aktarmıştır. Ayrıca, zihinsel uygulamanın fiziksel pratiği tamamlayıcı bir unsur olduğunu, müzikal hedefleri netleştirdiğini, performansı hassasiyetle artırdığını ve çalma sonrası zihinsel gözden geçirmenin hafızayı güçlendirerek temel unsurların kalıcılığını sağladığını vurgulamıştır (s. 75).

Müzik performansı, spor performansına kıyasla daha yüksek düzeyde bilişsel karmaşıklık içermesi nedeniyle zihinsel pratik araştırmaları için ideal bir çalışma alanı sunmaktadır. Müzisyenler için performans uygulaması doğal bir süreç olması bakımından ekolojik geçerliliğe sahipken, araştırmacılar için de objektif ölçüm yapılabilen somut bir sonuç teşkil etmektedir (Bernardi ve ark., 2013, s. 275).

Bailey ve Hortin'e (1983) göre, sahne sanatları ve spor alanlarında performansın mükemmelliği, etkinlikten önce yapılan zihinsel ve fiziksel pratik miktarıyla yakından ilişkilidir. Yazarlar, eğitimde de zihinsel provanın benzer veya daha da büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirtmektedirler. Öğretim alanında, resmi zihinsel prova çoğunlukla ders planlanması sırasında gerçekleşmektedir. Bu dönemde öğretmenler hem içeriği hem de yöntemi organize ederek ve dersin olaylarını tekrar gözden geçirerek zihinsel prova yapma fırsatı bulmaktadırlar (s. 32).

Miksza (2005) müzikte zihinsel pratikle ilgili deneysel çalışmaların, genellikle diğer alanlardaki bulguları doğruladığını belirtmiştir (s. 77). Ross'un (1985) araştırması, fiziksel ve zihinsel uygulamaların birlikte kullanılmasının müzisyenlere çok yönlü avantajlar sağlayabileceğini göstermektedir. Kombine yaklaşımda yer alan denekler, fiziksel uygulamalarından elde ettikleri işitsel ve kinestetik tepkimeleri kullanırken aynı zamanda müziksel etkinliğin bilişsel boyutlarına (parmak konumlandırması, melodik ve ritmik yapıları tanımlama gibi) yoğunlaşma olanağı bulmuşlardır. Fiziksel denemeler arası zihinsel egzersiz, katılımcıların sadece uygulama tekniğini geliştirmekle kalmayıp, müziksel yorumlarını ve performans kalitesini de ilerlettikleri göstermiştir. Sanatçı, zihinsel uygulamada sesi duyusal olarak zihninde canlandırdığında ve kas hareketlerini içsel olarak deneyimlediğinde, her iki yöntem bir arada daha güçlü bir öğrenme aracı işlevi görmektedir. Fiziksel uygulamanın teknik ve kas gelişimindeki temel rolü korunmakla birlikte, zihinsel uygulamayı tamamlayıcı bir unsur olarak entegre etmek etkili ve verimli bir pratik stratejisi oluşturmaktadır (ss. 228-229)

Freymuth (1994), zihinsel pratiğin yalnızca fiziksel pratiği desteklemekle kalmayıp kas yorgunluğunu azalttığını, müzikal akıcılığı artırdığını ve özellikle aşırı gerilime bağlı yaralanmaların önlenmesi ile rehabilitasyon sürecinde önemli bir araç olduğunu vurgulamıştır (s. 21).

Zihinsel pratiğin öğrenme üzerindeki katkısı, büyük ölçüde görevin fiziksel/motor bileşenlerinden değil, bilişsel-sembolik bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bilişsel süreç sırasında öğrenici, hangi hareket veya stratejilerin denenebileceğini zihninde tasarlayabilir; her bir eylemin olası sonuçlarını, benzer becerilerle ilgili geçmiş deneyimlerine dayanarak bir dereceye kadar öngörebilir ve bu öngörüler doğrultusunda uygun olmayan hareket seçeneklerini eleyerek daha isabetli bir performans planı oluşturabilir (Schmidt, 1982; aktaran Feltz ve Landers, 1983, s. 46). Feltz ve Landers'ın (1983) meta-analizinden elde edilen bulgulara göre, deneyimli ve deneyimsiz katılımcılar arasında anlamlı

bir fark bulunmamış ve zihinsel pratik etkilerinin öğrenmenin yalnızca bir aşamasına sınırlı olmadığı hem başlangıç hem de ileri aşamalarında ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır (s. 47).

Deşifre Becerisi

Deşifre kavramı, müzisyenden müzisyene farklı anlamlar taşısa da özünde daha önce karşılaşılmamış bir eserin, herhangi bir ön hazırlığa gerek duyulmaksızın notayla ilk temas anında özgün hız ve dinamiklerine sadık kalınarak seslendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Sever, 2011, s. 37). Bu tanım, deşifrenin yalnızca pratik bir icra eylemi olmadığına; aynı zamanda görsel bilginin anlık olarak motor hareketlere dönüştürülmesini zorunlu kılan üst düzey bir bilişsel işlem olduğuna da işaret etmektedir. Nitekim müzisyen, sayfadaki nota sembollerini eş zamanlı olarak algılarken yalnızca tek tek notaları değil; armoniler, melodik yapı, ritim ve akor gibi daha geniş kapsamlı müzikal bileşenleri de bir bütün olarak kavramak durumundadır. Tüm bu süreçlerin kesintisiz ve eşzamanlı biçimde işletilmesi, deşifreyi bilişsel açıdan karmaşık ve çok katmanlı bir performans becerisine dönüştürmektedir (Rayner ve Pollatsek, 1997, s. 49).

İlgili Araştırmalar

Literatür, zihinsel uygulamanın tek başına fiziksel çalışmaya kıyasla daha sınırlı etkiler yarattığını; ancak her iki yöntemin birlikte uygulanması durumunda sinerjik bir etki ortaya çıktığını tutarlı biçimde ortaya koymaktadır. Ross (1985), üniversite düzeyinde trombon öğrencileriyle yürüttüğü deneysel çalışmada, fiziksel ve zihinsel uygulamayı birleştiren grubun tüm koşullar içinde en yüksek performans gelişimini sergilediğini belirlemiştir. Miksza (2005) de fiziksel çalışmanın %75'i ile zihinsel uygulamanın %25'ini bir araya getiren kombinasyonların salt fiziksel çalışmayla kıyaslandığında eşdeğer sonuçlar üretebildiğini aktarmakta; çeşitli zihinsel stratejilere başvurmanın müzikal materyalin daha derinlemesine kavranmasına katkı sağlayabileceğini belirtmektedir. Bernardi ve arkadaşları (2013) ise piyano icracılarıyla gerçekleştirdikleri ekolojik geçerliğe sahip deneysel çalışmada, on dakikalık fiziksel çalışmayla desteklenen otuz dakikalık yoğun zihinsel uygulamanın, otuz dakikalık kesintisiz fiziksel çalışmayla neredeyse özdeş performans sonuçları ürettiğini göstermiştir. Theiler ve Lippman (1995) ise gitaristler ve vokal icracılarla yürüttükleri çalışmada zihinsel uygulamanın ton kalitesi ve hafıza kodlaması boyutlarında üstün performansla sonuçlandığını ortaya koymuş; bu sürecin bilişsel kodlamayı kolaylaştırabileceğini ve odaklanmayı en üst düzeye taşıyabileceğini vurgulamıştır.

Zihinsel uygulamanın müzik bellekleme ve uzun süreli hafıza süreçlerine katkısı güncel araştırmalarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Highben ve Palmer (2004), piyano icracılarıyla gerçekleştirdikleri çalışmada işitsel geri bildirim

olmaksızın prova yapmanın bellekten çalma performansını olumsuz etkilediğini ortaya koymuş; güçlü işitsel imgelem becerisine sahip icracıların bu koşuldan en az etkilendiğini belirlemiştir. Bernardi ve arkadaşlarına (2013) göre müziğin kulağa nasıl geldiğine ilişkin zihinsel temsillerin oluşturulması, zihinsel uygulama yoluyla etkili bir belleklemenin temel ön koşulunu oluşturmaktadır. Klasik gitaristlerle yürütülen boylamsal bir çalışmada Iorio ve diğerleri (2021), zihinsel ve fiziksel uygulamanın kombinasyonunun uzun süreli hafıza elde tutma bakımından yalnızca fiziksel çalışmaya kıyasla anlamlı biçimde üstün olduğunu göstermiş; bu farkın pratik tamamlandıktan on gün sonra daha da belirginleştiğini tespit etmiştir. Boshoff ve Odendaal (2024) ise klasik gitaristlerin müzikal hafıza süreçlerini inceledikleri çalışmada hafızanın öğrenme ve performans aşamalarında sürekli bir döngü oluşturduğunu vurgulamış; analiz, görselleştirme ve tekrar gibi unsurların entegrasyonunu ön plana çıkarmıştır. Araştırmacılar, gitar eğitiminde zihinsel uygulamaya ilişkin sistematik araştırmaların yetersiz kaldığına dikkat çekerek bu alanda daha kapsamlı çalışmalar yapılmasını önermektedir.

Bu araştırmanın temel amacı, klasik gitar eğitiminde yapılandırılmış zihinsel uygulama müdahalesinin öğrencilerin deşifre performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemektir. Bu temel amaç doğrultusunda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranmıştır:

1. Çalışmaya katılan öğrencilerin zihinsel uygulama çalışmalarına yönelik algı ve tutumları hangi düzeydedir?
2. Zihinsel uygulama çalışmalarının klasik gitarda notayı ilk okuma (deşifre) aşamasında temel davranışlara etkisi nedir?
3. Zihinsel uygulama çalışmalarının klasik gitarda notayı ilk okuma (deşifre) aşamasında teknik davranışlara etkisi nedir?
4. Zihinsel uygulama çalışmalarının klasik gitarda notayı ilk okuma (deşifre)aşamasında müzikal etki ve yorumlamaya etkisi nedir?

YÖNTEM

Araştırmanın Modeli

Bu araştırmada, klasik gitar eğitiminde yapılandırılmış zihinsel uygulama müdahalesinin öğrencilerin deşifre performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla **tek grup ön test-son test deneysel desen** kullanılmıştır. Bu desende, deneysel işlemin (zihinsel uygulama) etkisi, aynı grubun müdahale öncesi ve sonrası performans ölçümleri karşılaştırılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma Grubu

Araştırmada, amaçlı örnekleme yöntemine başvurulmuştur. Çalışma grubu, 2017-2018 eğitim-öğretim yılında öğrenim gören 3. ve 4. sınıf toplam sekiz (N = 8) gönüllü bireysel çalgı eğitimi klasik gitar öğrencisinden oluşmuştur.

Veri Toplama Araçları

Öğrencilere deneysel çalışma öncesinde, Nalbantoğlu (2007) tarafından geliştirilen Yaylı Çalgı Çalışma Zihinsel Algı ve Tutum Ölçeği uygulanmıştır, Bu ölçek: (1) Görsel, İşitsel ve Bedensel Algılar, (2) Genel Zihinsel Algılar ve (3) Fiziksel Ortam ve Rahatlık Algıları olmak üzere üç ana faktörde toplanmaktadır. Ölçek, toplam 73 maddeden oluşmakta olup, 5'li likert tipindedir. Ölçek, hiçbir maddesi ile herhangi bir çalgı türüyle doğrudan ilişkili motor beceri içermemekte; dolayısıyla gitar eğitimi kapsamında içerik geçerliğini korumaktadır.

Üç Aşamalı Deneysel Çalışma Uygulama Süreci

1- Ön Test: Çalışma grubundaki sekiz öğrenciye, araştırmacı tarafından belirlenen ve zorluk düzeyi bakımından birbirine denk üç deşifre ezgisi sunulmuştur. Her öğrencinin performansı, aynı oturum içinde sabit bir kamera açısı ve teknik koşullar altında video kaydına alınmıştır. Kayıtlar, öğrencilerin birbirinin performansını izlemesini önlemek amacıyla bireysel seanslarda gerçekleştirilmiştir. Deşifre ezgiler kayıt sonunda toplanmıştır.

2- Zihinsel Uygulama: Ön test tamamlandıktan sonra tek seferlik olmak üzere öğrencilere Klickstein'ın (2009) "*The Musician's Way"* adlı çalışmasında yer alan imgeleme ve zihinsel prova teknikleri bireysel ders ortamında tanıtılmıştır. Tanıtım oturumu yaklaşık 30 dakika sürmüş; öğrencilere (a) nota üzerinden tonal ve ritmik analiz yapma, (b) parmak ve konum geçişlerini zihinsel olarak canlandırma, (c) eserin işitsel temsilini içselleştirme adımlarından oluşan sistematik bir zihinsel çalışma şeması verilmiştir. Öğrencilerden bu tekniği, kendi bireysel çalışmalarında fiziksel gitar pratiğine ek olarak haftada en az 3 kez, her seferinde 3-5 dakikalık oturumlar halinde bağımsız biçimde uygulamaları istenmiştir. Uzun süreli zihinsel çalışmalarda dikkat ve konsantrasyonun belirgin biçimde azaldığı göz önüne alındığında (McHugh-Grifa, 2011), oturumların beş dakikayı aşmaması gerektiği öğrencilere özellikle vurgulanmıştır. Araştırmacı, haftalık bireysel ders görüşmelerinde öğrencilerin tekniği ne ölçüde uyguladıklarını takip etmiştir.

3- Son Test: Bir dönem sonrasında zihinsel uygulama sürecinin tamamlanmasının ardından öğrencilere aynı üç deşifre ezgisi verilmiş ve performansları yeniden video kaydına alınmıştır. Son test kayıtları da ön testle aynı teknik koşullar altında bireysel seanslarda gerçekleştirilmiştir.

Hem ön test hem son test video kayıtları, araştırma sürecinden habersiz üç bağımsız gitar eğitimi uzmanına iletilmiş; uzmanlar değerlendirmelerini Akçay (2011) tarafından geliştirilen "Gitar Performans Dereceleme Ölçeği" ni kullanarak bağımsız biçimde tamamlamıştır.

Veri Analizi

Araştırmada elde edilen veriler, alt problemler doğrultusunda IBM SPSS V.23 istatistik programıyla çözümlenmiştir. Nalbantoğlu (2007) tarafından geliştirilen Yaylı Çalgı Çalışma Zihinsel Algı ve Tutum Ölçeği veri analizi için faktör analizi yapılmıştır.

Hem ön test hem son test video kayıtları, araştırma sürecinden habersiz üç bağımsız gitar eğitimi uzmanına iletilmiş; uzmanlar değerlendirmelerini Akçay (2011) tarafından geliştirilen "Gitar Performans Dereceleme Ölçeği" ni kullanarak bağımsız biçimde tamamlamıştır. Bu ölçek, gitar performansını üç ana boyutta değerlendirmektedir: (A) Temel Davranışlar, (B) Teknik Davranışlar ve (C) Müzikal Etki ve Yorumlama. Ölçekte toplam 15 ölçüt yer almakta olup her ölçüt 1 ile 4 arasında değişen ağırlık katsayılarıyla puanlanmaktadır. Gitar Performans Dereceleme Ölçeği, bu çalışmada öğrencide oluşan değişiklikleri izlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu sebeple değerlendirici uzmanların görüşleri doğrultusunda ölçeğin sadece zihinsel uygulama çalışmalarına yönelik maddeleri değerlendirmeye alınmıştır.

Araştırmanın deneysel sürecinde Gitar Performans Değerlendirme Ölçeği ile elde edilen ön test ve son test puanları arasındaki farkı incelemek amacıyla, verilerin normal dağılım varsayımını karşılaması nedeniyle bağımlı örneklemler t-testi tercih edilmiştir.

Analiz sonuçlarında rakamsal olarak çok küçük olan "*p*" değerleri "$p < ,001$" olarak ifade edilmiştir. Uluslararası bilim camiasında önemli bir yeri olan Field (2018), *p*- değerinin tam olarak raporlanması gerektiğini, tek istisnanın ,001 eşiği olduğunu ve $p = 0.0000234$ gibi çok küçük değerlerin, $p < 0.001$ olarak ifade edilmesinin makul olduğunu belirtmektedir.

BULGULAR

Araştırmanın birinci alt problemi doğrultusunda Tablo 1'de çalışmaya katılan öğrencilerin zihinsel çalışmalara yönelik algı ve tutum durumları aşağıdaki betimsel istatistik tablosunda verilmiştir. Bu doğrultuda tabloya ilişkin yorum yapılmıştır.

Tablo 1. *Zihinsel Algı ve Tutum İçin Betimsel İstatistik Tablosu*

Boyut / Faktör	***N***	***Min.***	***Maks.***	$\bar{x}$	***SS***
Görsel, İşitsel ve Bedensel Algılar	8	27	49	33,44	6,66
Genel Zihinsel Algılar	8	14	20	17,23	1,91
Fiziksel Ortam ve Rahatlık Algıları	8	31	45	37,98	4,59
Toplam	**8**	**28**	**40**	**31,69**	**3,51**

Elde edilen bulgulara göre, katılımcıların ölçek geneline ilişkin puan ortalaması $\bar{x}$ = 31,69 (*SS* = 3,51, Min = 28, Maks = 40) olarak belirlenmiştir. Alt boyutlar bazında incelendiğinde, en yüksek ortalamanın Faktör 3 boyutunda ($\bar{x}$= 37.98; *SS* = 4,59), en düşük ortalamanın ise Faktör 2 boyutunda ($\bar{x}$ = 17,23; *SS* = 1,91) gerçekleştiği görülmektedir. Faktör 1 boyutuna ait puan ortalaması ise $\bar{x}$ = 33,44 (*SS* = 6,66) olarak tespit edilmiştir.

Araştırma grubundaki katılımcıların temel davranışlar ön test ve son test puan ortalamaları arasındaki farkın anlamlılığını belirlemek amacıyla yapılan ilişkili (bağımlı) örneklemler t-testi sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. *Temel Davranışlar Öntest ve Sontest Ortalama Puanlarının t-Testi Sonuçları*

Ölçüm (Temel Dav.)	*N*	$\bar{x}$	*SS*	*t*	*sd*	*p*
Ön Test	144	2,85	,903	-15,69	143	< ,001*
Son Test	144	3,86	,874			

Analiz sonuçlarına göre, katılımcıların ön test puan ortalaması $\bar{x}$ = 2,85 (*SS* = ,903) iken, uygulanan deneysel süreç/eğitim sonrasında bu ortalama son testte $\bar{x}$ = 3,86 (*SS* = ,874) olarak yükselmiştir. Ön test ve son test puan ortalamaları arasındaki bu 1,01 puanlık artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir [*t* (143) = - 15,69; *p* < ,001].

Bu bulgu, uygulanan yöntemin/eğitimin katılımcıların temel davranış düzeylerini artırmada istatistiksel açıdan anlamlı ve olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Araştırma grubundaki katılımcıların teknik davranışlar boyutuna ilişkin ön test ve son test puan ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bağımlı (ilişkili) örneklemler t-testi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. *Temel Davranışlar Öntest ve Sontest Ortalama Puanlarının t-Testi Sonuçları*

Ölçüm (Teknik Dav.)	*N*	$\bar{x}$	*S*	*t*	*sd*	*p*
Ön Test	216	2,73	,880	-16,43	215	< ,001*
Son Test	216	3,65	,828			

Öğrencilerin zihinsel çalışma sonrasında araştırmaya yönelik teknik davranışlar puanlarında anlamlı bir artış olduğu [*t* (215)= -16.43, *p* < ,001] tespit edilmiştir. Öğrencilerin zihinsel çalışma öncesi puanlarının ortalaması $\bar{x}$ = 2,73 iken zihinsel çalışma sonrası puanlarının ortalaması $\bar{x}$ = 3,65 olarak artış göstermiştir.

Bu bulgu, zihinsel uygulama çalışmalarının, öğrencilerin teknik davranışlar boyutunda deşifre yapmaya yönelik becerilerini artırmada önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterir.

Araştırma grubundaki katılımcıların müzikal etki ve yorumlama boyutuna ilişkin ön test ve son test puan ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bağımlı (ilişkili) örneklemler t-testi sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. *Müzikal Etki ve Yorumlama Öntest ve Sontest Ortalama Puanlarının t-Testi Sonuçları*

Ölçüm (Müzikal Etki ve Yorumlama)	*N*	$\bar{x}$	*S*	*t*	*sd*	*p*
Ön Test	288	3,28	1,93	-21,96	287	< ,001*
Son Test	288	5,64	2,91			

Öğrencilerin zihinsel çalışma sonrasında araştırmaya yönelik müzikal etki ve yorumlama puanlarında anlamlı bir artış olduğu görülmüştür, t (287)= -21,96, p < ,001. Öğrencilerin uygulama öncesi zihinsel çalışma öncesi puanlarının ortalaması $\bar{x}$ = 3.28 iken zihinsel çalışma sonrası puanlarının ortalaması $\bar{x}$ = 5,64 olarak bulunmuştur. Bu bulgu, zihinsel uygulama çalışmalarının, öğrencilerin müzikal etki ve yorumlama boyutunda deşifre yapmaya yönelik becerilerini artırmada önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırmada, klasik gitar eğitiminde yapılandırılmış zihinsel uygulama çalışmalarının öğrencilerin deşifre performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Tek grup ön test-son test deseniyle yürütülen çalışmada, üç bağımsız gitar eğitimi uzmanının Gitar Performans Dereceleme Ölçeğine dayalı değerlendirmeleri; temel davranışlar (ön test ortalaması 2,85; son test ortalaması 3,86), teknik uygulama (2,73'ten 3,65'e) ve müzikal etki-yorumlama (3,28'den 5,64'e) boyutlarının tamamında son test lehine istatistiksel olarak anlamlı artışlar olduğunu göstermiştir (p < ,001). Bu sonuçlar, bir dönem boyunca fiziksel çalgı pratiğine ek olarak uygulanan kısa süreli (3-5 dakikalık) ve sistematik zihinsel prova çalışmalarının deşifre becerisini anlamlı düzeyde geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Gözlenen

gelişmenin en belirgin olduğu boyutun müzikal etki ve yorumlama olması ise zihinsel uygulamanın, yalnızca teknik yönleri değil eserin anlamlandırılmasına dönük bilişsel süreçleri de destekleyebileceğine işaret etmektedir.

Elde edilen bulgular, zihinsel uygulamanın performansı iyileştirici etkisine ilişkin alan yazınla tutarlılık göstermektedir. Feltz ve Landers'ın (1983) meta-analizi zihinsel pratiğin etkisinin öğrenmenin tek bir aşamasıyla sınırlı olmadığını ortaya koyarken, Coffman (1990) bu kavramı herhangi bir kas hareketi veya ses üretimi gerçekleştirilmeksizin becerinin zihinde prova edilmesi olarak tanımlamaktadır. Gitarist ve vokalistlerle yürütülen çalışmalarında Theiler ve Lippman (1995), zihinsel uygulamanın ton kalitesi ve hafıza kodlaması boyutlarında üstün performansla sonuçlandığını bildirmiş; Bernardi ve arkadaşları (2013) ise fiziksel çalışmayla desteklenen zihinsel uygulamanın, kesintisiz fiziksel çalışmayla neredeyse özdeş sonuçlar üretebildiğini göstermiştir. Bu araştırmadan elde edilen bulgular da zihinsel uygulamanın, söz konusu çalışmalarda vurgulanan katkısını klasik gitar deşifresi özelinde doğrulamaktadır.

Öte yandan araştırmanın dikkat çekici bir bulgusu, öğrencilerin zihinsel uygulamaya yönelik algı ve tutum düzeylerinin düşük olmasıdır (M = 31,69). Performansta anlamlı gelişmeler kaydedilmesine karşın öğrencilerin bu tekniğe ilişkin farkındalık ve tutumlarının düşük kalması, zihinsel uygulamanın bireysel çalgı eğitiminde yeterince tanınmadığına ve sistematik biçimde öğretilmediğine işaret etmektedir. Bununla birlikte bu sonuçlar yorumlanırken araştırmanın sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışma, kontrol grubu bulunmayan tek grup ön test-son test deseniyle ve amaçlı örnekleme yoluyla seçilen sekiz öğrenciyle yürütülmüştür. Bu nedenle gözlenen gelişmenin bir bölümü olgunlaşma ve test etkisi gibi faktörlerden kaynaklanmış olabilir.

Araştırma sonuçları doğrultusunda, zihinsel uygulama çalışmalarının bireysel çalgı eğitimi derslerinin düzenli bir bileşeni hâline getirilmesi ve öğrencilere kısa süreli, sistematik zihinsel prova tekniklerinin açık biçimde öğretilmesi önerilmektedir. Öğrencilerin zihinsel uygulamaya yönelik düşük algı ve tutum düzeyleri dikkate alındığında, eğitimcilerin bu tekniğin işlevi ve faydaları konusunda öğrencilerde farkındalık oluşturması önem taşımaktadır. Gelecekteki araştırmalarda ise kontrol gruplu deneysel desenlerin, daha geniş ve farklı düzeylerdeki örneklemlerin, farklı çalgı türlerinin ve zihinsel uygulamanın uzun süreli kalıcılık etkisinin incelenmesi, bu alandaki bilgi birikiminin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Akçay, Ş. Ö. (2011). *Gitar eğitiminde performans ölçeği geliştirme çalışması* (Tez No. 299737) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.

Bailey, G. D., & Hortin, J. A. (1983). Mental Rehearsal: A Method to Improve Classroom Instruction. *Educational Technology*, *23*(8), 31–34. http://www.jstor.org/stable/44423879

Berenson, G. (1999). [Review of *Mental Practice and Imagery for Musicians-A Practical Guide for Optimizing Practice Time, Enhancing Performance, and Preventing Injury*, by M. Freymuth]. *American Music Teacher*, *49* (2), 74-76. http://www.jstor.org/stable/43543072

Bernardi, N. F., Schories, A., Jabusch, H.-C., Colombo, B., & Altenmüller, E. (2013). Mental Practice in Music Memorization: An Ecological-Empirical Study. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *30*(3), 275–290. https://doi.org/10.1525/mp.2012.30.3.275

Boshoff, T., & Odendaal, A. (2024). Learning, understanding, remembering: The collective experiences of musical memory of twelve professional classical guitarists. *Music & Science*, *7*, 1-14. https://doi.org/10.1177/20592043241274968

Coffman, D. D. (1990). Effects of Mental Practice, Physical Practice, and Knowledge of Results on Piano Performance. *Journal of Research in Music Education*, *38*(3), 187–196. https://doi.org/10.2307/3345182

Feltz, D. L., & Landers, D. M. (1983). The Effects of Mental Practice on Motor Skill Learning and Performance: A Meta-analysis. *Journal of Sport Psychology*, *5*(1), 25-57. https://doi.org/10.1123/jsp.5.1.25

Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage. Highben, Z., & Palmer, C. (2004). Effects of auditory and motor mental practice in memorized piano performance. *Bulletın Of The Councıl For Research In Musıc Educatıon*, (159), 58-65.

Freymuth, M. (1994). Mental Practice Some Guidelines for Musicians. *American Music Teacher*, *43*(5), 18–21. http://www.jstor.org/stable/26407126

Iorio, C., Brattico, E., Larsen, F. M., Vuust, P., & Bonetti, L. (2021). The effect of mental practice on music memorization. *Musicae Scientiae*, *26*(3), 630-648. https://doi.org/10.1177/1029864921993176

Klickstein, G. (2009). *The musician's way: A guide to practice, performance, and wellness*. Oxford University Press.

McHugh-Grifa, A. (2011). A Comparative Investigation of Mental Practice Strategies Used by Collegiate-Level Cello Students. *Contributions to Music Education*, *38*(1), 65-79. http://www.jstor.org/stable/24127177

Miksza, P. (2005). The Effect of Mental Practice on the Performance Achievement of High School Trombonists. *Contributions to Music Education*, *32*(1), 75–93. http://www.jstor.org/stable/24127237

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1997). Eye movements, the eye hand span, and the perceptual span during sight-reading of music. *Current Directions in Psychological Science*, *6*(2), 49–53.

Ross, S. L. (1985). The Effectiveness of Mental Practice in Improving the Performance of College Trombonists. *Journal of Research in Music Education*, *33*(4), 221–230. https://doi.org/10.2307/3345249

Sever, G. (2011). *Zihinsel hazırlık çalışmalarının keman performansına etkisi.* (Tez No. 279778) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.

Theiler, A. M., & Lippman, L. G. (1995). Effects of mental practice and modeling on guitar and vocal performance. *The Journal of General Psychology*, *122*(4), 329-343. https://doi.org/10.1080/00221309.1995.9921238

Uçan, A. (1996). *İnsan ve müzik insan ve sanat eğitimi: Temel kavramlar-ilkeler-yaklaşımlar ve Türkiye'de Cumhuriyetin ilk yetmiş yılındaki durum* (2. basım). Müzik Ansiklopedisi Yayınları.

Postfeminist Söylem ve Chick-Lit Bağlamında Vefa Enver'in *Leyla Gibi* Romanı

Hamide Aysima KAYMAKÇI[1], Prof. Dr. Sibel BAYRAM [2]

[1]E-mail: aysi635@gmail.com; Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türk Dili ve Edebiyatı Anabilim Dalı, Düzce / Türkiye.

ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3068-2630

[2]E-mail: sibelbayram@duzce.edu.tr; Düzce Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü, Düzce / Türkiye.

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2862-415X

**Bu çalışma, ikinci yazar danışmanlığında, birinci yazar tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yürütülen yüksek lisans tezinden üretilmiştir.*

Özet

Postfeminist hareket, feminizm sonrasında ortaya çıkan ve feminist hareketin sert tutumu karşısında, daha yumuşak bir ifadeyle kadının bireyselliği ile özgürlüğünü savunan bir düşünce biçimidir. Kadınların artık erkeklerle savaşmak yerine uzlaşmayı tercih etmesi ve feminist etiketiyle anılmak istememesi, postfeminist düşüncenin benimsenmesinde başlıca nedenlerden biri olmuştur. Feministlerin sert söylemleri karşısında postfeminist düşünce, ikinci ve üçüncü dalga feminist hareketlerini eleştirerek feminizmin değişim ve dönüşüm sürecine işaret eden bir akım olarak ortaya çıkmıştır. Postfeminist söylem, medyanın da ilgisini üzerine çekmeyi başararak popüler bir düşünce olarak varlığını sürdürmüştür. Postfeminist söylemin edebiyat dünyasındaki yansımaları ise chick-lit türünün ortaya çıkmasıyla görülmüştür. 1990'lı ve 2000'li yıllarda ortaya çıkan chick-lit, özellikle genç kadınların modern yaşam deneyimini merkeze alan bir anlatı sunmaktadır. Çoğunlukla kadın yazarlar tarafından kaleme alınan ve kadın okuyuculara hitap eden bu tür, romantik ilişkiler, kariyer, tüketim, toplumsal normlar gibi çok yönlü temaları ele alarak kadınların gündelik yaşam deneyimleri içinde kendileri için bir kimlik bulma çabasını konu edinmektedir. Çeviriler yoluyla dilimize kazandırılan bu tür ile ilgili Türk edebiyatındaki örnekler sınırlı olmakla birlikte, Vefa Enver'in romanları postfeminist söylem ve chick-lit kapsamında değerlendirilebilen örnekler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, Türk edebiyatında postfeminist söylemin ve chick-lit türünün yansımalarından biri olan Vefa Enver'in *Leyla Gibi* romanı, postfeminist izler ve chick-lit türü özellikleri kapsamında incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Chick-lit, *Leyla Gibi*, postfeminizm, Vefa Enver

Abstract

The postfeminist movement is a way of thinking that emerged after feminism and advocates women's individuality and freedom in a softer expression in contrast to the radical attitude of the feminist movement. The fact that women now prefer reconciliation rather than fighting with men and do not

want to be referred to by the feminist label has been one of the main reasons for the adoption of postfeminist thought. In the face of the radical discourse of feminists, postfeminist thought has emerged as a movement that criticizes the second- and third-wave feminist movements and points to the process of change and transformation of feminism. Postfeminist discourse has continued to exist as a popular way of thinking by succeeding in attracting the attention of the media as well. The reflections of postfeminist discourse in the literary world have been seen with the emergence of the genre of chick-lit. Emerging in the 1990s and 2000s, chick-lit presents a narrative that centers particularly on the modern life experiences of young women. This genre, mostly written by female authors and addressing female readers, deals with women's attempt to find an identity for themselves within their everyday life experiences by addressing multidimensional themes such as romantic relationships, career, consumption, and social norms. Although examples of this genre in Turkish literature, which was introduced into our language through translations, are limited, Vefa Enver's novels are among the examples that can be evaluated within the scope of postfeminist discourse and chick-lit. Therefore, in this study, Vefa Enver's novel *Leyla Gibi*, one of the reflections of postfeminist discourse and the chick-lit genre in Turkish literature, will be examined within the scope of postfeminist traces and the characteristics of the chick-lit genre.

Keywords: Chick-lit, *Leyla Gibi*, postfeminism, Vefa Enver

GİRİŞ

Kadının konumu, toplum içinde farklı dönemlerde değişimler göstermiştir. Tarih boyunca kadın farklı statülerde anılmakla birlikte, çoğunlukla ev içi rollerle sınırlandırılarak erkeğin gerisinde kalmıştır. Bu durum, kadınların başkaldırısını da beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda ortaya çıkan feminizm, kadınların erkeklerle eşit haklarda olması gerektiğini savunan bir hareket olarak kendini göstermiştir.

Feminist hareketin kadın hakları ile ilgili mücadelesi, üç dönemde gerçekleşmiştir. Birinci dalga feminist hareket, kadınlar için eşitlik talepleri ve oy hakkı etrafında şekillenirken ikinci dalga feminizm 1960'lı yıllardan itibaren kadın bedeni, cinsellik ve gündelik yaşam pratikleri üzerindeki baskılara odaklanmıştır. Üçüncü dalga feminizm ise farklılık, kimlik, çoğulculuk kavramlarını merkeze almış ve kadın deneyiminin tek tip olmadığını vurgulamıştır (Taş, 2016; Kolay, 2015). Her dönemde kadın-erkek eşitliğini savunan feminist hareketin kadın haklarını savunurken bunu kadın-erkek savaşına dönüştürmesi, kadınlarda feminist etiketine karşı bir ön yargı geliştirmiştir. Feminist etiketiyle anılmak istemeyen kadınların öncülüğüyle feminizm hareketi zamanla etkisini yitirmiş ve yerini postfeminizme bırakmıştır.

1980'lerin sonunda 1990'ların başında medyanın ilgisini üzerine çekerek yaygınlaşan postfeminizm, kadın haklarını savunan feminizmin aksine kadını bireyselliği ve özgürlüğüyle ön plana çıkarmayı amaçlamıştır. Postfeminist söylemde

kadın, kendi seçimleriyle hayatını şekillendiren bir özne olarak sunulmaktadır. Ancak bu özgürlüğün belirli sınırlar içerisinde gerçekleştirilmesi, postfeminizmin en çok eleştirilen yanını oluşturmaktadır.

Postfeminizmin edebiyat dünyasındaki yansıması ise chick-lit türüyle olmuştur. Modern kadınların gündelik yaşamlarının anlatıldığı bu türde aşk, kariyer, tüketim gibi temalar kadın kimliğini şekillendiren temel unsurlardır. Kadınların romantik ilişkilerini, kariyerlerini, tüketim odaklı yaşamlarını mizahi bir üslupla ele alan chick-lit eserleri, genellikle romantik-komedi tarzında kendini göstermektedir. Bu yönüyle chick-lit, postfeminist söylemin edebiyattaki en belirgin yansımalarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Türk edebiyatında chick-lit türü ile ilgili örnekler sınırlı olmakla birlikte, Vefa Enver bu alanda öne çıkan yazarlardan biridir. Enver'in romanları; modern şehirli kadınların kariyer hayatını, aşk ilişkilerini, arkadaşlık bağlarını, tüketim pratiklerini, kimlik arayışlarını ve toplumsal beklentilerle kurdukları ilişkileri merkeze almaktadır. Yazarın *Leyla Gibi* romanında yer alan Leyla karakteri de kozmopolit şehir hayatının eğlence tarafına odaklanan, yaşadığı ilişki deneyimleri içinde kendine bir kimlik inşa etmeye çalışan modern kadını temsil etmektedir.

Bu çalışmada kadının değişken konumu postfeminist söylem bağlamında ele alınacaktır. Vefa Enver'in *Leyla Gibi* romanında postfeminist söylemin ve chick-lit türünün izleri; Leyla karakterinin tüketim, romantik ilişkiler ve kariyer etrafında gelişen çatışmaları kapsamında incelenecektir.

YÖNTEM

Çalışma, nitel araştırma yöntemiyle yürütülmüştür. Sözlü ve nitel analizlere daha çok vurgu yapılan bu yöntemde araştırmacılar, olayları kendi bağlamı içerisinde ele alarak yorumlamaktadır (Karataş, 2015, s. 64).

Çalışmanın temel amacı, postfeminist söylem ve chick-lit türü özelliklerinin Vefa Enver'in *Leyla Gibi* romanında nasıl temsil edildiğini ortaya koymaktır. Vefa Enver'in seçilmesindeki temel neden ise Türk edebiyatında chick-lit türünün üretken yazarlarından biri olması ve eserlerinin bu türün tematik özelliklerini bütüncül bir şekilde yansıtmasıdır.

Araştırmanın veri analizi sürecinde, Vefa Enver'in yukarıda bahsi geçen *Leyla Gibi* romanı derinlemesine incelenmiştir. Eserin analiz aşamasında, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan tematik analiz kullanılmıştır.

1. POSTFEMİNİZM KAVRAMI VE CHICK-LIT

Postfeminizm terimi ilk kez 1985'te Toril Moi tarafından *Sexual/Textual Politics* kitabında kullanılmıştır (Bayram, 2022, s. 1923). Moi'ye göre postfeminizmin başındaki "post" ön eki metodolojik veya teorik bir değişimi ifade etmektedir. Kimi araştırmacılar postfeminizm teriminin feminizmin sonunu duyuran bir kavram olduğunu savunurken kimi de bu kavramın benimsenmesi veya reddedilmesinin feminist politikanın alanı hâline gelmesine zemin hazırladığını öne sürmektedir (Kavka, 2002, s. 29).

Feminizm sonrasına işaret eden postfeminizm, kadınların artık feminizm vasıtasıyla birtakım haklara ulaştığını varsayarak kadının bireyselliğine odaklanan bir akım olarak ortaya çıkmıştır. Postfeminizm, feminizmin radikal tutumu karşısında erkeklerle savaşmaktan ziyade uzlaşmayı tercih etmektedir. Postfeminist söylem, feminist düşünceye katılmayan kadınların ilgisini çekse de medyanın desteği ile var olmaya çalışan bir hareket olmaktan öteye gidememiştir.

Kadınların özgürleşmesini ve bireysel tercihlerini ön plana çıkaran postfeminist ideoloji, bunu çoğunlukla romantik ilişkiler, kariyer, tüketim ve yaşam tarzı seçimleri üzerinden görünür kılmaktadır. Bu nedenle aşk, alışveriş, güzellik, moda, bağımsızlık gibi kavramlar, postfeminist kültürün temel göstergelerini oluşturmaktadır. Postfeminist söylemin, kadınların gündelik yaşam pratiklerini ele alan chick-lit türünün zeminini oluşturduğu açıkça görülmektedir. Böylelikle chick-lit türünde yer alan karakterler de postfeminist söylemle birlikte öne çıkan anlayışları temsil etmektedir.

1990'lı yıllardan itibaren postfeminizm düşüncesinden doğarak popüler bir hâle gelen chick-lit, modern genç kadınların hayatını anlatan bir tür olarak ortaya çıkmıştır. Terimin ortaya çıkışı ise 1995 yılında Cris Mazza ve Jeffrey DeShell'in kadın yazarların metinlerinden oluşan bir antoloji hazırladıkları sırada, abartı ve ironi içeren bir metinden etkilenerek "chick lit" ifadesini kullanmalarına dayanmaktadır. Bu sözcük, zamanla yaygınlaşarak belirli bir türü tanımlamak için kullanılmıştır (Bayram, 2022, s. 1928). Terim, argoda genç kadın anlamına gelen "chick" ve edebiyatın kısaltması olan "lit" sözcüklerinden türetilmiştir (Baykan, 2015, s. 27-28). Elena Pérez-Serrano (2009) ise chick literature ifadesinin "chick-lit" olarak kısaltılmasının, bu türün "yüksek sanat" adı altında değil de "popüler kültür" bağlamında değerlendirilmesine neden olduğunu vurgulamaktadır.

Postfeminizm akımı ile kadının hayatında yaşanan değişimler, kadın yazarların da dikkatini çekmiş ve yazarlar, dönüşen kadın imajını eserlerine aktarmıştır. Kadına yönelik her unsuru ele alan bu türde; kendine bir kimlik bulamaya çalışan,

güzelliğe önem veren, bağımsızlık ve kariyer planlamalarında romantizmi de öne çıkaran modern kadınlar tasvir edilmektedir. Bahsi geçen kurgusal karakterler, çoğunlukla 20'li ve 30'lu yaşlardaki modern genç kadınlardan oluşmaktadır. Mlynowski ve Jacobs (2015) bu türde kurgunun neşeli modern kadın karakterlerin, iş, aşk, arkadaşlık ve aileyle ilgili mücadeleleri üzerine kurulduğunu ifade etmektedir. Söz konusu temalar, kadınların toplumsal konumlarını, ve içsel dünyalarını görünür kılmaktadır.

Helen Fielding'in 1996 yılında yayımlanan *Bridget Jones's Diary* adlı romanıyla ortaya çıkan chick-lit, Candace Bushnell'in *Sex and the City* adlı eseriyle gelişimini sürdürmüş ve medya araçları sayesinde popülaritesini artırmıştır (Pérez-Serrano, 2009). Türün ticari bir başarı yakalayarak yayıncılar tarafından fark edilmesi, *Gossip Girl, The Princess Diaries, Shopaholic Serisi* gibi pek çok yeni dizi ve kitap serisinin oluşumuna olanak sağlamıştır (Baykan, 2015, s. 28). Bu türde kaleme alınan *Bridget Jones's Diary* ve *Sex and the City* gibi öncü eserler, türü kültürel ve edebî yönden şekillendirerek modern kadınların gündelik hayatta yaşadığı deneyimleri popüler kültür aracılığıyla geniş kitlelere ulaştırmaktadır.

Postfeminist söylemin Türkiye'deki yansımalarına bakıldığında, 1990'lı yılların başında kadın hareketinin bağımsızlığının konuşulmaya başlandığı görülmektedir. 1990'lı yıllardaki kadın mücadelesi, 1980'li yıllardaki gibi haklarını sokaklarda arayan kadınlardan farklı bir yapıya bürünmüştür. Bu yeni kadın hareketi, mesleği ve toplumsal saygınlığı olan kadınlar tarafından temsil edilmektedir (Apak, 2004, s. 170-171). Bu durum, postfeminizmin Türkiye bağlamında feminist kuramın kendi içindeki bir dönüşümü olarak ele alındığını göstermektedir. 2000'li yıllarda ise postfeminizmin medya ve popüler kültürde belirgin hâle gelmesiyle; kadın dergilerinde, dizilerde ve reklamcılık sektöründe güçlü, kariyer sahibi ve bağımsız kadın imgesinin öne çıktığı görülmektedir.

Postfeminizmin edebiyat dünyasına girişi, chick-lit türünün doğuşuna zemin hazırlamıştır. Türk edebiyatında bu türün görünürlüğü ise çeviriler yoluyla gerçekleşmiştir. Helen Fielding'in *Bridget Jones's Diary* adlı yapıtı *Bridget Jones'un Günlüğü* başlığıyla dilimize aktarılan en bilindik başında gelmektedir. Sophie Kinsella'nın *Alışverişkolik* serisi de Türkçeye en çok çevrilen kurgular arasındadır. Bunun yanı sıra Lauren Weisberger *(The Devil Wears Prada)*, Marian Keyes *(Watermelon, Anybody Out There)*, Candace Bushnell *(Sex and the City, Four Blondes)*, Jane Green *(Second Chance)*, Emma McLaughlin ve Nicola Kraus *(The Nanny Diaries)* gibi isimler de bu türe katkılarını kaleme aldıkları eserlerle sağlamışlardır (Baytar, 2022, s. 1443-1444). Melissa Bank'in *The Girls' Guide to Hunting and Fishing* adlı

eserinin Gökçen Ezber tarafından Türkçeye kazandırılması da çağdaş kadın edebiyatının her düzeydeki okura erişebildiğinin bir göstergesidir (Bayram, 2026, s. 555).

Bu nitelikteki metinlerin çeviriler yoluyla aktarılması, chick-lit'in Türkiye'deki okur ve yazarlara tanıtılmasını sağlamış ve böylece yerli edebiyatta da birtakım özgün eserler üretilmeye başlanmıştır. Ekin Atalar'ın *Selindrella: Acilen Evlenmem Lazım, Selindrella: İstanbul Usulü Külkedisi Masalı*, *Hayatımın Aşkı* başlıklı romanları bu doğrultuda örnek gösterilebilir (Baytar, 2022, s. 1443-1444). Bununla birlikte Şebnem Burcuoğlu'nun *Kocan Kadar Konuş* romanı ile Vefa Enver'in *Çocuk da Yapamadım Kariyer de* ve *Leyla Gibi* adlı yapıtları, Türk chick-lit türünün oluşumuna katkı sağlayan eserlerdendir.

Türk chick-lit kurgusunda önemli bir yer tutan Vefa Enver'in anlatılarında; eğitimli, kariyer sahibi, şehirli, duygusal ilişkiler ile bireysel kimlik arayışı içerisinde sıkışan ve yer yer çatışan kadın karakterler ön plana çıkmaktadır. Romantik ilişkilerin önemli bir yer tuttuğu Batı örneklerine kıyasla Enver'in yapıtları yalnızca romantizme odaklanmamaktadır. Karakterlerin psikolojik derinlikleri, ailesiyle kurduğu ilişki, modern-geleneksel çatışmaları, toplumsal değerler, geçmiş travmalar ve duygusal kırılmalar; söz konusu anlatının Türk edebiyatında kendine has özgün bir yapıyla sunulduğunu göstermektedir.

Çalışmanın devamında Vefa Enver'in *Leyla Gibi* adlı romanındaki postfeminist izler ve chick-lit türünün özellikleri; "aşk ve ilişkiler", "kariyer ve bağımsızlık", "tüketim kültürü ve yaşam tarzı" başlıkları altında incelenecektir.

2. *LEYLA GİBİ* ROMANINDA POSTFEMİNİST İZLER VE CHICK-LIT ÖZELLİKLERİ

2.1. Aşk ve İlişkiler

Aşk teması, chick-lit romanların temel unsurlarından biridir. Hemen hemen tüm eserlerde kurgu, aşk ekseni üzerine inşa edilmektedir. *Leyla Gibi* romanında da Leyla karakteri vasıtasıyla aşkın birey üzerindeki duygusal etkilerinin görünür olduğu söylenebilir. Leyla'nın aşk hayatı, yaşadığı ilişki deneyimleri, kararsızlıkları, mantığı ve kalbi arasında kalması romanın merkezinde yer almaktadır. Leyla; gezmeyi ve arkadaşlarıyla dışarı çıkıp eğlenmeyi seven bir kadın karakter olarak sunulmaktadır. Aşk hayatında zengin ve yakışıklı erkeklere karşı bir zaaf geliştiren karakter, hayallerindeki prens tanımına uyacak olan erkeği bulana kadar pek çok erkekle tanışmıştır. Tanıştığı erkeklerin

karakterlerini araba modelleriyle özdeşleştirmesi ise Leyla'nın ilişkilere nesnel bir bakış açısıyla yaklaştığını göstermektedir.

Karakterin Cem, Ryan ve Koray arasında yaşadığı duygusal gelgitler, modern dünyada genç kadınların aşk seçimlerinde yaşadığı karmaşık durumları görünür kılmaktadır:

> Koray tek kelimeyle muhteşem. Ama öte yandan Ryan da öyle. Ve şimdi bakınca Cem de hiç fena görünmüyor gözüme. Allahım karar vermek ne kadar da zor… Ama birini seçmeliyim. Yoksa bütün yaz diğerine yakalanmadan biriyle buluşmaya çalışarak geçecek ve ne tam anlamıyla bir sevgilim olacak ne de yazın tadını doyasıya çıkarabileceğim. (Enver, 2012, s. 62)

Bu durum, Anthony Giddens'ın (1994) *Mahremiyetin Dönüşümü* adlı eserinde, modern toplumlarda genç kadınların aşk, cinsellik ve kişisel ilişkilerinde özgürleşmeye başladığı düşüncesinin kurgu dünyasındaki yansıması niteliğindedir.

Leyla'nın romantik ilişkilerdeki olgunlaşma süreci, Cem ile olan ilişkisinde Cem'in sadakatsizliği nedeniyle bu ilişkinin son bulmasıyla başlamıştır. Karakterin yaşadığı bu olumsuz deneyim, içsel olarak duyguların ve önceliklerin sorgulanmasına yol açmıştır. Leyla'nın yaşadığı hayal kırıklığı, Stendhal'ın (2020) *Aşk Üzerine* adlı çalışmasında bahsettiği, aşkın o ilk büyülü tutkusunun yerini gerçekliğe bıraktığı ve aşkın trajik yönünün ortaya çıktığı görüşüyle örtüşmektedir.

Leyla'nın romanda tecrübe ettiği asıl kararsızlık Engin ve Ömer karakterleri arasında duygusal bir tercih yapmaya çalışması esnasında ortaya çıkmaktadır. Ömer mantıklı bir aşk seçeneği sunarken Engin ile olan ilişkisi ise zıtlıklar ve çatışmalar üzerine kuruludur. Romanın sonunda Leyla'nın kalbinin sesini dinleyerek Engin'i seçmesi, tüm zorluklar ve kararsızlıklar karşısında aşkın galip geldiğini göstermektedir.

2.2. Kariyer ve Bağımsızlık

Kadının bireyselliğini ve özgürlüğünü öne çıkaran postfeminist söylem, kadının özgürleşmesinin belirli ölçütler dahilinde gerçekleşeceğini savunmaktadır. Bunlardan biri de modern dünyanın bağımsız ve kariyer sahibi kadın profilini görünür kılmasıdır. Tarih boyunca kadın ve erkek üzerine yapılan birtakım kalıplaşmış yargılar kadını ezilen, erkeği ise ayrıcalıklı konumlandırmıştır; ancak bu durum 1950'li yıllara gelindiğinde kadının iş hayatına girmesiyle değişmeye

başlamıştır. Kadınlar, erkekler kadar olmasa da özellikle hizmet sektörüyle birlikte iş olanaklarından daha fazla yararlanmaya başlamıştır (Arslan ve Akın, 2020).

Leyla Gibi romanındaki Leyla, dört ay önce işinden ayrıldıktan sonra yeni iş arama ve deneyimleme sürecine girmiştir. Karakter; büyük bir tekstil firmasının halkla ilişkiler kısmında çalışmayı, Paris, Londra, Milano'daki moda şovlarına katılmayı gerektiren bu deneyimin hayallerinin işi olduğunu düşünmektedir. Ancak deneme süreciyle işe kabul edilen Leyla, bir yığın dosyayla öğrenmeye çalıştığı iş hayatının yaşama sevincini öldürdüğünü fark eder ve deneme süreci olumsuz bir şekilde sonuçlanır. Böylelikle Leyla, kariyer odaklı bir kadın olmaktan ziyade, ev-iş hayatının bireyi monotonlaştırdığı görüşüne sahip bir karakter olarak öne çıkmaktadır. Leyla'nın bu düşünceleri; meslek sahibi ebeveynlerinde gözlemlediği, iş hayatının birey üzerindeki baskısı ve yaşama sevincini azaltan unsurlardan kaynaklanmaktadır. Karakterin bu olumsuz düşüncelerine karşın söz konusu romanda Çağla karakteri; mankenleri aratmayacak bir güzelliği olmasına rağmen, mesleki olarak başarılı bir doktor olarak kurgulanmaktadır. Bu durum, fiziksel çekicilik ve profesyonel başarı arasındaki ilişkiyi sorgulayan bir perspektif sunmaktadır.

Leyla'nın halkla ilişkiler konusunda yetenekli olmasına rağmen iş hayatının baskıcı yönüne dair tutumu, onu kariyer odaklı bir birey olmaktan ziyade, bağımsız ve özgür bir anlayışla hayatını şekillendiren bir kadın olarak konumlandırmaktadır. Yetişme tarzı itibarıyla da modern ve özgür birey olarak büyüyen karakter, yaşam tarzına ve ilişkilerine de bu özgürlükçü yaklaşımı yansıtmaktadır.

2.3. Tüketim Kültürü ve Yaşam Tarzı

Tüketim, bireylerin bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde gerçekleştirdiği bir pratiktir. İnsan var olduğu sürece devam edecek olan bu eylem, modern hayata geçişle birlikte özellikle kadınların hayatında hız kazanmıştır. Kadınlar bir yandan tüketime yönlendirilirken diğer yandan da tüketimin nesnesi hâline gelmektedir. Postfeminizm de kadının özgürlüğünü ve bireysel seçimlerini ön plana çıkarırken bu durumu, postfeminist söylemin en belirgin yansıması olan tüketim pratikleri üzerinden gerçekleştirmektedir. Tüketim çılgınlığı, postfeminizmin yansıması olan chick-lit türünde de özellikle kadın karakterler aracılığıyla kendine yer bulmaktadır. Enver'in *Leyla Gibi* adlı romanı da başkarakterin yaşam tarzı, tüketim alışkanlıkları ve popüler kültürle kurduğu ilişki bakımından öne çıkmaktadır.

İnsanların nesneler tarafından kuşatıldığını öne süren Baudrillard (2016), alışverişin ihtiyaçtan ziyade istatiksel olarak yükselen bir eğriye göre mal edinilmesi anlamına geldiğini ifade etmektedir. Söz konusu eserde de Leyla, alışveriş yapmayı seven bir karakter olarak kurgulanmakta ve en yakın arkadaşı olan Sedef ile olan tüketim alışkanlıklarının benzerliğini şu şekilde anlatmaktadır: "Mango'nun indirim günlerinde, kabarık giysi yığınları arasından hiç şikâyet etmeden saatlerce, en az hasarlı ve uygun bedenli olanları arayıp bulabiliriz. O da ben de parfümerilerden ekstra eşantiyon koparabilmek için dakikalarca dil dökebilir" (Enver, 2012, s. 14-15). Leyla ve Sedef için alışveriş, Baudrillard'ın tanımında bahsettiği gibi ihtiyaç temelli olmaktan çıkarak sosyal bir etkinliğe dönüşmektedir. Bu duruma tepki gösteren karakterlerden biri Leyla'nın annesidir. Kızının tüketim odaklı yaşamını eleştirerek yetişkinlik ve finansal sorumluluk kavramlarına dikkat çekmektedir. Anne, kızına "İş araman nasıl gidiyor? Birikimin var mı? Bu şekilde ortalıkta gezip tozacak, umursamazca alışveriş yapacak kadar paran var mı, yoksa sürekli borçlanıyor musun? Bir yetişkin olduğunu kabullenip öyle davranmaya ne zaman başlayacaksın?" sorularını yönelterek içinde bulunduğu durumu eleştirmektedir (Enver, 2012, s. 27). Annenin bu eleştirileri, kızını sorumluluk sahibi yetişkin bir birey olarak görmek istemesinden kaynaklanmaktadır.

Leyla, hayatına girecek olan erkeğin sosyoekonomik düzeyine ve aldığı maaşa önem vermekte, isteklerinin karşılanarak şımartılma ihtiyacı duymaktadır. Bu bağlamda Ömer'in hediyeleri ile Leyla'nın vitrin alışverişine gösterdiği ilgi, alışverişin romanda hem bireysel bir keyif hem de romantik ilişkilerde bir etkileşim aracı olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Leyla'nın maddi sınırlılıklarına rağmen Jimmy Choo ve Ralph Lauren gibi markalara ilgi göstermesi, karakterin tüketim alışkanlıklarını gösterdiği gibi estetik değerlerini de görünür kılmaktadır. Dolayısıyla romandaki tüketim pratikleri, karakterin ekonomik gerçekliği ile bir çatışma hâlindedir.

Söz konusu eserde, modern şehir hayatının bireyi tüketmeye yönelttiği gibi yaşam tarzında da birtakım değişiklikler yarattığı görülmektedir. Örneğin Leyla'nın astrolojiye olan ilgisi, gündelik yaşamının vazgeçilmez bir parçası hâline gelmiştir. Susan Miller adında bir astroloğu takip eden Leyla, yakın zamanda bir sevgili bulacağına inanmakta ve bu düşüncelerini astroloji ile şu şekilde temellendirmektedir:

> Mutlaka bir sevgili bulacağım, hem de en iyisinden. Nerden mi biliyorum? Ee tabii ki astroloji uzmanı Susan Miller falımda söylüyor. "Sevgili Balık… yeni bir aşk için tüm duyularınız açık hâlde hazır olun. Çünkü çok yakında aşk kapınızı çalacak hem de ummadığınız kadar romantik bir şekilde." (Enver, 2012, s. 52-53)

Leyla'nın astroloji uzmanı Susan Miller'ı takip ederek aşk hayatıyla ilgili tahminleri doğrultusunda kararlar alması, popüler kültür ürünlerinin bireysel yaşam üzerindeki etkisini gözler önüne sermektedir. Leyla'nın annesi ise kızının astrolojiye aşırı ilgisini şu sözlerle eleştirir: "Leyla senin gibi okumuş ve bizim gibi kültürlü, eğitimli bir ailesi olan birinin astrolojiden daha elle tutulur şeylerle ilgilenmesini beklerdim. Kaderini yıldızlara teslim etmek yerine, kontrolü kendi ellerine almaya ne dersin?" (Enver, 2012, s. 27). Bu ifadeler Leyla'nın annesinin, eğitimli bireylerden daha somut ve mantıklı alanlara yönelmesini beklediğini açıkça göstermektedir.

Romanda, yaşam tarzıyla dikkatleri çeken bir diğer karakter de Berna'dır. Leyla, Berna'yı şu şekilde tasvir etmektedir:

> Kısacık, çılgın bir model kesilmiş saçları ve yuvarlak gözlükleri ile -aslında gözü bozuk değil ama nedense bu John Lennon modelinin tarih olduğunu anlamak istemiyor- her erkeğin ilk görüşte gıcık kapacağı türde bir arkadaştır kendisi. Azılı feminist ve hatta biraz da solcu görüntüsü altında barındırdığı çelişkileri nereden bilecek erkekler tabii! (Enver, 2012, s. 15)

Berna'ya dair yapılan bu betimlemeler doğrultusunda, karakterlerin yaşam tarzlarının ve bununla birlikte gelişen tüketim pratiklerinin dönemden döneme değişebildiği görülmektedir. Popüler kültür ve tüketimin birer sömürüsü hâline gelen bireylerin mekân ve yaşam tarzı seçimlerinde de moderniteye uygun olan unsurlar öne çıkmaktadır. Örneğin, "350" adlı restoran-bar, modern ve entelektüel bir çevrenin popüler bir mekânı olarak kurgulanmıştır. Benzer şekilde Cihangir'deki evler de entelektüel kişiliklerin tercih ettiği seçkin yaşam alanları olarak romanda konumlandırılmıştır.

Leyla'nın romantik ilişkilerinde öne çıkan Ömer ve Engin karakterlerinin zıt yaşam tarzları içerisinde kurgulanması, başkarakterin iki farklı hayat pratiği arasında kalmasına neden olmaktadır. Ömer ile birlikteyken Çırağan'da italyan yemekleri gecesi, Ritz'de kahve, Boğaz'da tekne turu, İstinye Park'da alışveriş gibi lüks ve farklı aktivitelere katılmaktadır. Engin ile beraber olmaya başladıktan sonra ise Leyla'nın hem gittiği mekânlar hem de yaptığı aktiviteler değişmeye başlar. Ömer'le deneyimlenen mekânlar yüksek statüyü temsil ederken Engin'le sahildeki bir kafede kahvaltı yapmak, sinemaya gitmek gibi daha samimi ve mütevazı aktiviteler tercih edilmektedir. Bu durum, karakterin bir yandan duygusal bağ kurmak istediği kişiyi seçerken diğer yandan da aslında gelecekteki yaşam tarzını inşa ettiğini göstermektedir.

Eserde, postfeminist söylemin temel unsurlarından biri olan tüketim kültürünün, bireyleri popüler olana teşvik ederek tüketime yönlendirdiği böylelikle hem karakterlerin kimlik oluşumunda hem de yaşam tarzlarının şekillenmesinde öne çıktığı görülmektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, postfeminist söylem ve chick-lit türünün kuramsal çerçevesini açıklamayı ve bu bağlamda Vefa Enver'in *Leyla Gibi* romanını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Postfeminist söylemin Türkiye'deki yansımalarına bakıldığında; reklamlar, diziler ve kadın dergileri aracılığıyla görünürlük kazandığı söylenebilir. Söz konusu söylemin edebiyat dünyasına girmesi ise chick-lit türünün doğuşunu beraberinde getirmiştir. Türk edebiyatında bu türde kaleme alınmış örneklerin ve türe yönelik incelemelerin sınırlı olması, chick-lit'in edebiyatımızdaki görünürlüğü açısından akademik bir boşluğa işaret etmektedir.

Yapılan incelemeler neticesinde, Leyla karakterinin romantik ilişki deneyimleri, kariyer ile bağımsızlık olgusu ve tüketim pratikleri açısından postfeminist söylemin özgür birey anlayışını yansıttığı görülmektedir. Geleneksel toplumlarda ilişkiler mahremiyet çerçevesinde gelişirken modern toplumlarda kadın-erkek ilişkileri daha görünür bir hâlde yaşanmaktadır. Leyla'nın yaşadığı romantik deneyimler de bu duruma örnek olarak gösterilmiştir. Karakterin ilişki deneyimleri sonucunda mantığı ve kalbi arasında kalarak kalbinin sesini dinlemeyi seçmesi, chick-lit türünde aşkın bütün zorlukları aşabilecek bir değer olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca romanda Leyla karakterinin, postfeminizmin öne çıkardığı kariyer odaklı kadın profilinden farklı bir yerde durduğu tespit edilmiştir. Yetenekleri olmasına rağmen çalışma hayatını sıkıcı bulan karakter, modern dünyanın bireyi özgürlük adı altında tüketime ve eğlenceye yönlendiren yapısını yansıtan bir figür niteliğindedir.

Bununla birlikte postfeminist söylemin bireyleri tüketmeye teşvik eden yapısının chick-lit türünde görünür olması, bahsi geçen romanda öne çıkan önemli bir diğer unsurdur. Leyla'nın tüketim pratiklerinin ihtiyaç temelli olmaktan çıkarak sosyal bir etkinliğe ve statü göstergesine dönüştüğü görülmektedir. Leyla, modern dünyaya uyum sağlayan modern genç kadını temsil etmekte ve bunu tüketim pratikleri ile yaşam tarzı üzerinden görünür kılmaktadır. Karakterin tüketime olan ilgisinin, romantik ilişkilerini ve hatta tüm kimlik inşasını şekillendirmesine rağmen aşk karşısında etkisiz kaldığı tespit edilmiştir.

Sonuç itibarıyla bu çalışma, Türk edebiyatında da postfeminizmin izlerinin ve chick-lit türü özelliklerinin mevcut olduğunu Vefa Enver'in *Leyla Gibi* adlı romanı üzerinden ortaya koymuştur. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, Türk chick-lit örneklerinin farklı yazarların eserleri üzerinden karşılaştırmalı olarak ele alınması, türün Türkiye'deki gelişimi ile ilgili daha kapsamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Apak, M. (2004). *1890-1990 arası Türkiye'de kadın hareketinin gelişim süreci ve 2000'lere yansıması: Farklılıklar, tartışmalar, ayrışmalar* [*Yüksek lisans tezi*]. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Arslan, H.N., & Akın, S. (2020). Kadının iş hayatındaki yeri ve karşılaştığı sorunlar üzerine nitel bir araştırma. *PESA Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *6*(2), 131-140.

Baudrillard, J. (2016). *Tüketim toplumu* (8. Basım; H. Deliceçaylı & F. Keskin, Çev.). İstanbul: Ayrıntı Yayınları.

Baykan, B. (2015). Women's reading and writing practices: Chick-lit as a site of struggle in popular culture and literature. *IJASOS- International E-Journal of Advances in Social Sciences*, *1*(1), 27-33. https://doi.org/10.18769/ijasos.94381

Bayram, S. (2022). Türk edebiyatında postfeminist bir söylem: Chick-literature (Çıtır edebiyatı). *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, *9*(4), 1921-1937.

Bayram, S. (2026). Educating through popular fiction: Chick-lit, postfeminism, and cultural mediation in Turkish and Euro-American literatures. *Journal of Educational and Social Research*, *16*(1), 546-562. https://doi.org/10.36941/jesr-2026-0269

Baytar, İ. (2022). Kadın kurgusu çevirileri; Chick-lit"lerin Türk yazın dizgesindeki yeri ve gelişimi. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, *9*(86), 1438-1445. http://dx.doi.org/10.26450/jshsr.3180

Enver, V. (2012). *Leyla gibi* (2. Baskı). İstanbul: Önce Kitap.

Giddens, A. (1994). *Mahremiyetin dönüşümü: Modern toplumlarda cinsellik, aşk ve erotizm* (1. Basım; İ. Şahin, Çev.). İstanbul: Ayrıntı Yayınları. (Orijinal eserin yayın tarihi 1992)

Karataş, Z. (2015). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. *Sosyal Hizmet E-Dergi*, *1*(1), 62-80.

Kavka, M. (2002). Feminism, ethics, and history, or what is the "post" in postfeminism, *Tulsa Studies in Women's Literature*, *21*(1), 29-44. https://doi.org/10.2307/4149214

Kolay, H. (2015, Nisan). Kadın Hareketinin süreçleri, talepleri ve kazanımları. *EMO Kadın Bülteni*, (3), 5-11. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/1bb5fa7cf6b4360_ek.pdf?dergi=990

Mlynowski, S., & Jacobs, F. (2015). *See Jane write: A girl's guide to writing chick lit.* Philadelphia: Quirk Books. Erişim adresi: https://books.google.com.tr/books?id=fMHVEQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Pérez-Serrano, E. (2009). Chick lit and Marian Keyes: The ideological background of the genre. *Working Papers on the Web, 13*. Erişim adresi: https://extra.shu.ac.uk/wpw/chicklit/perezserrano.html

Stendhal. (2020). *Aşk üzerine* (D. Bal, Çev.). İstanbul: Ren Kitap. (Orijinal eserin yayın tarihi 1822)

Taş, G. (2016). Feminizm üzerine genel bir değerlendirme: Kavramsal analizi, tarihsel süreçleri ve dönüşümleri. *Akademik Hassasiyetler*, *3*(5). Erişim adresi: https://izlik.org/JA47JL56SG

Kitab-ı Mukaddes ve Kur'an-ı Kerim'e Göre Hz. Musa ve Hz. Harun

Vezir Tekçe[1]

[1]E-mail:vezirtekce@hakkari.edu.tr; Hakkari Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Felsefe ve Din Bilimeri Bölümü, Hakkari / Türkiye.

Özet

Hz. Musa ve Hz. Harun, hem Kitab-ı Mukaddes'te hem de Kur'an-ı Kerim'de önemli bir yere sahip olan iki peygamberdir. Her iki kutsal metinde de onların hayatları, tebliğ faaliyetleri, Firavun ve İsrailoğulları ile ilişkileri ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır. Hz. Musa, İsrailoğullarını Firavun'un zulmünden kurtarmakla görevlendirilen, ilahî vahye muhatap olan ve toplumuna rehberlik eden merkezi bir şahsiyet olarak anlatılmaktadır. Hz. Harun ise Hz. Musa'nın kardeşi, yardımcısı ve tebliğ görevindeki en önemli destekçisi olarak öne çıkmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de Hz. Musa'nın Allah tarafından peygamber olarak görevlendirilmesinin ardından, konuşma konusunda kendisine yardımcı olması için Hz. Harun'u talep ettiği bildirilmektedir. Kitab-ı Mukaddes'te de Harun, Musa'nın sözcüsü ve görev arkadaşı olarak takdim edilmektedir. Bununla birlikte iki kutsal metnin Hz. Musa ve Hz. Harun'un hayatındaki bazı olayları aktarma ve yorumlama biçimlerinde birtakım farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle buzağı hadisesinde Hz. Harun'un konumu, iki metin arasındaki dikkat çekici farklılıklardan biridir. Kitab-ı Mukaddes'te Harun'un buzağının yapılmasındaki rolü daha belirgin biçimde aktarılırken Kur'an-ı Kerim'de onun İsrailoğullarını bu davranıştan vazgeçirmeye çalıştığı vurgulanmaktadır. Bu çalışma, Hz. Musa ve Hz. Harun'un her iki kutsal metindeki anlatımlarını karşılaştırmalı olarak incelemeyi; ortak ve farklı yönleri ortaya koyarak peygamberlik, tebliğ, liderlik ve kardeşlik bağlamındaki konumlarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hz. Musa, Hz. Harun, Kur'an-ı Kerim, Kitab-ı Mukaddes, Peygamberlik.

Abstract

Moses and Aaron are two prophets who occupy an important place in both the Bible and the Qur'an. Both sacred texts provide accounts of their lives, prophetic missions, encounters with Pharaoh, and relations with the Israelites. Moses is portrayed as a central figure who received divine revelation, was entrusted with delivering the Israelites from Pharaoh's oppression, and guided his community. Aaron, meanwhile, appears as Moses' brother, helper, and one of his most important supporters in fulfilling the prophetic mission. According to the Qur'an, after Moses was appointed as a prophet by God, he asked that Aaron be assigned to assist him, particularly because of Aaron's greater eloquence in speech. Similarly, the Bible presents Aaron as Moses' spokesman and companion in carrying out the divine mission. Nevertheless, there are certain differences between the two sacred texts in their narration and

interpretation of particular events in the lives of Moses and Aaron. One of the most significant differences concerns Aaron's position in the incident of the golden calf. While the Bible attributes a more direct role to Aaron in the making of the calf, the Qur'an emphasizes that he attempted to prevent the Israelites from engaging in this act. This study aims to comparatively examine the portrayals of Moses and Aaron in the Bible and the Qur'an, identify their similarities and differences, and evaluate their roles in the contexts of prophethood, religious proclamation, leadership, and brotherhood.

Keywords: Moses, Aaron, Qur'an, Bible, Prophethood.

GİRİŞ

Hz. Musa ve Hz. Harun, hem Kitab-ı Mukaddes'te hem de Kur'an-ı Kerim'de önemli bir yere sahip olan iki peygamberdir. Her iki kutsal metinde de onların hayatları, tebliğ faaliyetleri, Firavun ve İsrailoğulları ile ilişkileri ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır. Hz. Musa, İsrailoğullarını Firavun'un zulmünden kurtarmakla görevlendirilen, ilahî vahye muhatap olan ve toplumuna rehberlik eden merkezi bir şahsiyet olarak anlatılmaktadır. Hz. Harun ise Hz. Musa'nın kardeşi, yardımcısı ve tebliğ görevindeki en önemli destekçisi olarak öne çıkmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de Hz. Musa'nın Allah tarafından peygamber olarak görevlendirilmesinin ardından, konuşma konusunda kendisine yardımcı olması için Hz. Harun'u talep ettiği bildirilmektedir. Kitab-ı Mukaddes'te de Harun, Musa'nın sözcüsü ve görev arkadaşı olarak takdim edilmektedir. Bununla birlikte iki kutsal metnin Hz. Musa ve Hz. Harun'un hayatındaki bazı olayları aktarma ve yorumlama biçimlerinde birtakım farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle buzağı hadisesinde Hz. Harun'un konumu, iki metin arasındaki dikkat çekici farklılıklardan biridir. Kitab-ı Mukaddes'te Harun'un buzağının yapılmasındaki rolü daha belirgin biçimde aktarılırken Kur'an-ı Kerim'de onun İsrailoğullarını bu davranıştan vazgeçirmeye çalıştığı vurgulanmaktadır. Bu çalışma, Hz. Musa ve Hz. Harun'un her iki kutsal metindeki anlatımlarını karşılaştırmalı olarak incelemeyi; ortak ve farklı yönleri ortaya koyarak peygamberlik, tebliğ, liderlik ve kardeşlik bağlamındaki konumlarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

1. KİTAB-I MUKADDES VE KUR'AN-I KERİM'DE HZ. MUSA VE HZ. HARUN

Hz. Musa, Yahudilik, Hristiyanlık ve İslam geleneğinin ortak kabul ettiği en önemli peygamberlerden biridir. Onun hayatına ilişkin anlatılar özellikle Tevrat'ın Çıkış, Levililer, Sayılar ve Yasa'nın Tekrarı kitaplarında geniş bir yer tutmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de de Hz. Musa'dan çok sayıda sure ve ayette söz edilmekte, onun hayatının farklı

dönemleri çeşitli bağlamlarda anlatılmaktadır. Bu nedenle Hz. Musa, Kitab-ı Mukaddes ve Kur'an arasındaki ortak peygamber anlatılarının karşılaştırılması açısından dikkat çekici bir konuma sahiptir (Kara, 1991; Wheeler, 2002; Wickwire, 2007).

Kitab-ı Mukaddes'e göre Hz. Musa'nın dünyaya geldiği dönem, İsrailoğullarının Mısır'da baskı altında bulunduğu bir zamana karşılık gelmektedir. İsrailoğullarının nüfusunun artmasından endişe eden Mısır kralı, onların erkek çocuklarının öldürülmesini emretmiştir (Çıkış 1:8-22). Musa'nın annesi ise çocuğunu bir süre gizlemiş, daha sonra onu bir sepete koyarak Nil Nehri'nin kıyısındaki sazlıkların arasına bırakmıştır. Firavun'un kızı tarafından bulunan çocuk saraya götürülmüş ve "Musa" adı verilmiştir (Çıkış 2:1-10).

Kur'an-ı Kerim'de de Hz. Musa'nın doğumu ve çocukluğu benzer temel unsurlar çerçevesinde anlatılmaktadır. Kasas suresinde Firavun'un halkı çeşitli gruplara ayırdığı, İsrailoğullarından bir grubu güçsüz bıraktığı ve onların erkek çocuklarını öldürttüğü bildirilmektedir (el-Kasas 28/4). Musa dünyaya geldiğinde annesine onu emzirmesi, başına bir şey gelmesinden korktuğunda ise nehre bırakması vahyedilmiştir. Aynı zamanda kendisine korkmaması ve üzülmemesi bildirilerek çocuğunun kendisine geri verileceği ve onun peygamberlerden biri olacağı müjdelenmiştir (el-Kasas 28/7). Kur'an'daki Hz. Musa anlatısında Firavun ve onun İsrailoğullarına karşı uyguladığı baskı, Musa'nın peygamberlik görevinin tarihsel ve toplumsal arka planının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Kara, 1991).

Kur'an anlatısında Hz. Musa'nın çocukluk döneminin ilahî koruma altında geçtiği özellikle vurgulanmaktadır. Musa'nın Firavun ailesi tarafından bulunmasından sonra Firavun'un eşi onun öldürülmemesini istemiştir. Musa'nın başka sütanneleri kabul etmemesi üzerine kız kardeşinin yönlendirmesiyle annesi tekrar ona kavuşmuş ve böylece Allah'ın vaadinin gerçekleştiği bildirilmiştir (el-Kasas 28/8-13). Bu anlatıda Hz. Musa'nın henüz çocukluğundan itibaren ilahî bir plan çerçevesinde korunduğu düşüncesi belirgin bir konumdadır (Ömer, 2003).

Her iki kutsal metinde de Musa'nın doğumunun olağanüstü şartlar içerisinde gerçekleştiği, İsrailoğullarının baskı altında bulunduğu bir ortamda ölüm tehlikesinden kurtulduğu ve Mısır yönetimiyle bağlantılı bir çevrede yetiştiği görülmektedir. Bununla birlikte anlatıların ayrıntılarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Kitab-ı Mukaddes'te Musa'yı bulan kişi Firavun'un kızı olarak belirtilirken Kur'an'da Musa'nın öldürülmemesini isteyen kişi Firavun'un eşi olarak karşımıza çıkmaktadır (Çıkış 2:5-10; el-Kasas 28/9). Bu tür benzerlik ve farklılıklar, Hz. Musa anlatılarının karşılaştırmalı olarak incelenmesinin önemini ortaya koymaktadır (Wickwire, 2007).

Hz. Musa'nın hayatındaki önemli dönüm noktalarından biri, Mısır'dan ayrılmasına neden olan olaydır. Kitab-ı Mukaddes'te Musa'nın büyüdükten sonra halkının yaşadığı ağır koşulları gördüğü, bir Mısırlının İbrani bir kişiyi dövdüğüne şahit olduğu ve Mısırlıyı öldürdüğü anlatılmaktadır. Olayın duyulması üzerine Firavun Musa'yı öldürmek istemiş, Musa da Midyan bölgesine kaçmıştır (Çıkış 2:11-15).

Kur'an-ı Kerim'de de benzer bir olay Kasas suresinde aktarılmaktadır. Musa şehre girdiğinde kavga eden iki kişiyle karşılaşmış, kendi toplumundan olan kişinin yardım istemesi üzerine karşı taraftaki kişiye müdahale etmiş ve onun ölümüne sebep olmuştur. Musa, yaptığı davranışın ardından Allah'tan bağışlanma dilemiş ve bağışlanmıştır. Daha sonra öldürülmek üzere hakkında karar alındığının kendisine bildirilmesi üzerine şehirden ayrılmış ve Medyen'e yönelmiştir (el-Kasas 28/15-22; Kara, 1991).

Musa'nın peygamber olarak görevlendirilmesi de her iki kutsal metinde önemli bir yere sahiptir. Kitab-ı Mukaddes'e göre Musa, Horev Dağı civarında kayınpederi Yitro'nun sürüsünü otlatırken yanan fakat tükenmeyen bir çalı görmüş ve burada Tanrı tarafından kendisine seslenilmiştir. Tanrı, İsrailoğullarının Mısır'daki sıkıntısını gördüğünü bildirerek Musa'yı onları Mısır'dan çıkarmakla görevlendirmiştir (Çıkış 3:1-10).

Kur'an-ı Kerim'de ise Musa'nın ailesiyle birlikte yolculuk yaptığı sırada Tûr tarafında bir ateş gördüğü ve ailesine beklemelerini söyleyerek ateşe doğru gittiği bildirilmektedir. Burada kendisine Allah tarafından seslenilmiş ve peygamber olarak seçildiği bildirilmiştir. Tâhâ suresinde Musa'ya, "Şüphesiz ben Allah'ım. Benden başka hiçbir ilâh yoktur" mesajının verilmesi, görevlendirmenin tevhid ilkesiyle doğrudan ilişkilendirildiğini göstermektedir (Tâhâ 20/9-14).

Kur'an'da ayrıca Musa'ya asasını yere bırakması emredilmiş, asanın yılana dönüşmesi ve elinin farklı bir görünüm kazanması kendisine verilen mucizeler arasında zikredilmiştir (Tâhâ 20/17-23). Benzer şekilde Kitab-ı Mukaddes'te de asanın yılana dönüşmesi ve Musa'nın elinin geçirdiği değişim, kendisine verilen işaretler arasında bulunmaktadır (Çıkış 4:1-9). Hz. Musa'ya verilen mucizeler hem Kur'an hem de Tevrat anlatısında onun peygamberlik görevinin önemli unsurlarından biridir. Bununla birlikte mucizelerin aktarılışında ve ayrıntılarında iki kutsal metin arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır (Taşdoğan, 2023).

Dolayısıyla her iki kutsal metinde de Hz. Musa'nın sıradan bir hayat sürdürürken ilahî çağrıya muhatap olduğu, Mısır'a dönmesinin istendiği ve Firavun karşısında İsrailoğullarının kurtuluşu için görevlendirildiği görülmektedir. Bu noktada Hz. Musa'nın görevi yalnızca bireysel bir peygamberlik tecrübesi değildir. Onun görevi aynı zamanda baskı altında bulunan bir toplumun özgürlüğüne kavuşturulması ve ilahî iradeye dayalı yeni bir toplumsal düzenin kurulmasıyla bağlantılıdır (Kara, 1991).

Hz. Musa'nın peygamberlik görevinde en önemli yardımcısı kardeşi Hz. Harun'dur. Bu durum hem Kitab-ı Mukaddes'te hem de Kur'an-ı Kerim'de açık biçimde görülmektedir. Musa'nın Harun'a duyduğu ihtiyaç özellikle tebliğ görevinin yerine getirilmesi bağlamında ortaya çıkmaktadır (Akıncı, 2020).

Kitab-ı Mukaddes'te Musa, kendisine verilen görev karşısında konuşma yeteneğinin yeterli olmadığını dile getirmektedir. Bunun üzerine Musa'nın kardeşi Harun'un iyi konuştuğu belirtilerek onun Musa'ya yardımcı olacağı bildirilmektedir. Metinde Harun'un Musa adına halka konuşacağı ve böylece onun sözcüsü konumunda bulunacağı ifade edilmektedir (Çıkış 4:10-16).

Kur'an-ı Kerim'de de Musa'nın Harun'u yardımcı olarak istemesi oldukça açık bir şekilde aktarılmaktadır. Musa, Firavun'a gönderildiğinde Allah'a dua ederek göğsünün genişletilmesini, işinin kolaylaştırılmasını ve dilindeki düğümün çözülmesini istemiştir. Ardından ailesinden kardeşi Harun'un kendisine yardımcı kılınmasını talep etmiştir (Tâhâ 20/25-32). Başka bir ayette Musa, kardeşi Harun'un kendisinden daha düzgün ve açık konuştuğunu belirterek onu destekleyici olarak yanında istemiştir (el-Kasas 28/34).

Kur'an'daki anlatımın önemli özelliklerinden biri, Harun'un yalnızca Musa'nın beşerî anlamdaki yardımcısı olarak değil, kendisine peygamberlik verilen bir şahsiyet olarak da sunulmasıdır. Meryem suresinde Allah'ın Musa'ya rahmetinden kardeşi Harun'u da peygamber olarak verdiği ifade edilmektedir (Meryem 19/53). Enbiyâ suresinde ise Musa ile Harun'a hakkı batıldan ayıran bir ölçü ve takva sahipleri için bir ışık ve öğüt verildiği bildirilmektedir (el-Enbiyâ 21/48). Bu bağlamda Kur'an'da Hz. Musa ile Hz. Harun arasındaki ilişkinin kardeşlik, peygamberlik ve görev ortaklığı olmak üzere üç temel boyuta sahip olduğu söylenebilir. Musa temel lider olarak öne çıkmakla birlikte Harun onun tebliğ faaliyetinin önemli bir parçasıdır. Böylece peygamberlik görevinin yerine getirilmesinde yardımlaşma ve dayanışmanın önemi de ortaya konulmaktadır (Akıncı, 2020).

2. HZ. MUSA VE HZ. HARUN'UN FİRAVUN VE İSRAİLOĞULLARIYLA MÜCADELESİ

Hz. Musa ve Hz. Harun'un ortak görevlerinin merkezinde Firavun'a yönelik tebliğ bulunmaktadır. Kitab-ı Mukaddes'te Musa ve Harun'un Firavun'un karşısına çıkarak İsrail'in Tanrısı adına İsrailoğullarının serbest bırakılmasını istedikleri anlatılmaktadır. Firavun ise bu talebi reddetmiş ve İsrailoğullarına yönelik baskıyı artırmıştır (Çıkış 5:1-9).

Kur'an-ı Kerim'de de Allah'ın Musa ve Harun'u birlikte Firavun'a gönderdiği belirtilmektedir. Tâhâ suresinde iki kardeşe, "Firavun'a gidin; çünkü o azmıştır" şeklinde emir verildikten sonra onunla yumuşak bir şekilde konuşmaları istenmektedir (Tâhâ 20/43-44). Bu ifade, Kur'an'ın tebliğ anlayışı bakımından önem taşımaktadır. Firavun gibi zulüm ve büyüklük iddiasıyla tanımlanan bir kişiye karşı dahi ilk aşamada yumuşak sözün tercih edilmesi, tebliğin temelinde ikna ve uyarının bulunduğunu göstermektedir. Hz. Musa ile Firavun arasındaki mücadele Kur'an'da oldukça geniş bir çerçevede ele alınmış; bu mücadele içerisinde Hz. Harun da Musa'nın destekçisi olarak yer almıştır (Kara, 1991; Ömer, 2003). Firavun ise Musa'nın peygamberliğini kabul etmemiş, gösterdiği mucizeleri sihir olarak değerlendirmiş ve sihirbazlarını onun karşısına çıkarmıştır. Musa'nın asasının sihirbazların ortaya koyduklarını etkisiz hâle getirmesi sonucunda sihirbazların iman ettikleri belirtilmektedir (el-A'râf 7/103-126; Tâhâ 20/56-73).

Kitab-ı Mukaddes'te de Musa ve Harun'un Firavun karşısında birtakım mucizeler gösterdiği anlatılmaktadır. Harun'un asasının yılana dönüşmesi ve Mısırlı bilginlerin benzer davranışlar göstermelerine rağmen Harun'un asasının onların asalarını yutması bu olaylardan biridir (Çıkış 7:8-13). Ardından Mısır'da meydana gelen çeşitli felaketler aktarılmakta, buna rağmen Firavun'un İsrailoğullarını bırakmak istemediği belirtilmektedir. Musa'nın Firavun karşısında gösterdiği mucizeler, hem Tevrat hem de Kur'an anlatısında ilahî desteğin göstergesi olarak önemli bir konuma sahiptir (Taşdoğan, 2023).

Her iki metinde ortak olan temel unsur, Firavun'un ilahî çağrı karşısındaki direnişidir. Hz. Musa ve Hz. Harun ise bu otorite karşısında ilahî mesajı temsil etmektedir. Dolayısıyla Firavun-Musa mücadelesi yalnızca iki şahıs arasındaki siyasi bir mücadele şeklinde değerlendirilmemelidir. Anlatıların dinî bağlamında bu mücadele ilahî otorite ile kendisini mutlaklaştıran dünyevî iktidar arasındaki karşıtlığı da temsil etmektedir (Kara, 1991).

Musa ve Harun'un Firavun karşısındaki mücadelesinin önemli sonuçlarından biri İsrailoğullarının Mısır'dan çıkışıdır. Kitab-ı Mukaddes'in Çıkış kitabı bu hadiseyi ayrıntılı biçimde anlatmaktadır. Firavun'un uzun süre direniş göstermesinin ardından İsrailoğullarının Mısır'dan ayrılmasına izin verilmiş, ancak daha sonra Firavun ordusuyla onların peşine düşmüştür. Musa'nın deniz üzerine elini uzatmasıyla suların ayrıldığı, İsrailoğullarının kuru zeminden geçtikleri ve peşlerinden gelen Mısır ordusunun suların altında kaldığı aktarılmaktadır (Çıkış 14:21-31).

Kur'an-ı Kerim'de de Musa'ya İsrailoğullarını geceleyin yola çıkarmasının emredildiği ve Firavun'un ordusuyla onların peşine düştüğü bildirilmektedir. Musa'nın asasıyla denize vurması sonucunda denizin yarıldığı, İsrailoğullarının kurtulduğu, Firavun ve ordusunun ise boğulduğu belirtilmektedir (eş-Şuarâ 26/52-68). Denizden geçiş ve Firavun'un boğulması, Hz. Musa'ya verilen mucizelerin en dikkat çekici örneklerinden biri olarak hem Kur'an hem de Tevrat'ta yer almaktadır (Taşdoğan, 2023). Bu olay, her iki kutsal metinde de ilahî kurtuluşun önemli bir örneğidir. Musa'nın liderliği altında İsrailoğulları kölelik ve baskı ortamından çıkarılarak yeni bir döneme taşınmıştır. Bu nedenle Musa'nın şahsiyetinde peygamberlik ile toplumsal liderliğin birleştiği görülmektedir. Harun da bu süreçte kardeşinin yanında yer alan ve toplumsal görev üstlenen önemli bir şahsiyet konumundadır (Akıncı, 2020).

İsrailoğullarının Mısır'dan ayrılmasından sonraki en önemli gelişmelerden biri Musa'nın ilahî emirleri almak üzere dağa çıkmasıdır. Kitab-ı Mukaddes'te Musa'nın Sina Dağı'na çıkarak Tanrı ile buluştuğu ve burada kendisine emirlerin verildiği anlatılmaktadır (Çıkış 19-20).

Kur'an-ı Kerim'de de Allah'ın Musa ile otuz gece için sözleştiği, buna on gece daha eklenerek sürenin kırk geceye tamamlandığı bildirilmektedir. Musa bu süre içerisinde kardeşi Harun'u İsrailoğullarının başında bırakmış ve ona toplum içinde kendi yerine geçmesini, düzeltici davranmasını ve bozguncuların yoluna uymamasını söylemiştir (el-A'râf 7/142). Bu ayet Hz. Harun'un konumunu anlamak bakımından son derece önemlidir. Çünkü Musa'nın yokluğunda İsrailoğullarının yönetiminin Harun'a bırakılması, onun yalnızca bir sözcü değil, toplum üzerinde sorumluluk taşıyan bir lider olduğunu göstermektedir. Musa'nın kardeşine verdiği talimat da Harun'un toplumsal düzeni korumakla sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır (Akıncı, 2020). Musa'nın dağa çıkması sırasında yaşanan en önemli olay ise İsrailoğullarının buzağıya yönelmesidir. Bu hadise hem Kitab-ı Mukaddes'te hem Kur'an'da yer almakla birlikte Hz. Harun'un olay içerisindeki rolünün aktarılışında önemli bir farklılık bulunmaktadır.

3. KİTAB-I MUKADDES VE KUR'AN-I KERİM'DE HZ. MUSA VE HZ. HARUN ANLATILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Hz. Musa ve Hz. Harun hakkında Kitab-ı Mukaddes ile Kur'an-ı Kerim arasında yapılan karşılaştırmalarda en dikkat çekici konulardan biri altın buzağı hadisesidir. Olayın temel çerçevesi her iki kutsal metinde benzer olmakla birlikte buzağının yapılmasından sorumlu tutulan kişi bakımından önemli bir farklılık görülmektedir (Wickwire, 2007). Kitab-ı Mukaddes'in Çıkış kitabına göre Musa'nın dağdan dönmesinin gecikmesi üzerine halk Harun'un çevresinde toplanarak kendilerine öncülük edecek ilahlar yapmasını istemiştir. Bunun üzerine Harun, halktan altın küpelerini getirmelerini talep etmiş, kendisine getirilen altınları alarak bunlardan dökme bir buzağı yapmıştır. Ardından buzağının önünde bir sunak kurduğu ve ertesi gün için bir bayram ilan ettiği aktarılmaktadır (Çıkış 32:1-6).

Musa dağdan döndüğünde halkın davranışına öfkelenmiş ve elindeki levhaları yere atarak parçalamıştır. Daha sonra Harun'a halkın kendisine ne yaptığını ve onları neden böyle büyük bir günaha sürüklediğini sormuştur. Harun ise halkın kötülüğe eğilimli olduğunu, kendisinden bir ilah yapmasını istediklerini ve kendisine verilen altınları ateşe atmasının ardından buzağının ortaya çıktığını söylemiştir (Çıkış 32:19-24). Kur'an-ı Kerim'deki anlatım ise bu noktada önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Kur'an'da buzağının meydana getirilmesi Hz. Harun'a değil, "Sâmirî" adı verilen kişiye nispet edilmektedir. Musa dağda bulunduğu sırada Allah ona kavminin sınandığını ve Sâmirî'nin onları saptırdığını bildirmiştir (Tâhâ 20/85). Sâmirî'nin daha sonra kavim için böğürme sesi çıkaran bir buzağı heykeli meydana getirdiği belirtilmektedir (Tâhâ 20/87-88).

Kur'an'da Hz. Harun ise bu davranışa katılan bir kişi değil, aksine İsrailoğullarını bundan vazgeçirmeye çalışan bir peygamber olarak anlatılmaktadır. Harun kavmine bunun kendileri için bir imtihan olduğunu bildirmiş, gerçek Rablerinin Rahmân olduğunu hatırlatmış ve kendisine uymalarını istemiştir. Halk ise Musa dönünceye kadar buzağıya tapmaktan vazgeçmeyeceklerini söylemiştir (Tâhâ 20/90-91). Musa geri döndüğünde Harun'a öfkelenmiş ve kavminin sapmasını gördüğü hâlde neden gereken müdahaleyi yapmadığını sormuştur. Harun ise kavmin bölünmesinden endişe ettiğini ve Musa'nın kendisini İsrailoğulları arasında ayrılığa yol açmakla suçlamasından korktuğunu belirtmiştir (Tâhâ 20/92-94). A'râf suresinde de Harun'un kavmi karşısında güçsüz bırakıldığını ve neredeyse öldürüleceğini söylediği bildirilmektedir (el-A'râf 7/150).

Dolayısıyla iki kutsal metin arasındaki en belirgin farklılıklardan biri burada ortaya çıkmaktadır. Çıkış kitabındaki anlatım Harun'u altın buzağının yapılması sürecinin içinde gösterirken Kur'an, buzağıyı yapan kişinin Sâmirî olduğunu bildirerek Harun'u kavmini bu davranıştan vazgeçirmeye çalışan kişi olarak sunmaktadır. Kur'an anlatısında Harun'un karşı karşıya bulunduğu sorun, put yapımına katılması değil, Musa'nın yokluğunda toplumun parçalanmasını engellemeye çalışırken bu sapmayı fiilen durdurabilecek güce sahip olmamasıdır (Akıncı, 2020; Wickwire, 2007).

Bu farklılık, Hz. Harun'un iki kutsal metindeki konumunun karşılaştırılması açısından temel öneme sahiptir. Kur'an'da Harun'un peygamber olarak tanımlanması ve buzağıya tapınmaya açık biçimde karşı çıkması, onun tevhid inancını koruyan bir peygamber şeklindeki konumuyla uyumludur. Kitab-ı Mukaddes'in Çıkış kitabındaki anlatıda ise Harun'un bu olay sırasında halkın talebine karşı koyamadığı ve buzağının yapımında aktif bir rol üstlendiği görülmektedir.

Hz. Musa ile Hz. Harun arasındaki ilişki, kutsal metinlerde yalnızca biyolojik bir kardeşlik ilişkisi değildir. İki kardeş aynı zamanda büyük bir dinî ve toplumsal sorumluluğun paylaşımında birlikte hareket etmektedir. Musa'nın peygamber olarak görevlendirildiği andan itibaren Harun'un onun yanında bulunması bu görev birliğinin temelini meydana getirmektedir (Akıncı, 2020).

Kur'an-ı Kerim'de Musa'nın Harun'u yardımcısı olarak istemesinin gerekçesi oldukça anlamlıdır. Musa, kardeşi sayesinde gücünün artırılmasını ve görevinin paylaşılmasını istemektedir. Tâhâ suresindeki duasında Harun'un kendisine yardımcı kılınmasını istemesinin ardından "Onunla gücümü artır. Onu işime ortak et" anlamındaki ifadelerin bulunması bu ilişkiyi göstermektedir (Tâhâ 20/31-32). Buradaki ortaklık peygamberlik makamlarının eşitliği anlamından ziyade tebliğ görevinin birlikte yerine getirilmesini ifade etmektedir.

Kitab-ı Mukaddes'te de benzer şekilde Harun, Musa'nın yanında konuşan ve onun mesajını topluma ve Firavun'a aktaran kişi olarak görev yapmaktadır. Musa'nın konuşma konusundaki endişelerine karşılık Harun'un sözcü olarak görevlendirilmesi, iki kardeş arasındaki iş bölümünü göstermektedir (Çıkış 4:14-16).

Bununla birlikte Musa'nın liderliği her iki metinde de daha belirgindir. İsrailoğullarının Mısır'dan çıkarılması, vahyin alınması, toplumun yönlendirilmesi ve ilahî emirlerin tebliğ edilmesi gibi temel olayların merkezinde Musa

bulunmaktadır. Harun ise bu liderliğin yanında destekleyici, tamamlayıcı ve gerektiğinde Musa'nın yerine toplumsal sorumluluk üstlenen bir konumdadır.

Bu durum peygamberlik görevinde dayanışmanın önemli bir örneği olarak değerlendirilebilir. Musa'nın ilahî görevi yerine getirirken kardeşinin desteğine ihtiyaç duyduğunu ifade etmesi, peygamberlerin beşerî özelliklere sahip olduklarını ve görevlerini yerine getirirken çeşitli vasıtalardan yararlandıklarını göstermektedir. Aynı zamanda kardeşlik bağının ortak bir inanç ve görev etrafında daha güçlü bir niteliğe kavuştuğu görülmektedir.

Hz. Musa'nın her iki kutsal metindeki anlatımı değerlendirildiğinde onun güçlü bir liderlik özelliği taşıdığı görülmektedir. Bu liderliğin temelinde ilahî görevlendirme bulunmaktadır. Musa, Firavun'un karşısına çıkarak yalnızca dinî bir mesaj iletmemiş, aynı zamanda baskı altında yaşayan İsrailoğullarının özgürlüğüne kavuşmasını sağlayan sürece öncülük etmiştir (Kara, 1991).

Kur'an'da Musa'nın Firavun karşısındaki mücadelesi iman-küfür, adalet-zulüm ve ilahî otorite-beşerî tahakküm gibi karşıtlıklar içerisinde sunulmaktadır. Firavun, yeryüzünde büyüklük taslayan ve halkını baskı altında tutan bir yönetici olarak tanımlanırken Musa, Allah'ın ayetleriyle onun karşısına çıkan peygamberdir (el-Kasas 28/4; el-A'râf 7/103-137). Hz. Harun'un liderliği ise daha çok Musa'yı destekleme ve Musa'nın bulunmadığı dönemde toplumun bütünlüğünü koruma bağlamında görülmektedir. Buzağı hadisesi sırasında Harun'un davranışı Kur'an perspektifinden değerlendirildiğinde onun bir taraftan tevhid inancını korumaya çalıştığı, diğer taraftan toplumun tamamen parçalanmasını engellemek istediği anlaşılmaktadır. Nitekim Musa'ya verdiği cevapta İsrailoğulları arasında ayrılık çıkmasından endişe ettiğini belirtmektedir (Tâhâ 20/94).

Burada iki farklı liderlik biçiminden söz edilebilir. Musa'nın liderliği daha güçlü müdahale, mücadele ve toplumsal dönüşüm özellikleri taşırken Harun'un liderliği uzlaştırıcı ve toplumsal bütünlüğü korumaya yönelik bir nitelik göstermektedir. Bununla birlikte her iki peygamberin temel amacı aynıdır: İlahi mesajı insanlara ulaştırmak ve toplumu Allah'ın emirleri doğrultusunda yönlendirmek. Hz. Musa ve Hz. Harun hakkındaki Kitab-ı Mukaddes ve Kur'an anlatıları genel olarak değerlendirildiğinde önemli ortaklıkların bulunduğu görülmektedir. Her iki metinde Musa İsrailoğullarından olan, Mısır'da yaşayan, Firavun yönetimiyle karşı karşıya kalan, Mısır'dan ayrılan, daha sonra ilahî bir çağrıya muhatap olan ve Firavun'a gönderilen bir şahsiyettir. Harun ise onun kardeşi ve en önemli yardımcısıdır (Wheeler, 2002; Wickwire, 2007).

Her iki anlatıda Musa'nın konuşma konusundaki endişesinden dolayı Harun'un yardımına başvurduğu görülmektedir. Yine Musa ve Harun'un birlikte Firavun'un karşısına çıkmaları, mucizelerin meydana gelmesi, İsrailoğullarının Mısır'dan ayrılması, denizin aşılması ve Musa'nın ilahî emirleri almak üzere dağa çıkması ortak anlatı unsurları arasında yer almaktadır. Musa'nın mucizeleri açısından yapılan karşılaştırmalar da iki kutsal metinde çok sayıda ortak anlatı unsurunun yanında metinlere özgü birtakım farklılıkların bulunduğunu göstermektedir (Taşdoğan, 2023).

Bununla birlikte ayrıntılarda önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıkların en belirginlerinden biri daha önce belirtildiği üzere buzağı hadisesidir. Çıkış 32'de Harun altın buzağının yapımında doğrudan rol alırken Kur'an'da bu eylem Sâmirî'ye nispet edilmekte ve Harun'un buna karşı çıktığı belirtilmektedir. Bu nedenle aynı olayın iki kutsal metindeki anlatımı, Harun'un sorumluluğu bakımından farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Kitab-ı Mukaddes'in Çıkış 32'deki anlatısında Harun'un halktan altınları istediği ve buzağıyı meydana getirdiği açıkça anlatılırken Kur'an'ın Tâhâ 90-94. ayetlerinde Harun'un halkı uyaran fakat sözünü dinletemeyen kişi olduğu belirtilmektedir (Akıncı, 2020; Wickwire, 2007).

Kur'an'ın önceki kutsal geleneklerle ilişkisini inceleyen modern araştırmalar, Kur'an'daki peygamber anlatılarının Kitab-ı Mukaddes'teki anlatılarla birçok ortak unsur taşımakla birlikte bunları kendi teolojik ve edebî bağlamı içerisinde sunduğuna dikkat çekmektedir (Neuwirth et al., 2010; Sinai, 2017; Wheeler, 2002). Bu nedenle iki metindeki benzerlikleri tespit etmek kadar anlatıların kendi bağlamlarında taşıdıkları mesajları ve farklılıkları incelemek de önemlidir.

Musa anlatısı bakımından Kur'an'ın temel vurgularından biri tevhid, peygamberlik, ilahî yardım ve zulme karşı mücadeledir. Kitab-ı Mukaddes'te ise Musa'nın hayatı İsrail halkının Mısır'dan çıkışı, ahdin kurulması, ilahî yasanın verilmesi ve İsrail toplumunun teşekkülü açısından merkezi bir konum taşımaktadır. Dolayısıyla ortak şahıs ve olaylar bulunmasına rağmen anlatıların metin içerisindeki işlevleri kendi dinî ve teolojik bütünlükleri içerisinde değerlendirilmelidir.

Sonuç

Hz. Musa ve Hz. Harun, Kitab-ı Mukaddes ve Kur'an-ı Kerim'de ortak olarak yer alan en önemli peygamberler arasındadır. Her iki kutsal metinde Hz. Musa, ilahî vahye muhatap olan, Firavun'un karşısına çıkan, İsrailoğullarının Mısır'daki baskıdan kurtarılmasına öncülük eden ve toplumuna rehberlik yapan merkezi bir şahsiyet olarak sunulmaktadır. Hz. Harun ise onun kardeşi ve tebliğ görevindeki en önemli yardımcısıdır.

Hz. Musa'nın doğumundan itibaren karşı karşıya kaldığı tehlikeler, Mısır'dan ayrılması, ilahî çağrıya muhatap olması, Firavun'a gönderilmesi ve İsrailoğullarına liderlik etmesi iki kutsal metindeki anlatıların temel ortak noktalarını meydana getirmektedir. Aynı şekilde Harun'un Musa'ya yardımcı olması ve iki kardeşin Firavun karşısında birlikte hareket etmeleri de ortak unsurlar arasındadır.

Kur'an-ı Kerim'de Musa ile Harun arasındaki ilişkinin özellikle peygamberlik ve tebliğ dayanışması bağlamında ele alındığı görülmektedir. Musa'nın kardeşini kendisine yardımcı olarak istemesi, Harun'un peygamberlikle görevlendirilmesi ve iki kardeşin Firavun'a birlikte gönderilmesi bu durumun açık göstergeleridir. Kitab-ı Mukaddes'te de Harun, Musa'nın sözcüsü ve görev arkadaşı olarak önemli bir konuma sahiptir.

Bununla birlikte iki kutsal metin arasındaki farklılıklar özellikle altın buzağı hadisesinde belirginleşmektedir. Kitab-ı Mukaddes'in Çıkış kitabında Harun, halkın talebi üzerine altınları toplayan ve buzağının meydana getirilmesinde rol oynayan kişi olarak aktarılmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de ise buzağının yapılması Sâmirî'ye nispet edilmekte, Harun'un İsrailoğullarını bu davranıştan vazgeçirmeye çalıştığı açıkça belirtilmektedir. Böylece Kur'an anlatısında Harun, putperestliğe katılan değil, tevhid inancını korumaya çalışan bir peygamber olarak konumlandırılmaktadır.

Sonuç olarak Hz. Musa ve Hz. Harun anlatıları, Kitab-ı Mukaddes ile Kur'an-ı Kerim arasındaki ortak dinî mirasın önemli örneklerinden birini oluşturmaktadır. İki metinde ortak kişi ve olayların bulunması, bu gelenekler arasındaki tarihî ve dinî bağlantının araştırılması bakımından önemlidir. Bunun yanında olayların aktarılışında ve özellikle bazı şahısların sorumluluklarının belirlenmesinde görülen farklılıklar, her kutsal metnin kendine özgü teolojik anlatısını ortaya koymaktadır. Hz. Musa'nın güçlü liderliği ile Hz. Harun'un destekleyici ve tamamlayıcı görevi birlikte değerlendirildiğinde ise iki peygamberin kardeşlik, dayanışma, tebliğ ve toplumsal sorumluluk bakımından önemli bir örnek oluşturdukları sonucuna ulaşılmaktadır.

Kaynakça

Akıncı, A. C. (2020). *Hz. Musa Hz. Harun*. Bahar Yayınları.

Firestone, R. (1990). *Journeys in holy lands: The evolution of the Abraham-Ishmael legends in Islamic exegesis*. State University of New York Press.

Kara, N. (1991). *Kur'an'a göre Hz. Mûsâ, Firavun ve Yahudiler* (2. bs.). Seha Neşriyat.

Kutsal Kitap. (2001). *Kutsal Kitap: Eski ve Yeni Antlaşma (Tevrat, Zebur, İncil)*. Kitabı Mukaddes Şirketi.

Neuwirth, A., Sinai, N., & Marx, M. (Eds.). (2010). *The Qurʾān in context: Historical and literary investigations into the Qurʾānic milieu*. Brill.

Ömer, Ö. A. (2003). *Kur'an-ı Kerim'de Hz. Musa (a.s.)*. Kelebek Yayınları.

Sallabi, A. M. (t.y.). *Kelimullah Hz. Musa aleyhisselam* (2 cilt). Ravza Yayınları.

Sinai, N. (2017). *The Qur'an: A historical-critical introduction*. Edinburgh University Press. https://doi.org/10.1515/9780748695782

Taşdoğan, M. (2023). *Tevrat'ta ve Kur'an'da Hz. Mûsâ'nın mûcizeleri*. Fecr Yayınları.

Wheeler, B. M. (2002). *Moses in the Qur'an and Islamic exegesis*. RoutledgeCurzon.

Wickwire, D. (2007). *Kitab-ı Mukaddes ve Kur'an-ı Kerim fihristi*. Dumat Ofset Yayıncılık.

Kaynaştırma Eğitimine Yönelik Hazırlanan Yüksek Lisans Tezlerinin Tematik İncelenmesi

Rabia BİLGEN

Amasya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Temel Eğitim Anabilim Dalı, Sınıf Eğitimi

Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de kaynaştırma eğitimi alanında hazırlanmış yüksek lisans tezlerini tematik açıdan inceleyerek araştırma eğilimlerini, yöntemsel özelliklerini ve ele alınan konu alanlarını ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında 20 yüksek lisans tezi; yayımlanma yılı, örneklem türü ve büyüklüğü, araştırma yaklaşımı, araştırma deseni, veri toplama araçları, veri analiz yöntemleri ve araştırma konuları açısından incelenmiştir. Bulgular, tezlerde nicel araştırma yaklaşımının daha fazla kullanıldığını, örneklem olarak sınıf öğretmenlerinin öne çıktığını ve ilişkisel tarama deseninin yaygın olduğunu göstermektedir. Veri toplama sürecinde en çok ölçeklerden, analiz sürecinde ise bağımsız örneklemler t-testi ve tek yönlü ANOVA'dan yararlanılmıştır. Araştırma konuları içinde öğretmenlerin duygu, tutum ve endişeleri öne çıkmıştır. Sonuçlar, kaynaştırma uygulamalarının niteliğini artırmak için öğretmen eğitimine, destek hizmetlerine ve okul koşullarının iyileştirilmesine duyulan ihtiyaca işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Araştırma eğilimleri, doküman incelemesi, kaynaştırma eğitimi, yüksek lisans tezleri

Abstract

The aim of this study is to examine master's theses conducted in Türkiye on inclusive education in terms of themes, methodological characteristics, and research topics. Twenty master's theses were examined according to publication year, sample type and size, research approach, research design, data collection tools, data analysis methods, and research topics. The findings indicate that quantitative research approaches were used more frequently, classroom teachers were the most common participant group, and the correlational survey design was prominent. Scales were the most frequently used data collection tools, while independent-samples t-tests and one-way ANOVA were the most common analysis methods. Teachers' emotions, attitudes, and concerns constituted the most frequently studied topic. The findings emphasize the need for teacher training, support services, and improvements in school conditions to strengthen inclusive education practices.

Keywords: Inclusive education, master's theses, research trends, document analysis

GİRİŞ

Kaynaştırma eğitimi, özel gereksinimli öğrencilerin akranlarıyla aynı eğitim ortamında, bireysel özellikleri ve ihtiyaçları doğrultusunda destek hizmetlerinden yararlanarak eğitim almalarını ifade etmektedir. Bu yaklaşım,

yalnızca öğrencilerin aynı sınıfta bulunmasını değil, eğitim sürecine etkin katılımını, sosyal kabulünü ve öğrenme ihtiyaçlarının karşılanmasını da kapsamaktadır. Kaynaştırma uygulamalarının başarılı olabilmesi; öğretmen yeterlikleri, sınıf mevcudu, fiziksel koşullar, aile iş birliği, rehberlik ve destek eğitim hizmetleri gibi birçok değişkene bağlıdır.

Literatürde kaynaştırma eğitimine ilişkin çalışmaların önemli bir bölümünde öğretmenlerin tutumları, öz yeterlikleri, yaşadıkları sorunlar ve uygulama sürecindeki ihtiyaçları ele alınmaktadır. Öğretmenlerin kaynaştırmaya ilişkin bilgi ve deneyimleri arttıkça öğrencilerin eğitim sürecine katılımını destekleme olanaklarının da gelişebileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte kalabalık sınıflar, yetersiz materyal ve fiziksel imkânlar, ailelerle yaşanan sorunlar, zaman sınırlılığı ve destek hizmetlerinin yetersizliği kaynaştırma uygulamalarını güçleştiren unsurlar arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de kaynaştırma eğitimi alanında hazırlanmış yüksek lisans tezlerini tematik açıdan inceleyerek araştırma eğilimlerini, yöntemsel özelliklerini ve odaklanılan konu alanlarını ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda tezler; yayımlandıkları yıl, örneklem özellikleri, araştırma yaklaşımı, araştırma deseni, veri toplama araçları, veri analiz yöntemleri ve ele alınan araştırma konuları bakımından değerlendirilmiştir.

YÖNTEM

Bu araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında kaynaştırma eğitimi alanında hazırlanmış 20 yüksek lisans tezi incelenmiştir. Tezler; yayın yılı, örneklem türü ve büyüklüğü, araştırma yaklaşımı, araştırma deseni, veri toplama aracı, veri analiz yöntemi ve araştırma konusu bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler frekans ve yüzde değerleriyle betimsel olarak sunulmuştur. Bazı tezlerde birden fazla örneklem türü, veri toplama aracı, analiz yöntemi veya araştırma konusu bulunduğundan ilgili tablolarda toplam frekans 20'nin üzerinde olabilmektedir.

BULGULAR

Tablo 1. Tezlerin yıllara göre dağılımı

Yıl	f	%
2010	1	5
2015	1	5
2016	2	10
2017	1	5
2018	1	5
2019	2	10
2020	1	5
2021	1	5
2022	3	15
2023	1	5
2024	6	30
Toplam	20	100

İncelenen tezlerin en fazla 2024 yılında hazırlandığı görülmektedir. 2024 yılında hazırlanan tezler toplamın %30'unu oluştururken bunu %15 ile 2022 yılı izlemiştir.

Tablo 2. Tezlerin örneklem türlerine göre dağılımı

Örneklem türü	f	%
Fen Bilimleri öğretmenleri	1	4.16
Fen Bilimleri öğretmeni adayları	1	4.16
Okul yöneticileri	1	4.16
Beden Eğitimi öğretmenleri	1	4.16
Türkçe öğretmenleri	1	4.16
Okul öncesi öğretmen adayları	1	4.16
Sosyal Bilgiler öğretmenleri	1	4.16
Okul öncesi öğretmenleri	4	16.64
Özel eğitim öğretmenleri	4	16.64
Sınıf öğretmeni adayları	2	8.32
Sınıf öğretmenleri	7	29.12
Toplam	24	100

Tablo 3. Tezlerin örneklem büyüklüğüne göre dağılımı

Örneklem büyüklüğü	f	%
0–50	6	30
51–100	1	5
101–150	5	25
151–200	2	10
201–250	1	5
251–300	2	10
301–350	2	10
701–750	1	5
Toplam	20	100

Tablo 4. Araştırma yaklaşımlarına göre dağılım

Yaklaşım	f	%
Nicel	12	60
Nitel	3	15
Karma	5	25
Toplam	20	100

Tablo 5. Araştırma desenlerine göre dağılım

Desen	f	%
Durum çalışması	6	28.5
İlişkisel tarama	10	47.6
Betimsel tarama	5	23.8
Toplam	21	100

Tablo 6. Veri toplama araçlarına göre dağılım

Araç	f	%
Yarı yapılandırılmış görüşme formu	7	23.3
Kişisel bilgi formu	9	30
Ölçekler	13	43.3
Görüşme formu	1	3.33
Toplam	30	100

Tablo 7. Veri analiz yöntemlerine göre dağılım

Yöntem	f	%
Betimsel analiz	5	11.9
Bağımsız t-testi	11	26.19
Tek yönlü ANOVA	11	26.19
Pearson korelasyon	2	4.76
Mann-Whitney U	5	11.9
Spearman korelasyon	1	2.38
İçerik analizi	2	4.76
Kruskal-Wallis H	4	9.52
Ki-kare	1	2.38
Toplam	42	100

Tablo 8. Araştırma konularına göre dağılım

Konu	f	%
Kaynaştırma eğitimi algı ve tecrübeleri	2	8.69
Kaynaştırma eğitimi yeterlikleri	3	13.04
Öğretmenlerin öz yeterlik inançları	4	17.39
Duygu, tutum ve endişeler	9	39.13
Okuma becerilerini geliştirme	1	4.34
Öğretmenlerin RAM'dan faydalanma durumları	1	4.34
Kaynaştırma öğrencilerine yönelik tutumlar	1	4.34
Zihin yetersizliği olan öğrencilerin ders çalışma becerileri	1	4.34
Okulların bütünleştirme uygulamalarına yönelik yeterlikleri	1	4.34
Toplam	23	100

SONUÇ VE TARTIŞMA

İncelenen 20 yüksek lisans tezi, kaynaştırma eğitimi alanındaki araştırmaların özellikle son yıllarda yoğunlaştığını göstermektedir. Tezlerin önemli bir bölümünün 2022 ve 2024 yıllarında hazırlanmış olması, kaynaştırma uygulamalarına yönelik akademik ilginin sürdüğünü düşündürmektedir. Örneklem türleri açısından sınıf öğretmenlerinin öne çıkması, ilkokul düzeyinde kaynaştırma uygulamalarında sınıf öğretmenlerinin merkezi rolüyle ilişkilendirilebilir.

Araştırma yaklaşımları bakımından nicel çalışmaların çoğunlukta olduğu, nitel çalışmaların ise daha sınırlı kaldığı görülmektedir. İlişkisel tarama deseninin yaygın kullanılması, araştırmacıların kaynaştırma eğitimiyle ilgili değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemeye yöneldiğini göstermektedir. Veri toplama araçlarında ölçeklerin, analiz yöntemlerinde ise bağımsız t-testi ve tek yönlü ANOVA'nın öne çıkması da bu eğilimi desteklemektedir.

Araştırma konuları içerisinde öğretmenlerin kaynaştırma eğitimine ilişkin duygu, tutum ve endişeleri ilk sırada yer almaktadır. Tezlerden ulaşılan sonuçlar; kaynaştırma eğitiminin öğrencilerin sosyalleşmesine katkı sağladığını, ancak özel gereksinimli öğrenciye yeterli zaman ve ilgi ayırma güçlüğünün önemli bir sorun olduğunu göstermektedir. Sınıf mevcutlarının fazlalığı, aile beklentileri, velilerle yaşanan sorunlar, fiziksel imkânların yetersizliği ve öğretmenlerin özel eğitim/kaynaştırma eğitimi konusunda yeterli hazırlığa sahip olmaması uygulamayı zorlaştıran unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu doğrultuda öğretmenlere yönelik hizmet içi eğitimlerin artırılması, RAM ve rehberlik servisleriyle iş birliğinin güçlendirilmesi, BEP hazırlama ve uygulama konusunda uygulamalı destek sağlanması, sınıf mevcutlarının azaltılması ve okulların fiziksel koşullarının iyileştirilmesi önerilebilir. Ayrıca gelecekte yapılacak araştırmalarda öğrenci, veli, okul yöneticisi ve destek personelinin görüşlerine daha fazla yer verilmesi; nitel ve karma araştırmaların artırılması, kaynaştırma uygulamalarının çok boyutlu biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Akçamete, G. (2010). Genel eğitim okullarında özel gereksinimi olan öğrenciler ve özel eğitim. Ankara: Kök Yayıncılık.

Gearheart, B. R., Weishahn, M. W., & Gearheart, C. J. (1996). The exceptional student in the regular classroom (6th ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Lewis, R. B., & Doorlag, H. D. (1999). Teaching special education students in general education classrooms. New York: Merrill/Prentice Hall.

Metin, N. (1992). Okul öncesi dönemde özürlü çocuklar için kaynaştırma programları. Özel Eğitim Dergisi, 1(2), 34–36.

Polat, T. F. (2018). İlahiyat fakültesi öğrencilerinin kaynaştırma eğitimine yönelik tutumlarının bazı değişkenler açısından incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize.

Sucuoğlu, B., & Kargın, T. (2006). İlköğretimde kaynaştırma: Yaklaşımlar, stratejiler ve yöntemler. İstanbul: Morpa Yayınları.

Wood, W. (1998). Adapting instruction to accommodate students in inclusive settings (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Avrupa Birliği ve Türkiye'de Hayvan Hakları

Afra Aybike YILDIRIM [1]

[1]afraaybike3047@gmail.com, Akdeniz Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü, Antalya / Türkiye.

Özet

Bu çalışmanın temel amacı, Avrupa Birliği ve Türkiye'de hayvan hakları ve refahına ilişkin hukuki, felsefi ve kurumsal dönüşüm süreçlerini karşılaştırmalı bir bakış açısıyla incelemektir. Araştırmada, faydacılık, deontoloji ve abolisyonizm gibi felsefi yaklaşımlar ile Bern, CITES, RAMSAR ve EHKDAS gibi uluslararası sözleşmeler ve ilgili mevzuat hükümleri nitel doküman analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel problemi, Türkiye'deki yasal düzenlemelerin Avrupa Birliği müktesebatı ve uluslararası standartlarla ne ölçüde uyumlu olduğu ve uygulamada karşılaşılan sorunlardır (Akbulut & Çobanoğlu, 2020; Sinmez & Akkaş, 2022). Yapılan incelemeler sonucunda, Avrupa Birliği'nin Lizbon Antlaşması'nın 13. maddesiyle hayvanları "hissedebilen varlıklar" olarak tanıdığı, Türkiye'de ise 7332 sayılı Kanun ile adli ceza rejimine geçilmiş olmasına rağmen anayasal güvence ve ceza alt sınırlarının caydırıcılığı konusunda eksikliklerin devam ettiği görülmüştür (Orhan, 2021; Solaker, 2021).

Anahtar Kelimeler: 5199 Sayılı Kanun, Avrupa Birliği Hukuku, Hayvan Hakları, Hayvan Refahı, Lizbon Antlaşması.

Abstract

The purpose of this study is to examine the legal, philosophical, and institutional evolution of animal rights and welfare in the European Union and Turkey from a comparative perspective. Philosophical foundations (utilitarianism, deontology, abolitionism), international conventions (Bern, CITES, RAMSAR, European Convention for the Protection of Pet Animals), and legislative provisions were evaluated using qualitative document analysis. The research problem focuses on the degree of alignment of Turkish legislation with the EU acquis and international standards, as well as implementation challenges (Akbulut & Çobanoğlu, 2020; Sinmez & Akkaş, 2022). The findings reveal that while the EU recognizes animals as 'sentient beings' under Article 13 of the Treaty of Lisbon, Turkey's judicial reform under Law No. 7332 criminalized animal cruelty, yet gaps remain regarding constitutional guarantees and deterrent sentencing lower limits (Orhan, 2021; Solaker, 2021).

Keywords: Animal Rights, Animal Welfare, European Union Law, Law No. 5199, Treaty of Lisbon.

GİRİŞ

İnsanlık tarihinin gelişim sürecinde hayvanların ahlaki statüsü ve hukuki konumu, insan merkezci (antropozantrik) yaklaşımlardan canlı merkezci (fizyozantrik/biyozantrik) anlayışlara doğru köklü bir değişim geçirmiştir (Kılıç, 2015, s. 102; Aşar, 2018, s. 240). Tarihsel olarak, hayvanların çoğunlukla insan ihtiyaçlarını karşılayan araçlar olarak görüldüğü ve mülkiyet hukuku çerçevesinde 'eşya' statüsünde değerlendirildiği görülmektedir. Bu yaklaşım, hayvanların toplumsal ve hukuki konumunun uzun süre boyunca insan merkezli bir bakış açısıyla şekillendiğini göstermektedir. (Başpınar, 2016, s. 1385; Çelebi, 2018, s. 564). Sanayi Devrimi'nin etkileri, kentleşme süreci ve biyoloji ile etik alanındaki ilerlemeler sonucunda, hayvanların acı ve haz hissetme yetisine (sentience) sahip canlılar olduğu gerçeği tıp, hukuk ve felsefe gibi farklı disiplinlerde giderek daha fazla kabul görmeye başlamıştır. Bu gelişmeler, hayvanların yalnızca biyolojik varlıklar olarak değil, aynı zamanda etik ve hukuki açıdan da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. (Dawkins, 1999; Kılıç, 2015, s. 103).

Hayvan hakları ve refahı kavramları, felsefi düzeyde temelde iki ana yaklaşım çerçevesinde ele alınmaktadır. Bunlardan ilki olan faydacı (utilitarian) yaklaşımın önde gelen temsilcisi Peter Singer, ahlaki değerlendirmelerde acı çekme ve haz duyma kapasitesini esas alarak, tüm canlıların menfaatlerinin eşit şekilde gözetilmesi gerektiğini savunmaktadır. Bu yaklaşım, hayvanların ahlaki topluluğa dahil edilmesi gerektiği yönündeki tartışmalara önemli bir katkı sunmuştur. Singer'a göre, hayvanların acı çekmeme hakkı, insanların benzer haklarıyla aynı düzeyde değerlendirilmelidir. Buna karşılık, deontolojik yani hak temelli yaklaşımı savunan Tom Regan ise, hayvanların yalnızca hissedebilen varlıklar olmadığını, aynı zamanda kendi yaşamlarının niteliğinin farkında olan ve bu nedenle "bir yaşamın öznesi" (subject-of-a-life) olarak tanımlanabilecek bireyler olduklarını belirtmektedir. Regan'a göre, bu özellikleri nedeniyle hayvanlar içkin bir değere (inherent value) sahiptir ve bu değer, onların haklarının tanınmasını gerektirmektedir. (Regan, 1983; Kulaç & Vural, 2019). Gary Francione gibi abolisyonist kuramcılar ise hayvanların her türlü mülk ve eşya statüsünün reddedilmesi gerektiğini savunmaktadır (Francione &Charlton, 2015). Deney hayvanları alanında ise Russell ve Burch tarafından geliştirilen 3R (Replacement, Reduction, Refinement) ilkesi uluslararası etik standart haline gelmiştir. (Flecknell, 2002, s. 73-78).

Avrupa Birliği, hayvan refahı alanında tarihsel ve hukuki gelişmeler sonucunda, birincil ve ikincil hukuk düzenlemeleriyle bu konuyu anayasal düzeye taşımıştır. Özellikle Lizbon Antlaşması ile AB'nin İşleyişi Hakkında

Antlaşma'nın (ABİH) 13. maddesinde hayvanların "hissedebilen varlıklar"(sentient beings) olarak tanımlanması, AB'nin hayvan refahına yaklaşımında önemli bir dönüm noktasıdır (Sinmez & Akkaş, 2022, s. 20; Düzel, 2004, s. 11). Buna karşılık, Osmanlı döneminden Erken Cumhuriyet'e ve günümüze kadar uzanan köklü bir merhamet ve koruma kültürüne sahip olan Türkiye'de, uzun yıllar boyunca yasal düzenlemeler idari yaptırımlar ve mülkiyet hukuku çerçevesinde sınırlı kalmıştır. Ancak, 2004 yılında kabul edilen 5199 sayılı Hayvanları Koruma Kanunu ile birlikte hayvan refahı konusunda ilk kapsamlı yasal adım atılmış, 2021 yılında yürürlüğe giren 7332 sayılı Kanun ile de hayvanlara yönelik şiddet fiilleri Türk Ceza Kanunu kapsamında adli suç olarak tanımlanmıştır. Bu gelişmeler, Türkiye'nin hayvan refahı alanında uluslararası normlara uyum sağlama sürecinde önemli bir dönüşümü işaret etmektedir.

Bu çalışmanın temel araştırma problemi, Türkiye'deki hayvan hakları mevzuatının Avrupa Birliği standartları ve uluslararası sözleşmelerle ne ölçüde uyum sağladığı, ayrıca idari ve adli yaptırım rejimlerindeki mevcut aksaklıklar ile anayasal güvence eksikliğinin yarattığı sorunlardır .Bu doğrultuda çalışmanın amacı, Avrupa Birliği ve Türk hukukunda hayvan haklarına ilişkin yasal dönüşümü, felsefi temelleri ve mevzuat hükümlerini karşılaştırmalı olarak incelemek, tespit edilen eksiklikler ışığında çözüm önerileri geliştirmektir.

YÖNTEM

Bu araştırmada, nitel araştırma yöntemlerinden niteliksel doküman analizi (içerik ve mevzuat analizi) tekniği kullanılmıştır .Çalışmanın veri kaynaklarını; uluslararası sözleşmeler (Bern Sözleşmesi, CITES, RAMSAR, Ev Hayvanlarının Korunmasına Dair Avrupa Sözleşmesi), Avrupa Birliği birincil antlaşmaları ve direktifleri (98/58/EC, 1999/74/EC, 2010/63/EU, EC 1/2005), Türk hukuk mevzuatı (5199 ve 7332 sayılı kanunlar, TCK, TMK, TBK), Osmanlı arşiv belgeleri ve şer'iyye sicilleri (Erden, 2022) ile akademik dergi, tez ve kitaplardan oluşan ulusal ve uluslararası literatür oluşturmaktadır.

Toplanan veriler sistematik bir biçimde sınıflandırılarak felsefi-etik boyut, Avrupa Birliği mevzuatı, Türk hukukunun tarihsel ve güncel gelişimi ile adli/idari yaptırım rejimleri temaları altında karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen verilerin analizinde hukuki dogmatik yöntem ile nitel karşılaştırmalı analiz yaklaşımı bir arada uygulanmıştır.

BULGULAR

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular; Avrupa Birliği Hukukundaki Düzenlemeler, Türk Hukukunun Tarihsel ve Güncel Gelişimi ile Uygulamada Karşılaşılan Adli ve İdari Aksaklıklar olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır.

1. Avrupa Birliği Hukukunda Hayvan Hakları ve Refahı Düzenlemeleri

Avrupa Birliği'nde hayvan refahı politikalarının gelişimi, başlangıçta tarımsal üretim ve ortak pazar düzenlemeleri kapsamında atılan adımlarla şekillenmiş, zaman içinde ise birincil hukukun temel ilkelerinden biri olarak kabul edilmiştir. Roma Antlaşması'ndan başlayarak Amsterdam Antlaşması Protokolü ve son olarak Lizbon Antlaşması'na kadar uzanan süreçte, hayvan refahının hukuki statüsünde önemli bir niteliksel dönüşüm yaşanmıştır. Özellikle Lizbon Antlaşması ile birlikte ABİHA m. 13 kapsamında, Birlik ve üye ülkelerin tarım, ulaştırma, iç pazar ve araştırma politikalarında hayvanların "hissedebilen/duyarlı varlıklar" olarak dikkate alınması yasal bir zorunluluk haline getirilmiştir. (Sinmez & Akkaş, 2022, s. 20; Düzel, 2004, s. 11).

İkincil hukuk alanında ise, hayvan refahı konusunda sektörel düzeyde ayrıntılı ve kapsamlı düzenlemeler getirilmiştir. Çiftlik hayvanlarının korunmasına yönelik 98/58/EC sayılı Konsey Direktifi genel standartları belirlerken, 1999/74/EC sayılı Direktif ise yumurtacı tavukların refahı açısından kafes sistemlerine yönelik alan ve donanım sınırlamaları getirmiştir. Hayvanların nakliyesi sırasında korunmasını amaçlayan EC 1/2005 sayılı Regülasyon, havalandırma ve sıcaklık kontrolü gibi teknik koşulları, ayrıca sulama, besleme ve rampa standartlarını zorunlu kılmıştır. Deney hayvanlarına ilişkin 2010/63/EU sayılı Direktif ise, 3R ilkesini yasal bir gereklilik olarak düzenlemiştir. Üye ülkeler düzeyinde ise, Almanya'nın Anayasa'sında hayvanların korunmasının "devlet hedefi" olarak güvence altına alınması ve BGB 90 a maddesiyle hayvanların eşyadan ayrılması, ulusal düzeyde de önemli bir dönüşüme işaret etmektedir. (Güneş, 2011, s. 280; Duru, 2023).

2. Türkiye'de Hayvan Haklarının Tarihsel ve Hukuki Gelişimi

Türkiye'de hayvan haklarının kökleri Osmanlı medeniyeti ve geleneksel kurumlara dayanmaktadır. Osmanlı döneminde yük hayvanlarına aşırı yük yüklenmesini yasaklayan Sultan II. Mahmud'un 1810 tarihli fermanı, yük hayvanlarına

haftada bir gün (Cuma) tatil yaptırılması düzenlemeleri, leyleklerin tedavisi için kurulan Gurabahane-i Laklakan, vakıflar bünyesinde sahipsiz at ve köpeklerin bakımı için ayrılan akçeler ve sakat nal üretilmesini engelleyen nalbant nizamnamesi kurumsal duyarlılığın somut örnekleridir (Erden, 2022; Sarıcık, 1999, s.6; Göken, 2025). Erken Cumhuriyet döneminde 1912'de kurulan İstanbul Himaye-i Hayvanat Cemiyeti, 1924'te Türkiye Hayvanları Koruma Cemiyeti adını alarak faaliyetlerini sürdürmüştür (Melikoğlu, 2009, s. 37-44).

Türkiye, pozitif hukuk alanında Ev Hayvanlarının Korunmasına Dair Avrupa Sözleşmesi, CITES, Bern, RAMSAR ve Bonn sözleşmelerine taraf olarak uluslararası düzeyde hayvan refahı standartlarını benimsemiştir. Ulusal mevzuatta ise, 2004 yılında yürürlüğe giren 5199 sayılı Hayvanları Koruma Kanunu, hayvanların yaşama ve korunma haklarını temel ilkeler çerçevesinde düzenlemiş, ancak bu dönemde hayvanlara yönelik şiddet fiilleri yalnızca idari para cezası ile karşılanmış ve "kabahat" olarak değerlendirilmiştir. 2021 yılında yapılan 7332 sayılı Kanun değişikliği ile birlikte, sahipli ve sahipsiz hayvan ayrımının kaldırılması ve evcil hayvanlar için dijital kimliklendirme zorunluluğunun getirilmesi, ayrıca kasten öldürme, işkence, cinsel saldırı ve dövüştürme gibi fiillerin Türk Ceza Kanunu kapsamında adli suç olarak tanımlanması, Türkiye'nin hayvan refahı alanındaki yasal düzenlemelerinde önemli bir dönüşümü işaret etmektedir.

Tablo 1. Avrupa Birliği ve Türkiye Hayvan Hakları Mevzuatının Karşılaştırmalı Özeti

Kriter / Alan	Avrupa Birliği (AB)	Türkiye (T.C.)
Anayasal Güvence ve Statü	ABİHA m. 13 ile "hissedebilen varlık" statüsü;	Anayasada doğrudan hüküm yok; TMK/TBK'da
	Almanya Anayasası m. 20 a	Mülkiyet hukuku rejimi
Cezai Yaptırım Rejimi	Yüksek hapis cezaları ve hayvan sahiplenmekten	7332 s. K. ile TCK yaptırımı (6 ay- 4 yıl hapis),
	Men kararları	Ceza alt sınırları düşük
Deney Hayvanları ve 3R	010/63/EU Direktifi ile zorunlu 3R ilkeleri	HADMEK ve HADYEK etik kurulları mevzuatı,
	Ve katı denetim	3R ilkesi kabul edilmiş
Çiftlik ve Nakliye Refahı	98/58/EC, 1999/74/EC ve EC 1/2005	5199 ve 5996 s. K. ikincil yönetmelikleri;
	İle bağlayıcı standartlar	Denetim yetersizliği

3. Karşılaştırmalı Analiz ve Aksayan Sorun Alanları

Yapılan karşılaştırmalı analizler, Türk hukukunda hayvanların korunmasına ilişkin en temel eksikliğin anayasal düzeyde açık bir koruma hükmünün bulunmaması olduğunu ortaya koymaktadır (Akbulut & Çobanoğlu, 2020, s. 12; Uran Murphy, 2019, s. 254). Anayasa'nın 56. maddesi (Çevre hakkı) ve 169. maddesi (Ormanların korunması) ise hayvanların korunmasına yalnızca dolaylı bir temel sağlamaktadır. Bununla birlikte, 7332 sayılı Kanun ile hapis cezası öngörülmüş olsa da, özellikle kasten öldürme fiili için belirlenen altı aylık alt sınırın düşük olması nedeniyle uygulamada verilen cezaların Hükmün Açıklanmasının Geri Bırakılması (HAGB) veya hapis cezasının ertelenmesi kapsamına girmesi, kamuoyunda cezasızlık algısının güçlenmesine neden olmaktadır (Orhan, 2021, s. 63; Solaker, 2021).

Sahipsiz hayvan yönetimi açısından 5393 sayılı Belediye Kanunu m. 14 ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu m. 7/m kapsamında yerel yönetimlere verilen bakımevi kurma ve kısırlaştırma görevlerinin idari denetim yetersizliği

nedeniyle tam olarak yerine getirilemediği, bakımevi standartları ve bütçe tahsislerinde büyük bölgesel farklılıkların bulunduğu saptanmıştır (Yazıcı, 2024; Arslan, 2016).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, Avrupa Birliği ve Türkiye'de hayvan hakları mevzuatı hukuki, felsefi ve kurumsal açılardan kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Araştırma bulguları, AB'nin hayvan hakları ve refahı konusunu Lizbon Antlaşması'nın 13. maddesiyle hissetme kapasitesine sahip varlıklar temelinde anayasal düzeye taşıdığını ve ikincil mevzuat aracılığıyla bağlayıcı standartlar oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'de ise 7332 sayılı Kanun ile atılan adımlar olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmekle birlikte, mevcut mevzuatın koruma yaklaşımı ve cezai yaptırımlar açısından AB standartlarının gerisinde kaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'de hayvan hakları mevzuatının gelişimi açısından, mevcut hayvan refahı odaklı yaklaşımdan hak temelli ve hayvanları özne olarak kabul eden bir anlayışa geçişin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Olası bir Anayasa değişikliğinde, devletin hayvanları koruma yükümlülüğünün açık bir anayasal ilke olarak düzenlenmesi, bu alandaki normatif çerçevenin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, TCK ve 5199 sayılı Kanun'da ceza alt sınırlarının artırılması, idari denetim mekanizmalarının etkinleştirilmesi ve yerel yönetimlerin bakımevi ile kısırlaştırma yükümlülüklerinin daha sıkı yaptırımlarla desteklenmesi, Türkiye'nin AB standartlarına uyum sürecinde önemli adımlar olacaktır.

KAYNAKÇA

Akbulut, O & Çobanoğlu, N. (2020). Türk Hukukunda Hayvanların Korunmasına İlişkin Yasal Mevzuat ve Bu Mevzuata Göre Hayvanların Hukuki Durumları. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 36, 1-37.

Aksoy, H. C. (2017). Türk ve İsviçre Hukuklarında Evcil Hayvanlara Verilen Zararlara İlişkin Özel Hukuktan Doğan Sorumluluk. Türkiye Barolar Birliği Dergisi, 129, 39-82.

Altuğ, T. (2009). Hayvan Deneyleri Etiği. Sağlık Bilimlerinde Süreli Yayıncılık, 7, 53-68.

Antalyalı, A. A. (2007). Avrupa Birliği ve Türkiye'de Hayvan Refahı Uygulamaları (AB Uzmanlık Tezi). Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara.

Arslan, M. (2016). İstanbul'da Sokak Hayvanları Sorununa Farklı Bakış Açıları. 1\. Sokak Hayvanları Refahı Kongresi Bildirileri, İstanbul.

Aşar, H. (2018). Hayvan Haklarına Yönelik Temel Görüşler ve Yanılgıları. Kaygı Dergisi, 30, 239-251.

Başpınar, V. (2016). Eşya Hukuku Bakımından Hayvanların Hukukî Durumu. 1926'dan Günümüze Türk İsviçre Medeni Hukuku Sempozyumu içinde (ss. 1385-1410). İstanbul: Yetkin Yayınları.

Çelebi, Ö. (2018). Kişi ve Eşya Ayrımı Bağlamında Hayvanların Hukuki Statüsü. İstanbul Hukuk Mecmuası, 76(2), 559-622.

Dawkins, M. S. (1999). Hayvanların Sessiz Dünyası: Hayvan Bilincinin Varlığı Üzerine Bir Araştırma. Ankara: TÜBİTAK Yayınları.

Düzel, O. (2004). Türkiye'nin Avrupa Birliği Üyeliği ve Türk Hukuk Sistemi (AB Uzmanlık Tezi). Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, Ankara.

Erden, Y. (2022). Osmanlı'da Hayvan Hakları (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

Flecknell, P. (2002). Replacement, Reduction and Refinement. Alternatives to Animal Experimentation, 19(2), 73-78.

Göken, E. N. (2025). Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Türkiye'de Hayvan Hakları: Himaye-i Hayvanat Cemiyeti (Yüksek Lisans Tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.

Güneş, A. M. (2011). Yeni Anayasa Tartışmaları Bağlamında Çevre. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 15(3), 259-283.

Kulaç, O. & Vural, Ö. (2019). Hayvan Hakları Felsefesine İnsan ve Hayvan Arasındaki Farklar Açısından Bakış. Ulusal Safranbolu Öğrenci Kongresi, Karabük.

Melikoğlu, B. (2009). Türkiye'de Kurulan İlk Hayvanları Koruma Derneğinin Tarihsel Gelişimi. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi, 80(1), 37-44.

Regan, T. (1983). The Case for Animal Rights. Berkeley: University of California Press.

Sarıcık, M. (1999). III. Murad Devrinden Hayvan Haklarıyla İlgili Bir Ferman. Süleyman Demirel Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 6, 1-18.

Singer, P. (2018). Hayvan Özgürleşmesi (Çev. H. Doğan). İstanbul: Ayrıntı Yayınları.

Sinmez, Ç. & Akkaş, A. H. (2022). Hayvanların Ceza Hukuku Yoluyla Korunması (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.

Solaker, G. (2021, Temmuz 11). Hayvanları Koruma Kanunu Caydırıcı Olacak mı? Deutsche Welle Türkçe.

Uran Murphy, P. (2019). Hayvanların Anayasal Çerçevede Korunması. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 88, 252-275.

Kültürel Mirasın Korunmasında Yapay Zekâ, Yörük Dokumalarının Dijital Motif Arşivi ve Tasarım Uygulaması

Hasan Atakan YILDIRIM [1,]

[1]hatakan2019@gmail.com, Akdeniz Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Geleneksel Türk Sanatları Bölümü, Antalya / Türkiye.

Özet

Yörük dokuma kültürü, Karakoyunlu ve Sarıkeçili boylarının estetik beğenilerini ve somut olmayan kültürel birikimini günümüze taşıyan önemli bir mirastır. Ancak hızlı kentleşme ve sanayileşme süreçleri, geleneksel Döşemealtı halıları ile Yörük dokumalarındaki özgün motif çeşitliliğinin giderek unutulmasına yol açmaktadır. Bu çalışma, söz konusu dokuma mirasının korunması ve çağdaş tasarım süreçlerine aktarılması amacıyla üretken yapay zekâ teknolojilerinden yararlanan dijital bir model sunmaktadır. Araştırma kapsamında; Döşemealtı halıları ve Yörük dokumalarında öne çıkan akrep, koçboynuzu, pıtrak ve el gibi geleneksel motifler ile renk kurguları incelenerek vektörel ortamda standartlaştırılmıştır. Oluşturulan dijital motif arşivi referans alınarak, görsel analiz algoritmaları ve yapay zekâ modelleri vasıtasıyla geleneksel formların özüne sadık kalan yeni tasarım varyasyonları geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yapay zekânın geleneksel dokuma sanatının muhafazasında ve bu motiflerin güncel tasarım dünyasında sürdürülebilir birer öge olarak yaşatılmasında etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Motif Arşivi, Döşemealtı Halısı, Tasarım Uygulaması, Yapay Zekâ, Yörük Dokumaları.

Abstract

Yörük weaving culture is a significant tangible cultural heritage that reflects the aesthetic preferences and cultural background of the Karakoyunlu and Sarıkeçili tribes. However, rapid urbanization and industrialization processes have led to a gradual decline in the diversity of traditional motifs in Döşemealtı carpets and Yörük weavings. This study proposes a digital model leveraging generative artificial intelligence technologies to preserve this weaving heritage and integrate it into contemporary design practices. Within the scope of the research, traditional motifs including the scorpion, ram's horn, burdock, and hand, alongside characteristic color compositions frequently found in Döşemealtı carpets and Yörük weavings, are examined and standardized into vector graphics. Based on the established digital motif archive, new design variations adhering to the essence of traditional forms were developed using visual analysis algorithms and AI models. The findings demonstrate that

artificial intelligence can serve as an effective tool for safeguarding traditional weaving arts and sustaining these digitized motifs within modern design contexts.

Keywords: Artificial Intelligence, Design Application, Digital Motif Archive, Döşemealtı Carpet, Yörük Weavings.

GİRİŞ

Anadolu coğrafyasında konargöçer yaşam tarzını sürdüren Karakoyunlu ve Sarıkeçili Yörük boyları, Orta Asya'dan günümüze taşıdıkları estetik anlayış ve inanç dünyalarını dokuma kültürlerine yansıtmışlardır (Set, 2016; Yıldırım, 2023). Yörüklerin günlük yaşam gereksinimlerinden doğan havlı ve havsız dokuma ürünleri hem işlevsel hem de sanatsal değer taşıyan en önemli somut kültürel miras ögelerimiz arasında yer almaktadır (Akpınarlı ve Arslan, 2016). Özellikle Antalya ve çevresinde Karakoyunlu Yörükleri tarafından dokunan geleneksel Döşemealtı halıları; atkı, çözgü ve ilmesinde kullanılan saf yün malzemesi, doğal bitkisel boyaları ve özgün kompozisyon yapılarıyla Türk el halıcılığında seçkin bir konuma sahiptir (Eren, 1977; Mazıbaş, 2014; Şirin, 1994). Döşemealtı halılarında ve Yörük dokumalarında sıklıkla yer verilen akrep, koçboynuzu, pıtrak, el, kıvrım, elibelinde, kocasu ve heybe suyu gibi motifler, yalnızca birer süsleme unsuru olmayıp topluluğun duygu, düşünce ve kültürel hafızasını sembolize eden iletişim araçlarıdır (Akan, 2016; Erbi, 2023; Seyirci, 1992).

Ancak 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren hız kazanan kentleşme, sanayileşme ve toplumsal değişim süreçleri geleneksel dokumacılık kültürünü olumsuz etkilemiştir (Erbi, 2023). Hayvancılık faaliyetlerinin azalması, hammadde temininindeki güçlükler, fabrikasyon seri üretimin yaygınlaşması ve ucuz kimyasal boyaların kullanımı, el dokumacılığının ekonomik bir geçim kaynağı olmaktan uzaklaşmasına yol açmıştır (Mazıbaş, 2014). Bunun sonucunda usta-çırak ilişkisi zayıflamış, genç kuşakların bu zanaata olan ilgisi azalmış ve yüzyıllardır hafızalarda aktarılan geleneksel motif çeşitliliği unutulma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır (Yıldırım, 2023). Geleneksel yöntemlerle dokunan örneklerin günden güne azalması, bu somut kültürel mirasın muhafazası ve belgelenmesi konusunda acil bilimsel adımların atılmasını zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde yazılım ve bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sanat ve tasarım alanındaki yaratıcı süreçleri de köklü bir dönüşüme uğratmaktadır (Göktaş ve Atan, 2025). Özellikle üretken yapay zekâ (Generative AI) ve görsel

analiz algoritmaları; karmaşık görsellerin hızlı bir şekilde işlenmesi, biçimsel analizlerin yapılması, veri tabanlarının oluşturulması ve var olan bir üslubun yeniden sentezlenmesi gibi konularda yenilikçi imkânlar sunmaktadır (Coşkun, 2024; Özdal, 2024). Yapay zekâ teknolojisi, geleneksel üretim süreçlerini hızlandırmanın ve maliyetleri düşürmenin yanı sıra, sanatsal formların korunması ve yeniden yorumlanmasında aktif bir rol üstlenme potansiyeline sahiptir. Teknolojinin sunduğu bu imkânların geleneksel dokuma sanatına entegre edilmesi, kültür mirasının özünü kaybetmeden modern döneme taşınmasında sürdürülebilir bir araç sağlamaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı; kaybolmaya yüz tutan Döşemealtı halıları ve Yörük dokumalarına ait geleneksel motifleri üretken yapay zekâ teknolojileri aracılığıyla analiz ederek sistematik bir dijital motif arşivi oluşturmaktır. Çalışma kapsamında ayrıca, oluşturulan dijital arşiv verilerinden hareketle yapay zekâ destekli görsel sentezleme teknikleri kullanılarak geleneksel formların özüne bağlı kalan çağdaş tasarım uygulamalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede, Yörük dokuma mirasının dijital muhafazası sağlanırken; geleneksel motiflerin güncel tasarım dünyasında aktif, estetik ve sürdürülebilir bir öge olarak yaşatılabileceği ortaya konulacaktır.

YÖNTEM

Bu çalışma, geleneksel Yörük dokumaları ile Döşemealtı halılarında kullanılan motiflerin belgelenmesi, dijital arşivinin oluşturulması ve üretken yapay zekâ teknolojileriyle yeni tasarımlara dönüştürülmesini hedefleyen nitel bir araştırmadır (Yıldırım, 2023). Çalışmada veri toplama ve uygulama süreçleri üç ana aşamadan oluşmaktadır: literatür ve saha taraması, motiflerin biçimsel analizi ile dijitalleştirilmesi ve yapay zekâ tabanlı tasarım modelinin kurgulanması.

Veri Toplama ve Belgeleme Süreci: Araştırmanın veri toplama aşamasında doküman incelemesi ile nitel saha araştırması yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Antalya Döşemealtı bölgesi ile Yörüklerin yerleşim ve göç sahalarında (Karakoyunlu ve Sarıkeçili boyları) dokunan el halıları, kilimler, çuvallar, heybeler ve seccadeler inceleme kapsamına alınmıştır (Erbi, 2023; Konuk, 2021; Set, 2016). Saha çalışmalarında ve müze/özel koleksiyon taramalarında tespit edilen geleneksel dokumaların yüksek çözünürlüklü fotoğrafları çekilmiş, teknik özellikleri (düğüm sıklığı, boyut, kullanılan yün ve boya türü) kayıt altına alınarak bilgi fişleri oluşturulmuştur.

Motiflerin Analizi ve Dijitalize Edilmesi: Toplanan görsel veriler üzerinden Döşemealtı ve Yörük dokumalarının karakteristik ögeleri olan akrep, koçboynuzu, pıtrak, el, kıvrım, kocasu ve deve suyu gibi geleneksel motifler ile zemin

kompozisyonları sınıflandırılmıştır (Eren, 1977; Mazıbaş, 2014; Şirin, 1994). İncelemeye alınan motiflerin geometrik oranları, piksel/kareli şema yapıları ve geleneksel renk paletleri (kırmızı, lacivert, yeşil, sarı, beyaz vb.) vektörel ve dijital çizim araçları aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılarak standartlaştırılmıştır. Böylece motiflerin biçimsel bozunmaya uğramadan saklanabileceği dijital motif arşivi veri tabanı altyapısı hazırlanmıştır.

Yapay Zekâ Tabanlı Tasarım ve Üretim Modeli: Arşivlenen dijital motif verileri ve kompozisyon kuralları, derin öğrenme temelli üretken yapay zekâ (Generative AI) ve görsel analiz modellerine girdi (prompt ve referans görsel) olarak tanımlanmıştır (Göktaş ve Atan, 2025). Yapay zekâ algoritmalarının stil aktarımı, kompozisyon sentezleme ve veri analiz yetenekleri kullanılarak geleneksel üslubun özüne ve anlam sembolizmine bağlı kalan yeni desen varyasyonları türetilmiştir. Elde edilen yapay zekâ destekli tasarım taslakları, geleneksel dokuma teknikleri ve estetik tasarım ilkeleri (denge, ritim, egemenlik) açısından değerlendirilerek nihai tasarım uygulamalarına dönüştürülmüştür.

BULGULAR

Bu bölümde; saha ve literatür incelemelerinden elde edilen geleneksel Döşemealtı halıları ve Yörük dokuma motiflerine ait veriler, oluşturulan dijital arşiv yapısı ve üretken yapay zekâ algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen tasarım uygulamalarının sonuçları üç ana başlık altında sunulmaktadır.

3.1. Geleneksel Döşemealtı ve Yörük Dokuma Motiflerinin Tipolojisi ve Sembolik Çözümlemesi

Araştırma kapsamında incelenen Antalya Döşemealtı halıları ile Karakoyunlu ve Sarıkeçili Yörüklerine ait dokumalarda (kilim, heybe, çuval, seccade) motiflerin konargöçer yaşam tarzını, inanç dünyasını ve doğa ile kurulan bağı yansıtan birer sembolik dil olduğu tespit edilmiştir (Akan, 2016; Erbi, 2023; Konuk, 2021). Yörede 'yanış' olarak da adlandırılan motiflerin zemin ve bordür ('su') düzenlerindeki kullanımına ilişkin ulaşılan temel bulgular şunlardır:

Koruyucu ve İnanç Odaklı Motifler: Yörük dokumalarında sıklıkla rastlanan el motifi nazar inancına karşı korunma amacını taşırken (Şirin, 1994); kıvrım (kurt izi/kurtağzı) motifi vahşi hayvanlardan korunmayı ve güç sembolizmini ifade etmektedir (Set, 2016). Yörede şıngır (damga) olarak bilinen motif ise kaybolan veya karışan dokumaların hangi Yörük boyuna ait olduğunu gösteren bir aidiyet imidir (Mazıbaş, 2014; Şirin, 1994).

Bordür ve Zemin Kompozisyonları: Döşemealtı halılarında sıklıkla kullanılan enli bordür deseni kocasunun ana motifini koçboynuzu oluşturmakta; yantır ve şıngır motifleri ile kompozisyon tamamlanmaktadır (Eren, 1977; Şirin, 1994). Zemin desenlerinde ise Halelli, Akrepli, Dallı, Toplu, Kocasulu, Camili ve Yıldızlı gibi geleneksel kompozisyon türlerinin varlığı belgelenmiştir (Seyirci, 1992; Yıldırım, 2023).

Sermaye ve Bereket Sembolleri: Çuval ve heybe dokumalarında özellikle pıtrak motifinin bereketi ve nazar korunmasını temsil edecek şekilde yoğun olarak işlendiği görülmüştür (Set, 2016).

3.2. Dijital Motif Arşivinin Oluşturulması ve Renk/Form Standartlaştırılması

Toplanan görsel veriler bilgisayar ortamında vektörel çizim araçları yardımıyla işlenerek pikselli/kareli şema kalıplarına dönüştürülmüş ve dijital veri tabanına aktarılmıştır. Motiflerin biçimsel bozunmasını önlemek ve yapay zekâ modellerine doğru girdi sağlamak amacıyla şu bulgulara ulaşılmıştır:

Renk Paleti Analizi ve Kimyasal Dönüşüm: Geleneksel dokumalarda kökboya, hayıt otu, ezentere, asma yaprağı, çivit otu ve nar kabuğu gibi doğal bitkilerle elde edilen kırmızı, lacivert, bordo, fıstık yeşili, devetüyü ve doğal yün beyazı renklerinin hakim olduğu tespit edilmiştir (Mazıbaş, 2014; Şirin, 1994). Ancak günümüz örneklerinde hazır kimyasal boyaların kullanımıyla renklerin canlılığının arttığı, fıstık yeşili kullanımının yok denecek kadar azaldığı ve kimyasal ağartılmış beyazın baskın hale gelerek geleneksel renk uyumunu olumsuz etkilediği saptanmıştır (Erbi, 2023; Mazıbaş, 2014). Dijital arşivde, geleneksel bitkisel boya tonları baz alınarak standart dijital renk kodları (RGB/CMYK) tanımlanmıştır.

Geometrik Form Standartları: Dokumalarda motiflerin tekrarlanma sayıları ve ilme sıklıkları (ortalama 24x30 kalitede düğüm) analiz edilerek motif sınırları vektörel hatlarla netleştirilmiştir (Eren, 1977; Yıldırım, 2023).

3.3. Üretken Yapay Zekâ Tabanlı Tasarım Sentezi ve Uygulama Sonuçları

Oluşturulan dijital motif arşivi, üretken yapay zekâ (Generative AI) ve stil aktarım algoritmalarına referans veri seti olarak entegre edilmiştir (Göktaş ve Atan, 2025). Yapay zekâ ile yürütülen tasarım süreçlerinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. Metin ve Görsel Tabanlı Kompozisyon Sentezi (Prompt Mühendisliği): Geleneksel motiflerin (akrep, koçboynuzu, pıtrak, kıvrım) isimleri, sembolik anlamları ve geleneksel renk paleti bilgileri metinsel girdiler (prompt) olarak yapay zekâ sistemine tanımlanmıştır. Sistem, geleneksel zemin ve bordür kurgularına (örneğin mihraplı veya simetrik eşkenar dörtgen dizilimi) sadık kalarak çok sayıda yeni desen taslağı türetmiştir (Coşkun, 2024; Göktaş ve Atan, 2025).

2. Üslup ve Form Korunumu: Yapay zekâ algoritmalarının, Yörük dokuma sanatındaki geometrik şema mantığını ve renk kontrastlığını doğru analiz ettiği gözlemlenmiştir. Üretilen yeni tasarımlarda, geleneksel formların özünü bozmadan güncel estetik beğenilere hitap eden özgün zemin ve bordür varyasyonları elde edilmiştir.

3. Sürdürülebilir Tasarım Modeli: Yapay zekâ teknolojisinin geleneksel motiflerin unutulmasını önlemede ve tasarımcılara hızlı görsel alternatifler sunmada yüksek verimlilik sağladığı ortaya konmuştur (Göktaş ve Atan, 2025; Yılmaz, 2022).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırmada, Antalya Döşemealtı bölgesi ile Karakoyunlu ve Sarıkeçili Yörük boylarına ait geleneksel dokuma mirasının üretken yapay zekâ teknolojileri aracılığıyla muhafazası, dijital arşivlenmesi ve çağdaş tasarımlara dönüştürülmesine yönelik bir model ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular ve alan literatürü doğrultusunda ulaşılan temel sonuçlar ve tartışma noktaları aşağıda özetlenmektedir:

Kültürel Erime ve Sanayileşme Baskısı: Anadolu coğrafyasında konargöçer yaşam tarzının bir parçası olarak biçimlenen Döşemealtı halıları ve Yörük dokumaları; boy damgalarını, nazar inancını ve doğa ile kurulan bağın sembollerini içeren zengin bir iletişim diline sahiptir (Akan, 2016; Erbi, 2023). Ancak kentleşme, sanayileşme, seri üretimin yaygınlaşması ve doğal bitkisel boyamacılığın terk edilerek kimyasal parlak boyalara geçilmesi, geleneksel renk uyumunun ve motif özgünlüğünün bozulmasına neden olmuştur (Mazıbaş, 2014; Şirin, 1994).

Dijitalize Edilme ve Arşiv Sürdürülebilirliği: Geleneksel halılarda zemin ve bordür düzenlerini oluşturan akrep, koçboynuzu, pıtrak, kıvrım, el ve kocasu gibi temel motiflerin dijital şema hatlarıyla vektörelize edilmesi, bu somut kültürel mirasın bozunmadan gelecek kuşaklara aktarılabileceğini göstermektedir (Yıldırım, 2023). Metin ve görsel tabanlı algoritmaların kullanımıyla oluşturulan dijital veri tabanı, motiflerin özgün form ve sembolik anlamlarını koruyan standart bir arşivleme imkânı sunmaktadır.

Yapay Zekânın Yaratıcı ve Koruyucu Rolü: Üretken yapay zekâ sistemleri; geleneksel şema yapısını, ilme ilme işlenen kompozisyon ilkelerini ve bitkisel boya paletini doğru analiz ederek özgün desen varyasyonları türetebilmektedir (Göktaş ve Atan, 2025). Yapay zekâ, geleneksel sanatı ikame eden bir unsur olmaktan ziyade; tasarımcılara estetik ve hızlı imkânlar sunan, unutulan formları yeniden yorumlayarak çağdaş tasarım dünyasına kazandıran sürdürülebilir bir köprü işlevi görmektedir.

Sonuç olarak, Yörük dokuma mirasının dijitalleşen sanat ve tasarım atmosferinde aktif bir öge olarak yaşatılması; özden uzaklaşmadan bilimsel ve teknolojik yeniliklerle desteklenmesine bağlıdır. Yapay zekâ destekli dijital motif arşivi modelinin diğer geleneksel el sanatları alanlarına da uyarlanması, ulusal kültür mirasımızın küresel ölçekte belgelenmesi ve yaşatılması açısından önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Akan, M. (2016). Anadolu Yörük yaşamında dokuma geleneği. Kalemişi Dergisi, 4(7), 39-58.

Akpınarlı, H. F. ve Arslan, P. (2016). El halıcılığının bölgelere göre coğrafi dağılımı. Akademik Sanat: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi, 1(3), 21-29.

Aytaç, A. (2006). Geleneksel Türk el dokumacılığı sanatı. Anka Basım Yayın.

Coşkun, C. (2024). Sanat ve tasarım alanında üretken yapay zekâ sistemleri. Art-E Sanat Dergisi, (33), 470-486.

Deniz, B. ve Aydın, Ö. (2010). Halı dokuma. Dünden Bugüne Antalya (Cilt 2, ss. 24-46). Kutlu Avcı Ofset.

Erbi, M. E. (2023). Karakoyunlu Yörüklerinin kültürel ögesi olan Döşemealtı Halısı'nın sanayileşme bağlamında ele alınması: Antalya Döşemealtı örneği (Yüksek lisans tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Eren, N. (1977). Antalya-Döşemealtı eski ve yeni halıları. Türk Etnografya Dergisi, (16), 35-45.

Göktaş, P. ve Atan, U. (2025). Animasyon yapımında kullanılan yapay zekâ uygulamaları: Programlar, araçlar ve yaratıcı süreçlerdeki dönüşüm. SDÜ ART-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, 18(35), 338-361.

Konuk, M. (2021). Sarıkeçili Yörük dokumaları (Sanatta yeterlik tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Mazıbaş, S. (2014). Günümüz Döşemealtı halıları renk, motif ve desen özellikleri (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Özdal, M. A. (2024). Yapay zekâ destekli grafik tasarımın analizi. Uluslararası İşletme Bilimi ve Uygulamaları Dergisi, (2), 53-78.

Set, E. (2016). Antalya Elmalı yöresinde tespit edilen Yörük dokumaları (Yüksek lisans tezi). Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

Seyirci, M. (1992). En eski Döşemealtı halılarından altı örnek. Milli Kültür Dergisi, (62), 18-22.

Şirin, N. (1994). Döşemealtı halıları (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yıldırım, A. (2023). Burdur ve çevresinde dokunan Döşemealtı halılarının tasarım özellikleri açısından incelenmesi (Sanatta yeterlik tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Yılmaz, P. (2022). Dijitalleşen tekstil üretimi ve tüketimine genel bakış, tasarım açısından dijital tekstil baskıcılığı (Sanatta yeterlik tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

MIMO Bilişsel Radyo Sistemlerinde Makine Öğrenmesi Tabanlı Hibrit İyileştirilmiş Enerji Algılama Yöntemi

Meryem YARAR[1], Fatih Yavuz ILGIN [2] , Faruk Baturalp GÜNAY [3]

[1]E-mail: meryem.yarar@kapadokya.edu.tr; Kapadokya Üniversitesi, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Bölümü, Nevşehir / Türkiye.

[2]E-mail: fyilgin@erzincan.edu.tr; Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzincan / Türkiye.

[3]E-mail: baturalp@atauni.edu.tr; Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum / Türkiye.

Özet

Bilişsel Radyo (BR) teknolojisi, kısıtlı radyo frekans spektrumunun dinamik ve fırsatçı bir biçimde kullanılmasını sağlayarak spektrum kıtlığına çözüm sunan yeni nesil bir teknolojidir. Spektrum algılamada matematiksel karmaşıklığının düşük olması nedeniyle en çok tercih edilen yöntem Enerji Algılama (EA) olmakla birlikte, bu yöntem düşük Sinyal Gürültü Oranı (SNR) seviyelerinde ve gürültü belirsizliği altında ciddi performans kayıpları yaşamaktadır. Bu çalışmada, Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) mimarisine sahip BR sistemlerinde algılama performansını artırmak amacıyla Makine Öğrenmesi (ML) tabanlı hibrit bir İyileştirilmiş Enerji Algılama yöntemi önerilmiştir. Önerilen mimaride, çoklu alıcı antenlerden elde edilen anlık ve ortalama test istatistikleri öznitelik vektörleri olarak yapılandırılmış ve spektrumun varlık/yokluk (H_1/H_2) durumları Çift Eşikli Destek Vektör Makineleri (DT-SVM) algoritması ile sınıflandırılmıştır. MATLAB ortamında gerçekleştirilen Monte Carlo benzetim sonuçları, önerilen makine öğrenmesi entegrasyonlu MIMO-EA yönteminin, geleneksel EA ve standart iyileştirilmiş EA yöntemlerine kıyasla, özellikle -25 dB ile -10 dB arasındaki aşırı düşük SNR seviyelerinde mükemmele yakın ($P_d \approx 1$) bir doğru algılama olasılığı sunduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel Radyo, Destek Vektör Makineleri, İyileştirilmiş Enerji Algılama, Makine Öğrenmesi, MIMO.

Abstract

Cognitive Radio (CR) technology is a next-generation paradigm that offers a solution to spectrum scarcity by enabling the dynamic and opportunistic use of the limited radio frequency spectrum. Although Energy Detection (ED) is the most preferred method in spectrum sensing due to its low mathematical complexity, this method experiences severe performance losses at low Signal-to-Noise

Ratio (SNR) levels and under noise uncertainty. In this study, a Machine Learning (ML)-based hybrid Improved Energy Detection method is proposed to increase the sensing performance in CR systems with Multiple Input Multiple Output (MIMO) architecture. In the proposed architecture, instantaneous and average test statistics obtained from multiple receiver antennas are configured as feature vectors, and the presence/absence (H1/H2) states of the spectrum are classified by the Double Threshold Support Vector Machines (DT-SVM) algorithm. Monte Carlo simulation results performed in the MATLAB environment have shown that the proposed machine learning-integrated MIMO-ED method offers near-perfect (Pd ≈ 1) correct detection probability, especially at extremely low SNR levels between -25 dB and -10 dB, compared to conventional ED and standard improved ED methods.

Keywords: Cognitive Radio, Improved Energy Detection, Machine Learning, MIMO, Support Vector Machines.

GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojilerinin dramatik yükselişi, sınırlı radyo spektrum kaynaklarına olan talebi geometrik olarak artırmıştır. Statik spektrum tahsis politikalarının getirdiği verimsizlikleri ortadan kaldırmak adına Mitola tarafından önerilen Bilişsel Radyo kavramı, lisanssız kullanıcıların, lisanslı kullanıcıların spektrumu boş bıraktığı anlarda bu kaynakları fırsatçı bir biçimde kullanmasına olanak tanır. BR döngüsünün en kritik bileşeni, birincil kullanıcının varlığını yüksek doğrulukla tespit eden spektrum algılama aşamasıdır (Haykin, 2005).

Literatürde Kovaryans Tabanlı Algılama, Çevrimsel Durağan Özellik Algılama ve Uyumlu Süzgeç gibi çeşitli algılama algoritmaları mevcut olsa da, herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymaması ve donanımsal basitliği nedeniyle Enerji Algılama en yaygın yöntemdir (Urkowitz, 1967). Ancak geleneksel EA, gürültü belirsizliği karşısında ve zayıf sinyal koşullarında (SNR < -10 dB) keskin bir performans düşüşü sergiler. Bu problemi aşmak amacıyla alıcı tarafta birden fazla antenin kullanıldığı Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) sistemleri (Zeng & Liang, 2009) ve anlık enerji düşüşlerini kompanse eden İyileştirilmiş Enerji Algılama şemaları geliştirilmiştir.

Son yıllarda, donanım mimarilerindeki gelişmelere paralel olarak Makine Öğrenmesi algoritmalarının sinyal işleme süreçlerine entegrasyonu hız kazanmıştır. Standart istatistiksel karar eşikleri, dalgalanan gürültü tabanına karşı dinamik

uyum sağlayamamaktadır. Bu çalışmada, MIMO tabanlı iyileştirilmiş enerji algılama mimarisinin üzerine akıllı bir karar mekanizması olarak Çift Eşikli Destek Vektör Makineleri entegre edilmiştir. Literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak bu makale, çoklu antenlerden toplanan anlık sinyal enerjilerini, geçmiş algılama olaylarının ortalama güç profillerini ve uzaysal çeşitlilik kazançlarını tek bir doğrusal olmayan öznitelik uzayında birleştirerek sınıflandırma doğruluğunu optimize etmeyi amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışmada *R* adet alıcı antene sahip bir BR düğümü ele alınmaktadır. Birincil kullanıcı sinyalinin varlığı (H_1) ve yokluğu (H_0) durumları altındaki hipotez modeli vektörel olarak Denklem 1 ve 2'deki gibi ifade edilir:

$$H_0: Y(n) = G(n) \quad (1)$$

$$H_1: Y(n) = HX(n) + G(n) \quad (2)$$

Burada n = 1, 2, ..., μ örnek indeksini, Y(n) alınan işaret matrisini, H kanal katsayı matrisini, X(n) iletilen birincil sinyali ve G(n) ise sıfır ortalamalı, σw^2 varyanslı toplanabilir beyaz Gauss gürültüsünü temsil eder.

Geleneksel enerji algılayıcıda her bir alıcı anten için test istatistiği, alınan sinyal örneklerinin karesel toplamı alınarak hesaplanır:

$$E_i = \frac{1}{\mu} \sum_{n=1}^{\mu} |y_i(n)|^2 \quad (3)$$

İyileştirilmiş EA şemasında ise anlık sönümlemelerin ve sinyal düşüşlerinin olumsuz etkisini azaltmak amacıyla, L adet geçmiş algılama olayının hareketli ortalamasını içeren ortalama enerji fonksiyonu E_i^{Ort} devreye sokulur:

$$E_i^{Ort} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L} E_{i-L+l} \quad (4)$$

Önerilen akıllı spektrum algılama mimarisi iki temel aşamadan oluşmaktadır: Öznitelik Çıkarımı ve DT-SVM Tabanlı Sınıflandırma.

MIMO alıcı dizisindeki her bir r (r = 1, 2, … R) anteninden elde edilen anlık enerji Er ve geçmiş pencerelerin ortalaması E_r^{0rt}, ML modelinin girdilerini oluşturur. R antenli bir sistem için oluşturulan çok boyutlu öznitelik vektörü f şu şekildedir:

$$\mathrm{f} = [\mathrm{E}_1, \mathrm{E}_2, \ldots., \mathrm{E}_\mathrm{R}, E_1^{0rt}, E_2^{0rt}, \ldots, E_R^{0rt}, \Delta E\ ] \qquad (5)$$

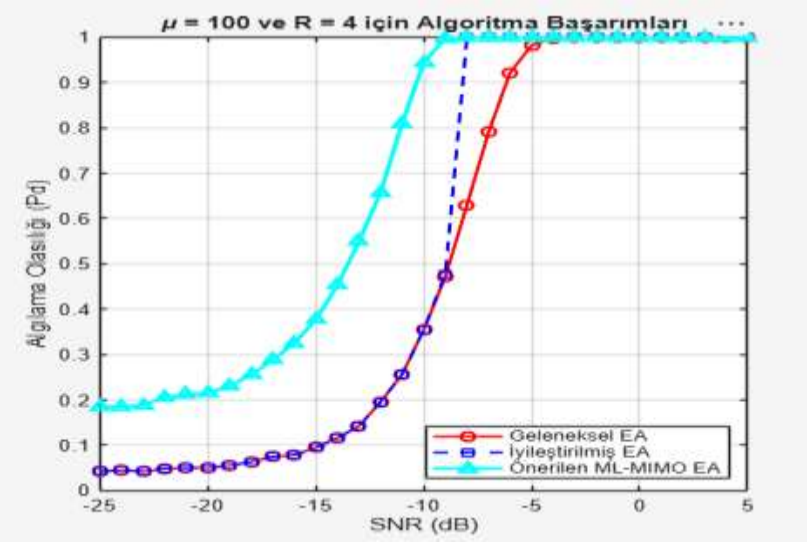
Burada ΔE , anlık sinyal dinamiklerini yakalamak adına diferansiyel enerji matrisini $(\mathrm{E_r} - E_r^{0rt})$ temsil eden ek bir gradyan bileşenidir. Önerilen DT-SVM mimarisinde, doğrusal olmayan sinyal sınırlarını yüksek boyutlu uzaya taşımak için Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) çekirdeği kullanılmıştır. Sınıflandırıcı, marjin sınırlarına dayalı çift eşikli bir karar mekanizması işletir. Karar fonksiyonu f(f) çıktısı şu kurala göre spektrum durumunu tayin eder:

$$karar = \begin{cases} \mathrm{H}_1, & \mathrm{f(f)} > \tau^+ \\ \mathrm{H}_0, & \mathrm{f(f)} < \tau^- \\ \text{İşbirlikçi Oylama}, & \tau^- \leq \mathrm{f(f)} \leq \tau^+ \end{cases} \qquad (6)$$

Burada τ^+ ve τ^-yanlış alarm olasılığını %10'un altında tutmak üzere optimize edilmiş akıllı üst ve alt sınır karar eşikleridir. Belirsizlik bölgesine düşen sinyaller için MIMO antenlerin yerel oylama matrisi değerlendirilerek nihai karara varılır.

BULGULAR

Önerilen makine öğrenmesi entegrasyonlu hibrit MIMO-EA yönteminin performansını değerlendirmek amacıyla MATLAB ortamında simülasyonlar yürütülmüştür. Deneysel parametreler; Monte Carlo simülasyon sayısı 10,000, örnek uzunluğu $\boldsymbol{\mu}$ = 100, hedef yanlış alarm olasılığı $\mathrm{P_{fa}} = 0{,}1$, alıcı anten sayısı ise R = 4 olarak set edilmiştir.



Şekil 1. Önerilen ve Geleneksel Algoritmaların Başarım Eğrileri

Tablo 1. $\boldsymbol{\mu = 100}$ ve $R = 4$ için Yöntemlerin Algılama Olasılıkları P_d

SNR (dB)	Geleneksel	İyileştirilmiş	Önerilen ML
-25	0.0416	0.0416	0.1857
-20	0.0504	0.0504	0.2157
-15	0.0949	0.0949	0.3766
-10	0.3547	0.3549	0.9447
-5	0.9821	1.0000	1.0000
0	1.0000	1.0000	1.0000
5	1.0000	1.0000	1.0000

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, MIMO mimarisine sahip Bilişsel Radyo sistemleri için gürültü belirsizliğine karşı dirençli, Makine Öğrenmesi tabanlı Hibrit İyileştirilmiş Enerji Algılama yöntemi geliştirilmiştir. Teorik analizleri destekleyen simülasyon sonuçları, çoklu antenlerden elde edilen anlık ve istatistiksel özniteliklerin DT-SVM şemasıyla sınıflandırılmasının, spektrum algılama doğruluğunda çarpan etkisi yarattığını ortaya koymuştur. Önerilen yöntem, özellikle -25 dB ile -5 dB arasındaki kritik spektrum bölgelerinde geleneksel test istatistiklerine göre üstün bir spektrum verimliliği ve performans kararlılığı sergilemiştir. Gelecek çalışmalarda önerilen modelin gerçek zamanlı yazılım tabanlı radyo (SDR) platformlarında test edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

Akyildiz, I. F., Lee, W. Y., Vuran, M. C. and Mohanty, S. (2006) "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", Computer Networks, 50(13), 2127-2159.

Haykin, S. (2005) "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 23(2), 201-220.

López-Benítez, M. and Casadevall, F. (2010) "Methodological aspects of spectrum occupancy evaluation in the context of cognitive radio", European Transactions on Telecommunications, 21(8), 680-693.

Mitola, J. and Maguire, G. Q. (1999) "Cognitive radio: making software radios more personal", IEEE Personal Communications, 6(4), 13-18.

Urkowitz, H. (1967) "Energy detection of unknown deterministic signals", Proceedings of the IEEE, 55(4), 523-531.

Zeng, Y. and Liang, Y. C. (2009) "Eigenvalue based spectrum sensing algorithms for cognitive radio", IEEE Transactions on Communications, 57(6), 1784-1793.

Application of precipitate flotation for iron removal from wastewaters

Fatma ARSLAN*, Mehmet Yasin YILMAZ

Istanbul Technical University, Mining Faculty, Mineral Processing Engineering Department
34469 Maslak, Istanbul, Türkiye
*arslanf@itu.edu.tr

Abstract

Rapid industrialization, resulting in steadily increasing water use, pushed scientists to seek alternative solutions to manage Earth's limited water supply. Iron is one of the most unwanted heavy metal ions accumulated in wastewater and needs to be removed. The subject of this study is to use precipitate flotation technology to explore its possibility for not only removing iron ions from waste solutions but also selectively separating them to recycle the recovered metal value from domestic water sources and industrial wastewater. The known processes, including flotation as a treatment of iron in wastewater and their applications in both domestic and industrial water remediation, are briefly reviewed. It is found that precipitate flotation for selective iron removal is highly effective and suitable for industrial applications. However, because of the chemicals used during the process, it is not practical to apply this method of drinking water treatment processes.

***Keywords**:* flotation, iron removal, precipitate, wastewater

Özet

Su kullanımının sürekli artmasına yol açan hızlı sanayileşme, bilim insanlarını Dünya'nın sınırlı su kaynaklarını yönetmek için alternatif çözümler aramaya yöneltmiştir. Demir, atık sularda biriken ve uzaklaştırılması gereken, en istenmeyen ağır metal iyonlarından biridir. Bu çalışmanın amacı, evsel su kaynakları ve endüstriyel atık sulardan demir iyonlarını yalnızca uzaklaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda geri kazanılan metal değerini yeniden kullanıma kazandırmak üzere seçici olarak ayırma potansiyelini araştırmak için çökelti flotasyonu teknolojisini kullanmaktır. Atık sulardaki demirin giderilmesinde flotasyonun kullanımı ve bunun hem evsel hem de endüstriyel su arıtımındaki uygulamaları dahil olmak üzere, bilinen süreçler kısaca gözden geçirilmiştir. Seçici demir giderimi için çökelti flotasyonunun oldukça etkili ve endüstriyel uygulamalara uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, süreç sırasında kullanılan kimyasallar nedeniyle, bu yöntemin içme suyu arıtma işlemlerine uygulanması pratik değildir.

Anahtar kelimeler: flotasyon, demir uzaklaştırma, çöktürme, atık su

INTRODUCTION

Iron is considered a secondary contaminant in water since it is not harmful to human beings but causes other problems like staining, taste, and color issues. World Health Organization (WHO) has set the secondary contaminant level for iron at 0.3 mg Fe/L. The presence of ferric ions may render the water inadequate for consumption in some industrial, commercial, and residential applications. In concentrations above 0.3 ppm, iron imparts to water a yellowish coloration, bitter taste, and also stains materials (Morosini, Baltar and Duarte-Coelho, 2014). Together with water hardness, its presence is one of the most common problems faced by the final consumer of water (Vasudevan et al., 2009). Figure 1 shows the stain because of iron contamination in domestic water used in houses for all purposes. Blockages in pipes are also a common problem caused by a high iron presence in the form of iron hydroxide or ferrous bicarbonate in drinking water (Chaturvedi, 2012).

Water contamination problems are mostly caused by heavy metal ions, and these high heavy metal-containing waters can be put under remediation processes for two main purposes: (a) usage of drink water, which might require completely different operations, and (b) reuse in industries. Iron, being one of the most unwanted heavy metal ions, needs to be removed by certain processes. Groundwaters that have high iron concentration, industrial wastewater, and hydrometallurgical solutions where iron is not desired, require specialized processes to remove iron from the aqueous solution itself.

Figure 1. Stain left by iron contaminated domestic water in a household bathroom.

Table 1 summarizes the principal methods used for iron removal from drinking water and wastewater. Among them, chemical precipitation of iron, which is a common and practical process, is a water and wastewater treatment process

that turns dissolved iron into solid, insoluble particles so they can be filtered or settled out. It can be used in (a) drinking water treatment by removing metallic taste, staining, and clogging iron bacteria from well water, (b) acid mine drainage (AMD) by neutralizing high acidity and pulling heavy loads of dissolved iron out of mining wastewater, (c) industrial process streams by extracting or cleaning unwanted iron contaminants from industrial leach solutions and phosphoric acid streams (Dutrizac, 1987; Rose & Waite, 2003; Hove et al., 2008).

Table 1. Summary of different methods used for iron removal from water and wastewater.

Method	**Application**	**References**	
Oxidation by aeration	Removal of low concentrations of iron	Wang et al., 2005	**Iron**
Oxidation by chemical oxidants (Cl, ClO_2,O_3, H_2O_2, $KMnO_4$)	Removal of organically complexed iron	Rosa and Waite, 2003; Loan et al., 2006; Khatri et al., 2017; Forouzesh et al., 2023	
Iron Sequestering (using polyphosphate, orthophosphates, sodium silicates)	Removal of soluble iron in moving waters	Robinson et al., 1990	
Biological removal (using bacteria)	Removal of iron from groundwater (with bacteria at low pH)	Summerfelt et al., 1999; Ankrah et al., 2009	
Ion Exchange	Removal of small quantities of iron (household treatment)	Harland, 1994	
Adsorption-Oxidation	Operated under anoxic and low pH conditions	Sharma 2001; De Vet et al. 2011	
Membrane filtration	Includes reverse osmosis, nanofiltration, ultra-filtration and microfiltration, high operation cost	Holmden, 2013	
Electrocoagulation (uses Al and Fe electrodes)	Almost 100% removal efficiency and works with solar energy	Pouet annnd Grasmich 1995; Chen, 2004; Phadke, 2014	
Flotation	Removal of iron from low concentrated solutions	Pouet and Grasmick, 1995; Rattanapan et al., 2011	
Oxidation			

Iron occurs naturally in water in soluble form as ferrous iron Fe^{2+} or complexed form like ferric iron Fe^{3+}. The occurrence of iron in water can also have an industrial origin: mining, the iron and steel industry, metal corrosion, etc. (lenntech.com). After coming into contact with oxygen, both ionic iron forms (Fe^{+2} and Fe^{+3}) would turn into iron hydroxide, which will result in its precipitation out of water. About $1.3x10^{-3}$ mg/L of iron is dissolved in ocean waters yearly (Silver, 1993). The amount of iron present or removed depends on a variety of parameters including pH, temperature, dissolved oxygen level, oxidation state, and the presence of other soluble ions. Temperature, pH, and dissolved oxygen content have an inverse relation with the rate of oxidation. An example given by Vance (1994) gives the time and pH required for 90% oxidation of ferrous iron at 21°C with a critical dissolved oxygen concentration of 2 mg/L, as shown in Table 2. Time of conversion of ferrous to ferric iron slows down dramatically as the pH increases (Vance, 1994). Figure 2 shows the equilibrium conditions and stability regions for iron oxides and hydroxides (Claassen et al., 2002). Usually, groundwater has a low oxygen content, thus a low redox potential and low pH (5.5- 6.5). However, ground waters are naturally anaerobic: so, iron remains in solution and therefore it is important to remove it prior to using as tap water.

Table 2. Time and pH relationship for oxidation of ferrous to ferric iron.

pH	**5**	**6**	**7**	**8**
Oxidation Time	10 hours	100 hours	1 hour	30 seconds

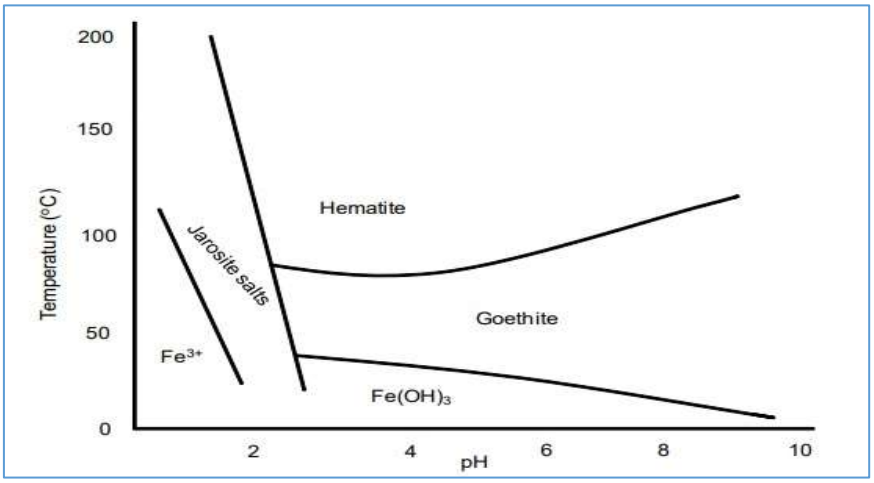


Figure 2. Equilibrium conditions for iron oxides and hydroxides (Claassen et al., 2002).

Iron Precipitation Methods

The effective treatment of hydrometallurgical wastewaters, especially acid mine drainage, depends largely on the oxidation and precipitation of iron (Pulles et al., 1996). Precipitation of iron hydroxides and oxides is the most common method to achieve iron removal (Loan et al., 2006). Most plants employ hydroxide addition to neutralize the wastewaters and, at the same time, cause the precipitation of iron as a hydroxide. However, before the onset of ferric precipitation, the ferrous iron has to be oxidized to the ferric state, usually by bubbling air through the acid mine drainage solution. The oxidation and subsequent precipitation is done at pH 8.5–9.5. Hydrolysis-precipitation applications quickly became most crucial methods for removing iron from hydrometallurgical solutions since the 1970s (Han et al., 2016). The need for economic ways of removing high concentrations of iron from solution was met by the development of several processes, such as the hematite, goethite, magnetite, and jarosite processes. Aside from these three main methods, Paragoethite Process and Zincor Process have been developed, but their usage is limited to only three commercial zinc processing plants (Wang et al., 2011). Figure 3 shows the stability regions of hematite, goethite, magnetite, and jarosite in relation to pH and temperature (Claassen et al., 2002) The hematite process is favored for iron removal because hematite is stable, dense, and relatively pure, which facilitates solid–liquid separation and may allow its use as a byproduct. Hematite is used as a raw material in iron and steel production, pigments, and ferrites (Dutrizac and Riveros, 1997). Its relatively high density also results in a lower residue volume compared with jarosite and goethite precipitates (Schwertmann and Cornell, 2000). Moreover, hematite precipitation has been reported as the only iron precipitation process that does not generate waste (Langova and Matysek, 2010).

The goethite process is a process where iron is precipitated as crystalline and readily filterable goethite, FeOOH. A key requirement is maintaining the iron concentration in solution at approximately 1 g/L, which can be achieved by reducing ferric ions to the ferrous state (Boxal and James, 1986), with about 98% removal. The jarosite process has major advantages, such as the good settling, filtration, and washing characteristics of jarosite residues, thereby avoiding the formation of iron gels. These drawbacks have encouraged studies on jarosite-to-hematite conversion. The paragoethite process is an industrial hydrometallurgical method used to remove ferric iron from zinc-rich sulfate liquors before zinc electrowinning (Loan et al., 2006). Iron precipitation is controlled mainly through pH and temperature. The resulting residue consists largely of poorly crystalline iron phases, particularly ferrihydrite and/or schwertmannite. Six-line ferrihydrite generally accounts for about 40-50% of the residue, while the remainder contains jarosite phases, iron-bearing silica, and minor amounts of goethite depending on operating conditions.

Flotation Methods for Iron Removal

Flotation is one of the most usable mineral processing techniques in modern industry, mostly because of its flexibility. Flotation offers higher rates of better effluent quality and a valuable alternative to sedimentation or filtration after precipitation operation is finished. While its original design purpose is to separate different particle types, with the rapid development of technology, flotation technique is also applied in water plants and wastewater treatment. For the remediation of contaminated waters in the mining industry, the use of flotation is slightly increasing with the introduction of new devices (Rubio, Carissimi and Rosa, 2007). Academicians and researchers have conducted several investigations for the purpose of using flotation as a wastewater treatment technique. Studies like Pouet and Grasmick (1995) and Rattanapan et al. (2011), and many others, have shown that flotation can be applied as a wastewater treatment process.

The flotation operation requires many air bubbles in the solution, which attach to the solid particles and subsequently float to the surface. According to the method used for generating gas bubbles, two categories of flotation for aqueous waste solutions can be distinguished: dispersed-air flotation and dissolved-air flotation. Differences and applicability of dispersed-air and dissolved-air methods were discussed in terms of the bubble generation method, while ion and precipitate flotation techniques were compared on the collecting flotation method for iron. **Dispersed-Air flotation** generates bubbles by introducing air directly into the flotation cell. The most popular dispersed-air flotation cells used in wastewater treatments are the mechanically agitated flotation cells and column flotation cells. Mechanically agitated flotation has been adopted for some laboratory research (Numata and Wakamatsu, 1978) and for industrial practice (Ito and Shinoda, 1973) in wastewater treatment. However, because of its involvement of high turbulence, fragile flocs formed during chemical pretreatment might break. Combined with the bubbles generated by the process being too large for wastewater treatment, this method is regarded as unsuitable for ion and precipitate flotation. **Dissolved-air flotation** is a very effective solid-liquid separation process used in water and aqueous waste treatment, as an alternative to sedimentation before granular filtration. In dissolved-air flotation, the bubbles are produced by a pressure reduction in a water stream saturated with air. The two main types of dissolved-air flotation are vacuum and pressure flotation. In vacuum flotation, the water to be treated is saturated with air at atmospheric pressure. A vacuum is then applied to the flotation tank, releasing the air as small bubbles (Zabel, 1992). Pressure flotation is currently the most widely used dissolved-air flotation process in wastewater treatment. Initially, water is saturated with air at a relatively high pressure. Dissolved-air flotation has the advantages of a large capacity and of generating extremely fine bubbles, thus widely used in water and waste treatment.

Column flotation is considered to be one of the most significant achievements in the field of mineral processing over the millennia (Rubinstein, 1994). The first column apparatus was developed more than 90 years ago. Most of the studies

relating to ion and precipitate flotation were carried out in conventional laboratory column flotation systems (Jurkiewicz, 1986, 1990; Sanciolo et al., 1989), because of their ease of control and simplicity of the system, as well as their greater effectiveness in fine-particle flotation, as compared to mechanically agitated flotation. For ion and precipitate flotation in wastewater treatment, the column flotation method is less effective than dissolved-air flotation.

Ion flotation is a technique that aims to remove surface-inactive ions from liquid solutions by adding collectors (Matis & Mavros, 1991). The collector consists opposite charged ion from the metal ion that is targeted to be removed, and these collectors are usually easy to recycle, which makes them easy to recover and leaves behind a clean water solution. (Deliyanni et al, 2017) The ion flotation technique was first introduced by Sebba (1959) and was defined as a surface-active ion, of opposite charge to the ion that is to be concentrated, is added to the solution, and gas bubbles are introduced well below the surface. The froth subsequently collapses to produce a scum which contains the collected ion in a concentrated form. The product of the collector (surface-active ion) and the colligend (surface-inactive) is known as sublate, and when it reaches the surface of the solution, it is always in a solid phase. Yenial and Bulut (2017) investigated the ion flotation behavior of metal ions for process water remediation while using different metal solutions containing Cu, Pb, Zn, Ni, and Cd. They found that it satisfies the heavy metal removal required by the wastewater standards.

Precipitate flotation involves the collection of small precipitate particles using a surfactant of charge opposite to that of the ions adsorbed on the particle (Mahne & Pinfold, 2007). Coulombic attraction between the surfactant ion and particle causes the surface to become covered with surfactant and the precipitate is carried upwards by a fine stream of bubbles (Sheiham & Pinfold, 2007).

Examples of Precipitation Flotation in Iron Removal

Since metal hydroxide precipitation is a function of pH, the balance between metal ions and the hydroxyl ion is crucial for understanding the precipitation and subsequent flotation process. Selective flotation and separation of different metal ions from waste waters by the flotation method has probably been the greatest challenge for researchers who aimed at achieving a maximum potential usage of metal ions. There are many studies done by researchers to evaluate the effectiveness of selective flotation and separation of different metal ions from wastes by the precipitate flotation method. Perez and Aplan (1975), Hiraida and Mizuike (1977), Numata and Wakamatsu (1978), Guo (1984), Huang and Liu (1999), Capponi et al. (2006), Morrosini et al. (2014), and Etchepare et al. (2017), and many other studies have proved this method to be highly effective for iron removal from wastewaters. The most important benefit of precipitate flotation over ion flotation, which involves stoichiometric or larger quantities of the collector because the ion and the collector

form a complex, is the low surfactant requirement. Perez and Aplan (1975) compared ion flotation with precipitate flotation to extract copper and iron from the solution. This paper is highly regarded for evaluating and comparing two specific sub-branches of adsorptive bubble separation used to remove or concentrate toxic and precious metals from dilute wastewater or industrial processing streams. They concluded that precipitate flotation was superior to ion flotation. For ion flotation, approximately one mole of collector was needed for each mole of metal ion removed, while in precipitate flotation, only around 1/100 mole of surfactant was required for each mole of metal ion removed. The results found here may help to establish parameters for modern acid mine drainage treatment, industrial wastewater purification, and hydrometallurgical metal recovery.

Hiraida and Mizuike (1977) also studied flotation of iron(III) hydroxide precipitate at different pH values by using 1 mg of surfactant (sodium oleate or benzalkonium chloride). The precipitate was floated by bubbling nitrogen through a sintered glass disk for about 30 s with an anionic surfactant up to a pH of about 9.6 and with a cationic surfactant at higher pH values. The recovery of the precipitate varied between 90 and 98%, where surfactant and ethanol concentrations, gas flow rate, and bubbling time produced little effect on the process.

An atomic absorption spectrometric study of the applicability of lead(II) hexamethylenedithiocarbamate, $Pb(HMDTC)_2$, for colloid flotation separation and preconcentration of iron from water is presented by Čundeva et al. (2000). The experimental conditions for successful iron enrichment before atomic absorption spectrometry (AAS) are optimized. Using $Pb(HMDTC)_2$ as a precipitate collector, iron could be enriched and separated from a large volume of diluted aqueous solutions and then determined by AAS. The detection limit of iron using this method is 0.30 µg/l. This work shows that iron can be floated successfully by means of $Pb(HMDTC)_2$ as a collector reagent, achieving quantitative flotation recoveries (>95%), at commonly very low pH (pH 4). Larger amounts of Pb(II) and $HMDTC^-$ have a positive effect on iron flotation recoveries. To obtain quantitative iron separation, the addition of 10 mg Pb with 2.0×10^{-4} mol of $HMDTC^-$ to 1 L of sample is necessary.

Morrosini et al. (2014) studied the removal of ions in the water taken from several artesian wells in the metropolitan area of Recife with high iron content by precipitate flotation using sodium dodecyl sulfate (SDS) as a collector. Tests were conducted in a glass column with a constant air flow as shown in Figure 3. At pH 8, where iron hydroxide ($Fe(OH)_2$) starts precipitating, it was found that the size of the precipitate increased with conditioning time and facilitated the removal of iron, as listed in Table 3, where a photomicrograph of the precipitate is also shown in Figure 3. Increasing conditioning time from 5 to 20 minutes resulted in a decrease in residual iron content from 11 to almost 0.2 in $50\cdot10^{-6}$ M SDS concentration. This process is shown to be quite efficient, and 99.9% Fe removal was achieved.

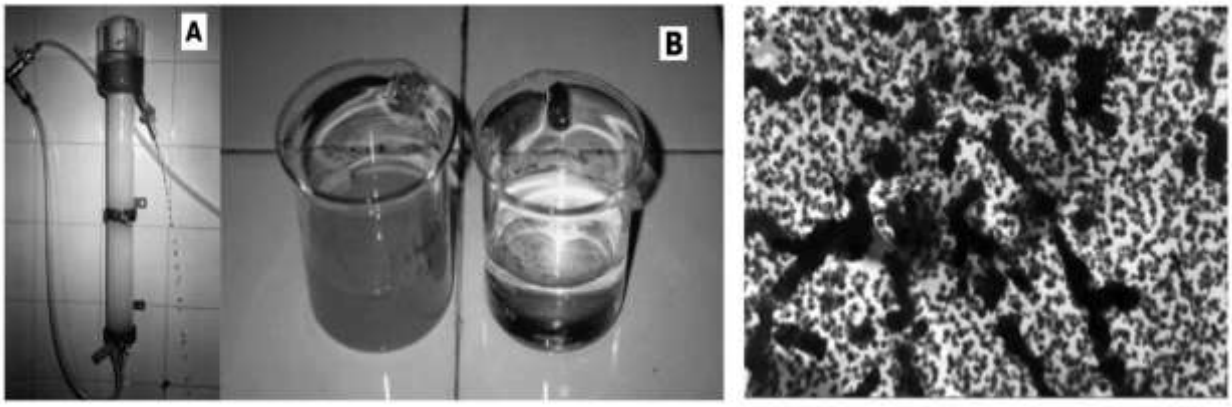


Figure 3. (A) Column used in the flotation tests; the dark upper part shows the foam where the iron ions were concentrated, and (B) the samples before (yellowish coloration) and after flotation (transparent water); (C) Photomicrography (x1000) of precipitate obtained in a solution of ferric chloride, at pH 8, with 20 minutes of conditioning (Morrosini et al., 2014).

Table 3. Results of Fe removal by precipitate flotation (reproduced from Morrosini et al., 2014)

Collector	**Conditioning Time (mins)**					
	5		10		20	
SDS Conc $x10^{-6}M$	Fe left in solution (ppm)	Fe Removal (%)	Fe left in solution (ppm)	Fe Removal (%)	Fe left in solution (ppm)	Fe Removal (%)
5	50	0	50	0	50	0
10	50	0	50	0	23.5	61.2
50	11.0	80.6	0.21	99.6	0.18	99.7
80	0.14	99.8	0.14	99.8	0.14	99.8
100	0.09	99.9	0.08	99.9	0.03	99.9

Etchepare et al. (2017) studied the removal of ferric hydroxide by flotation with macro and micro bubbles. In the experiments, Dissolved Air Flotation was used to remove Fe^{+3} as Fe(OH)3 nanoparticles at pH 7 by nanobubbles, where the process combines microbubbles and nanobubbles. Figure 4 shows different stages of iron precipitation and removal of precipitates. Studies were conducted at low and high levels of saturation pH (P_{Sat}: 2 and 4 bar) without nanobubbles. Best results were obtained with flotation at 2 bar when the concentration of Mbs was low and Nbs was high. Iron removal efficiency was 99 % from the feed with 30 mg/L Fe content, and the residual total Fe concentration was 0.3 mg/L. Figure 5 shows the microscopic pictures of Fe precipitates after precipitation and flotation. Flotation of nanoparticles with NBs was also studied, and the removal efficiency was about 68%, considered high for this difficult-to-separate system. As a conclusion to this study, the combination of NBs and MBs was found to be an excellent potential for future separation of particles, including nanoparticles, and it will help broaden applications in removing specific target pollutants from waters and wastewaters.

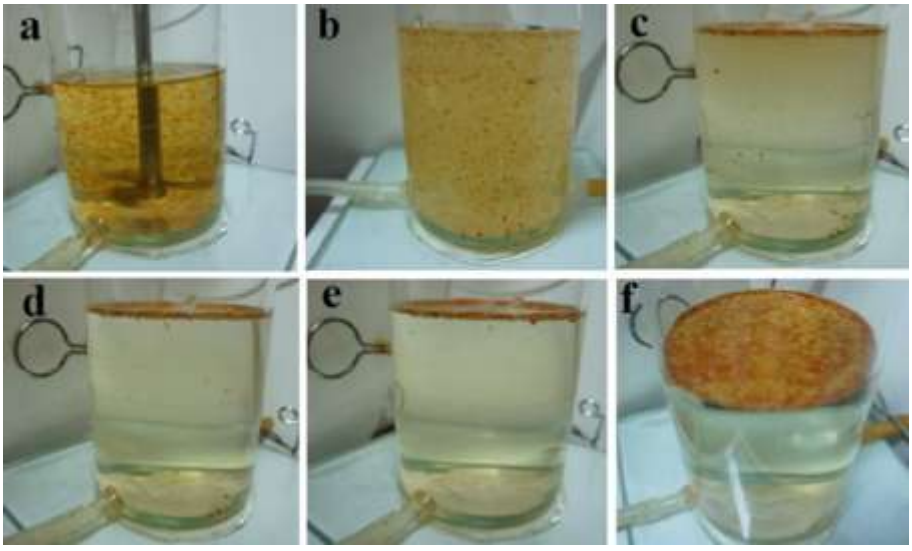


Figure 4. Pictures of different stages of $Fe(OH)_3$ precipitation, before and after flotation with MBs and NBs (a) precipitation, (b) injection with MBs and NBs, (c) Flotation at 30 s, (d) flotation at 1 min, (e) flotation at 5 min, (f) floated precipitates and treated water (initial Fe concentration 30 mg/L, saturation time 30 min) (Etchepare et al. 2017).

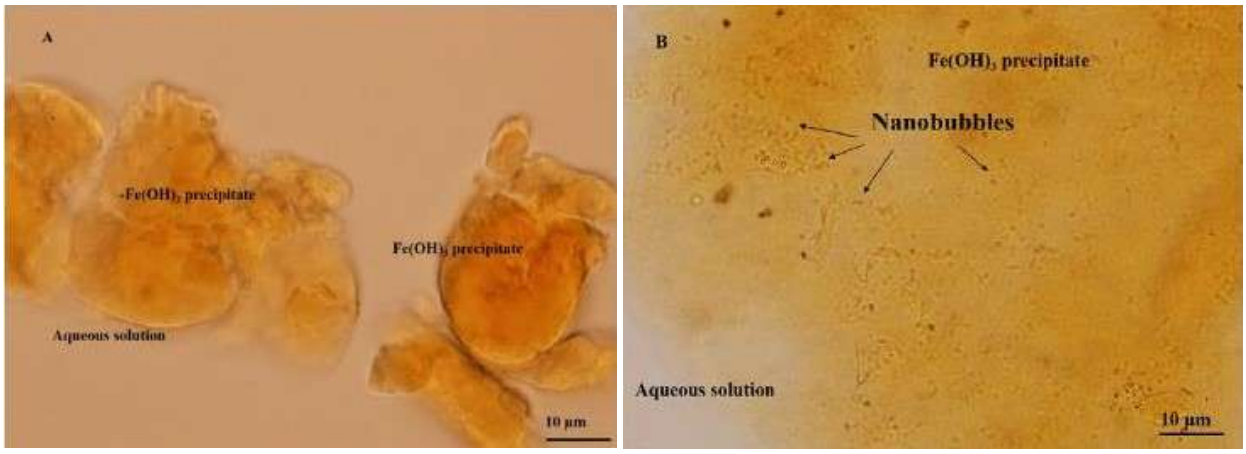


Figure 5. Micrographs of $Fe(OH)_3$ (Magnification of 1000x), (A) Immediately after precipitation, (B) after DAF at P_{sat}: 2 bar for 5 min (initial Fe concentration 30 mg/L, precipitation pH: 7) (Etchepare et al. 2017).

FINDINGS AND CONCLUSIONS

Although numerous studies have investigated iron removal using different methodologies, fundamental studies have not always been effectively integrated into applied research focusing on removal efficiency and process performance. Applied studies have often evaluated only a single method, leading to inconsistencies among reported results. By reviewing studies from different fields, several key insights were identified that may help integrate these approaches and improve the applicability and efficiency of precipitate flotation for iron removal. Among the various iron removal techniques, hydroxide precipitation has proven to be highly effective. Iron ions can be selectively precipitated through pH control and subsequently separated from waste solutions. Since industrial wastewaters contain various ions and suspended solids, hydroxide precipitation is advantageous because of its simplicity, controllable pH conditions, and ability to achieve nearly complete iron removal without major process modifications. Among the main precipitation routes, hematite, goethite, and jarosite processes have all demonstrated reliable industrial applicability, each offering specific advantages in different mineral processing applications.

For flotation separation, studies indicate that precipitate flotation is more suitable for iron removal from wastewaters than ion flotation, as the latter generally requires higher collector dosages and therefore increases process costs. Dissolved-air flotation is also considered a more suitable bubble generation method for wastewater treatment because of the extremely fine bubbles produced. Although flotation has proven highly effective for heavy metal removal from aqueous solutions, removal efficiency alone does not justify its implementation in every water treatment system. With appropriate methodology, precipitate flotation can be a viable option for iron removal from industrial wastewaters, although further improvement is still possible. Economic considerations remain the main factors determining its industrial applicability. Overall, the reviewed studies suggest that precipitate flotation can effectively remove iron from wastewaters and facilitate water reuse. For drinking water treatment, however, despite its high iron removal efficiency, the method is less practical because of the chemicals required during the process.

REFERENCES

Ankrah, D.A., Søgaard, E.G. (2009). A review of biological iron removal. In Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC, Vol. 13, No. 2009, pp. 999-1005.

Boxal, J.M., James, S.E., (1986). Experience with the goethite process at National Zinc. In: Iron Control in Hydrometallurgy, Dutrizac, J.E., Monhemius, A.J. (Eds.), Ellis Horwood, Chichester, UK, pp. 676–686

Capponi, F., Sartori, M., Souza, M. L., & Rubio, J. (2006). Modified column flotation of adsorbing iron hydroxide colloidal precipitates. International Journal of Mineral Processing, 79(3), 167–173.

Chaturvedi, S., Dave, P. N. (2012). Removal of iron for safe drinking water. Desalination 303: 1-11.

Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology, 38(1), 11–41.

Claassen, J., Meyer, E. H., Rennie, J., Sandenbergh, R. (2002). Iron precipitation from zinc-rich solutions: defining the Zincor Process. *Hydrometallurgy*, 67(1-3), 87–108.

Čundeva K., Stafilov T., Pavlovska G., (2000). Preconcentration and separation of iron in water by coflotation using lead(II) hexamethylenedithiocarbamate, Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy.

De Vet, W. W. J. M., Dinkla, I. J. T., Rietveld, L. C., van Loosdrecht, M. C. M. (2011). Biological iron oxidation by Gallionella spp. in drinking water production under fully aerated conditions. Water Research, 45(17), 5389–5398.

Deliyanni, E. A., Kyzas, G. Z., Matis, K. A. (2017). Various flotation techniques for metal ions removal. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 260–264.

Dutrizac, J. E. (1987). An Overview of Iron Precipitation in Hydrometallurgy. Crystallization and Precipitation, 259–283.

Dutrizac, J. E., Riveros, P. A. (1999). The precipitation of hematite from ferric chloride media at atmospheric pressure. Metallurgical and Materials Transactions B, 30(6), 993–1001.

Etchepare, R., Azevedo, A., Calgaroto, S., Rubio, J. R. (2017). Removal of ferric hydroxide by flotation with macro and micro bubbles. Separation and Purification Technology, 184 (2017) 347-353.

Forouzesh, M., Fatehifar, E., Khoshbouy, R., Daryani, M. (2023). Experimental investigation of iron removal from wet phosphoric acid through chemical precipitation process. Chemical Engineering Research and Design, Vol 189, 2023, pp 308-318.

Guo, Y. (1984). The problems of precipitate flotation for the removal of heavy metal ions from wastewater. *Nonferrous Metals (in Chinese)*, No.1, 42-49

Han, H., Sun, W., Hu, Y., Cao, X., Tang, H., Liu, R., & Yue, T. (2016). Magnetite precipitation for iron removal from nickel-rich solutions in hydrometallurgy process. *Hydrometallurgy*, 165, 318–322.

Harland, C. E. (1994). Ion exchange: theory and practice. Royal Society of Chemistry.

Hiraide, M., Mizuike, A. (1977). Flotation of iron(III) hydroxide precipitate, Volume 26, Issue 1, pp. 47-50.

Holmden, B. (2013). Drinking water C & D certification review. Florida Rural Water Association.

Huang, C., Liu, J. C. (1999). Precipitate flotation of fluoride-containing wastewater from a semiconductor manufacturer. Water Research, 33(16), 3403–3412.

Ito, K., Shinoda, K. (1973). An industrial study of flotation removal of cadmium wastewater using xanthate. Mines (in Japanese), May, 42-47

Jurkiewicz, K. (1986). The influence of electrolyte on precipitate flotation of cobalt hydroxide. I*nternational Journal of Mineral Processing*, 17(1-2), 67–81.

Jurkiewicz, K. (1990). The removal of zinc from solutions by foam separation, I. Foam separation of complex zinc anions. International Journal of Mineral Processing, 28(3-4), 173–187.

Khatri, N., Tyagi, S., & Rawtani, D. (2017). Recent strategies for the removal of iron from water: A review. Journal of Water Process Engineering, 19, 291–304.

Langová, Š., & Matýsek, D. (2010). Zinc recovery from steel-making wastes by acid pressure leaching and hematite precipitation. Hydrometallurgy, 101(3-4), 171–173.

Loan, M., Newman, O. M. G., Cooper, R. M. G., Farrow, J. B., Parkinson, G. M. (2006). Defining the Paragoethite process for iron removal in zinc hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 81(2), 104–129.

Mahne, E. J., Pinfold, T. A. (2007). Precipitate flotation I. Removal of nickel from dilute aqueous solutions and its separation from cobalt. Journal of Applied Chemistry, 18(2), 52–54.

Matis, K. A., Mavros, P. (1991). Recovery of Metals by Ion Flotation from Dilute Aqueous Solutions. Separation and Purification Methods, 20(1), 1–48.

Morosini, D. F., Baltar, C. A. M., & Duarte-Coelho, A. C. (2014). Iron removal by precipitate flotation. Rem: Revista Escola de Minas, 67(2), 203–207.

Numata, Y., Wakamatsu, T. (1978). A Fundamental Study on the Removal of Heavy Metal Ions (Cu^{2+}, Zn^{2+} and Fe^{3+}) from Mine Water by Flotation Methods (1) Use of anionic and cationic surfactants as a collector. Flotation, 25(1), 1-6.

Perez, J.W., Aplan, F.F. (1975). Ion and precipitate flotation of metal ions from solution. Advantages in Interfacial Phenomena (AIChE Symp Ser No 150), 71, 34-39.

Phadke, A.A., (2014). Iron Removal Using Electro-coagulation Followed By Floating Bead Bed Filtration, LSU Master'sThesis. 1256.

Pouet, M. F., & Grasmick, A. (1995). Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation. Water Science and Technology, 31(3-4)

Pulles, W., Heath, R., & Howard, M. (1996). A manual to assess and manage the impact of gold mining operations on the surface water environment. WRC Report No. TT79/96, Pretoria.

Rattanapan, C., Sawain, A., Suksaroj, T., & Suksaroj, C. (2011). Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes. Desalination, 280(1-3), 370–377.

Robinson, R. B., Reed, G. D., Christodos, D., Frazier, B., and Chidambariah, V. (1990). Sequestering methods of iron and manganese treatment. AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

Rose, A., Waite, T.D. (2003). Kinetics of hydrolysis and precipitation of ferric iron in seawater, Environ Sci Technol , 1;37(17):3897-903.

Rubinstein, J. B. (1995). Column flotation (Vol. 2). CRC Press.

Rubio, J., Carissimi, E., Rosa, J. J. (2007). Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil. International Journal of Environment and Pollution, 30(2), 197.

Sanciolo, P., Harding, I. H., & Mainwaring, D. E. (1989). Treatment of electroplating wastewater by adsorbing colloid flotation to remove heavy metals. In Chemeca 89: Technology for Our Third Century; the Seventeenth Australasian Chemical Engineering Conference (p. 53).

Sebba, F. (1959). Concentration by ion flotation. Nature, 184(4692), 1062–1063.

Sharma, S. K. (2001). Adsorptive iron removal from groundwater. Dissertation, Academic Board of Wageningen University and the Academic Board of the International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.

Sheiham, I., Pinfold, T. A. (2007). Precipitate flotation. III. Parameters of precipitate flotation of the first kind. Journal of Applied Chemistry, 18(7), 217–221.

Silver, J. (1993). Chemistry of Iron. Blackie Academic and Professional/Chapman &Hall, London.

Summerfelt, S. T., Adler, P. R., Glenn, D. M., & Kretschmann, R. N. (1999). Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. Aquacultural Engineering, 19(2), 81–92.

Vance, D. B. (1994). Iron- the environmental impact of a universal element. National Environmental Journal 4(3): 24-25.

Vasudevan, S., Lakshmi, J., Sozhan, G. (2009). Studies on the Removal of Iron from Drinking Water by Electrocoagulation - A Clean Process. CLEAN - Soil, Air, Water, 37(1), 45–51.

Wang, L. K., Vaccari, D. A., Li, Y.,Shammas, N. K. (2005). Chemical Precipitation. Physicochemical Treatment Processes, 141–197.

Yenial, Ü., Bulut, G. (2017). Examination of flotation behavior of metal ions for process water remediation. Journal of Molecular Liquids, 241, 130–135.

Zabel, T. F. (1992). Flotation in Water Treatment. Innovations in Flotation Technology, 31-454.

52 Hücreli 314 Ah LFP Batarya Paketinde Baralı ve CCS Yöntemlerinin Hücre Gerilimi Ölçüm Doğruluğu Açısından Karşılaştırılması

Eyüp DAĞLI

eyupdagli@teksan.com; TEKSAN Jeneratör, Ar-Ge Mühendisi, İstanbul/Türkiye.

Özet

Çok hücreli lityum demir fosfat (LFP) batarya paketlerinde hücre gerilimlerinin Batarya Yönetim Ünitesi (BMU) tarafından doğru ölçülmesi; şarj durumu (SOC) kestirimi, hücre dengeleme ve güvenlik fonksiyonları açısından kritiktir. Bu çalışmada, seri bağlı 52 hücreden oluşan 314 Ah kapasiteli bir LFP paketinde baralı (busbar) ve Cells Contact System (CCS) tabanlı gerilim algılama yöntemleri karşılaştırılmıştır. Referans gerilimler kalibreli Fluke 189 multimetre ile; CCS yönteminde hücre kutup başından, baralı yöntemde BMU algılama hattının bağlandığı baradan ölçülmüş, ölçümler bekleme (0 A), 157 A şarj ve 157 A deşarj koşullarında yapılmıştır. Ortalama mutlak gerilim farkı CCS yönteminde 2,10–6,21 mV, baralı yöntemde 11,42–13,92 mV; standart sapmalar sırasıyla 1,46–1,83 mV ve 9,32–11,65 mV bulunmuştur. Maksimum sapma CCS yönteminde tüm çalışma koşullarında 10 mV ile sınırlı kalırken, baralı yöntemde 50 mV'ye ulaşmıştır. Bulgular, CCS tabanlı algılamanın BMU ölçüm doğruluğunu belirgin biçimde artırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Baralı Bağlantı, Batarya Yönetim Ünitesi, Cells Contact System, Hücre Gerilimi Ölçümü, LFP Batarya.

Abstract

Accurate measurement of cell voltages by the Battery Management Unit (BMU) is critical for state-of-charge (SOC) estimation, cell balancing and safety in multi-cell lithium iron phosphate (LFP) battery packs. This study compares busbar and Cells Contact System (CCS) based voltage sensing in a 314 Ah LFP pack of 52 series-connected cells. Reference voltages were measured with a calibrated Fluke 189 multimeter at the cell terminal for the CCS method and at the busbar, the BMU sense point, for the busbar method, under idle (0 A), 157 A charging and 157 A discharging conditions. The mean absolute deviation was 2.10–6.21 mV for CCS and 11.42–13.92 mV for the busbar method, with standard deviations of 1.46–1.83 mV and 9.32–11.65 mV. The maximum deviation stayed within 10

mV for CCS under all conditions, whereas it reached 50 mV for the busbar method. The findings show that CCS-based sensing markedly improves BMU voltage measurement accuracy.

Keywords: Busbar Connection, Battery Management Unit, Cells Contact System, Cell Voltage Measurement, LFP Battery.

GİRİŞ

Lityum demir fosfat (LFP) hücreler; yüksek termal kararlılıkları, uzun çevrim ömürleri ve görece düşük maliyetleri nedeniyle sabit enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde onlarca hücrenin seri bağlanmasıyla oluşturulan batarya paketlerinde, her bir hücrenin geriliminin Batarya Yönetim Ünitesi (BMU) tarafından yeterli doğrulukla izlenmesi; şarj durumu (SOC) kestirimi, aşırı şarj ve aşırı deşarj koruma fonksiyonları ile hücre dengeleme algoritmalarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Paket düzeyindeki gerilim ve durum kestiriminin, tekil hücre düzeyine kıyasla farklı zorluklar içerdiği ve bu zorlukların önemli bir kısmının hücreler arası bağlantı noktalarındaki elektriksel etkilerden kaynaklandığı belirtilmektedir (Rüther vd., 2025).

Uygulamada hücre gerilimleri BMU'ya iki temel gerilim algılama mimarisi ile iletilebilmektedir. Birinci yöntemde BMU algılama hatları doğrudan paket içindeki bara (busbar) bağlantı noktalarına bağlanmakta ve hücre gerilimi baralı bağlantı üzerinden ölçülmektedir. İkinci yöntemde ise gerilim bilgisi, her hücrenin kutup başına yakın konumlandırılan Cells Contact System (CCS) kartı veya esnek baskı devre (Flexible Printed Circuit – FPC) aracılığıyla doğrudan hücre terminaline yakın bir noktadan alınmaktadır. Yüksek çözünürlüklü analog-dijital dönüştürücülere sahip modern BMU ölçüm devrelerinin doğruluğu, gerilim algılama performansını doğrudan etkileyen önemli unsurlardan biridir (Man vd., 2016). Bununla birlikte, ölçüm doğruluğu yalnızca ölçüm elektroniğine bağlı olmayıp, algılama hattı boyunca oluşan ilave temas dirençlerinden de etkilenmektedir.

Bara bağlantıları gibi cıvatalı veya basınçlı temas noktalarında oluşan temas direnci; yüzey pürüzlülüğü, sıkma torku ve malzeme özelliklerine bağlı olarak mikroohm mertebesinden onlarca mikroohma kadar değişebilmekte ve üzerinden akım geçtiğinde ölçülebilir seviyede gerilim düşümüne neden olabilmektedir (Braunovic, 2002; Risdiyanto vd., 2012). Benzer şekilde, hücre terminallerindeki kaynak veya bağlantı noktalarında oluşan temas dirençleri de gerilim ölçüm doğruluğunu etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır (Brand vd., 2015). Algılama noktası ile gerçek hücre

terminali arasında oluşan bu ilave direnç, özellikle yüksek akımlı şarj ve deşarj koşullarında BMU tarafından ölçülen gerilim ile hücrenin gerçek terminal gerilimi arasında sistematik sapmalara yol açabilmektedir. Bu sapmaların nicel olarak belirlenmesi ve farklı gerilim algılama mimarilerinin karşılaştırılması, BMU tasarımı ve uygun gerilim algılama yönteminin seçimi açısından önemli mühendislik katkıları sağlamaktadır (Jocher vd., 2021; Zhang vd., 2021).

Literatürde temas dirençlerinin bileşen düzeyindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiş olmakla birlikte, yüksek kapasiteli ve çok hücreli bir batarya paketinde farklı gerilim algılama mimarilerinin BMU gerilim ölçüm doğruluğuna etkisini aynı paket üzerinde, aynı çalışma koşullarında ve hücre bazında karşılaştıran deneysel çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, 52 hücreden oluşan 314 Ah kapasiteli bir LFP batarya paketinde kullanılan baralı bağlantı ve CCS tabanlı hücre gerilim algılama yöntemlerinin BMU gerilim ölçüm doğruluğu üzerindeki etkilerini, kalibreli Fluke 189 dijital multimetre ile her yöntemin kendi algılama noktasından alınan referans ölçümler kullanılarak nicel olarak karşılaştırmaktır.

YÖNTEM

Çalışmada kullanılan test nesnesi, 52 adet LFP hücrenin seri bağlanmasıyla oluşturulan 314 Ah nominal kapasiteli bir batarya paketidir. Pakette yer alan her bir hücrenin gerilimi BMU tarafından ayrı ayrı izlenebilmektedir. Ölçümler, aynı batarya paketi üzerinde yalnızca hücre gerilim algılama yöntemi değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Böylece paket, hücre ve ölçüm ekipmanından kaynaklanabilecek farklılıklar kontrol altında tutularak, yalnızca gerilim algılama mimarisinin ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmada iki farklı hücre gerilim algılama yöntemi karşılaştırılmıştır. CCS tabanlı gerilim algılama yöntemi Şekil 1'de, baralı bağlantı tabanlı gerilim algılama yöntemi ise Şekil 2'de gösterilmektedir.

Şekil 1. *CCS tabanlı bağlantı*

Şekil 2. *Baralı bağlantı*

Baralı bağlantı yönteminde BMU algılama hattı, hücreler arasındaki elektriksel bağlantıyı sağlayan bara üzerinden alınmıştır. Bu yöntemde referans gerilim ölçümleri hem hücre kutup başından hem de bara üzerinden gerçekleştirilmiş, böylece bara ile hücre terminali arasındaki gerilim farkı da değerlendirilebilmiştir. CCS tabanlı yöntemde ise BMU algılama hattı, hücre kutup başına yakın konumlandırılan Cells Contact System (CCS) kartı üzerinden alınmış ve referans gerilim ölçümleri hücre kutup başından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1 mV ölçüm hassasiyetine ve ±5 mV ölçüm doğruluğuna sahip bir CCS kartı kullanılmıştır.

Tüm referans gerilim ölçümleri, kalibreli Fluke 189 dijital multimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler; bekleme (0 A), 157 A sabit akımla şarj ve 157 A sabit akımla deşarj olmak üzere üç farklı çalışma koşulunda yapılmıştır. Her çalışma koşulunda paketteki 52 hücrenin tamamı için BMU tarafından ölçülen hücre gerilimleri ile referans gerilim değerleri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Böylece her gerilim algılama yöntemi için üç çalışma koşulunda 52 eşleştirilmiş ölçüm elde edilmiştir.

Ölçüm doğruluğu, BMU tarafından okunan hücre gerilimleri ile referans ölçümler arasındaki farklar üzerinden değerlendirilmiştir. Tüm gerilim değerleri milivolt (mV) cinsinden ifade edilmiş olup, volt (V) cinsinden elde edilen veriler 1000 ile çarpılarak mV birimine dönüştürülmüştür.

Gerilim farkları, her hücre için BMU tarafından ölçülen değer ile ilgili referans ölçüm eşleştirilerek hesaplanmıştır. Bu çalışmada ölçüm sapmasının yönünden ziyade büyüklüğü değerlendirildiğinden, farklar mutlak değer ($|BMU - Referans|$) olarak ele alınmıştır. Böylece BMU ölçümünün referans değerin altında veya üstünde olmasından bağımsız olarak, ölçüm sapmasının büyüklüğü ve hücreler arasındaki değişkenlik doğrudan karşılaştırılabilmiştir.

Her çalışma koşulu ve gerilim algılama yöntemi için elde edilen mutlak fark değerlerinden ortalama (Ort.), standart sapma (Std.), minimum (Min.) ve maksimum (Maks.) değerler hesaplanmış; sonuçlar iki yöntem arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

BULGULAR

Bu bölümde öncelikle CCS tabanlı ve baralı bağlantı tabanlı hücre gerilim algılama yöntemlerine ait ölçüm sonuçları sunulmakta, ardından iki yöntem ortalama fark, standart sapma ve hücre bazındaki dağılım açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1. *CCS tabanlı gerilim algılama yönteminde bekleme, şarj ve deşarj koşullarına ait ölçüm sonuçlarının istatistiksel özeti*

Çalışma Koşulu	Ölçüm Noktası	Hücre Sayısı	Ort. (mV)	Std. (mV)	Min. (mV)	Maks. (mV)
Bekleme (0 A)	Kutup başı	52	3387,04	19,65	3355,0	3434,0
Bekleme (0 A)	BMU	52	3385,29	20,29	3350,0	3435,0
Bekleme (0 A)	|BMU – Kutup başı|	52	2,10	1,46	0,0	5,0
Şarj (157 A)	Kutup başı	52	3408,37	6,42	3400,0	3422,0
Şarj (157 A)	BMU	52	3410,38	7,25	3399,0	3428,0
Şarj (157 A)	|BMU – Kutup başı|	52	2,48	1,74	0,0	7,0
Deşarj (157 A)	Kutup başı	52	3241,23	1,32	3238,0	3244,0
Deşarj (157 A)	BMU	52	3235,21	2,61	3231,0	3246,0
Deşarj (157 A)	|BMU – Kutup başı|	52	6,21	1,83	3,0	10,0

Tablo 1 incelendiğinde, kutup başı ve BMU gerilim değerlerinin çalışma koşullarına bağlı olarak farklı dağılım özellikleri sergilediği görülmektedir. Bekleme koşulunda kutup başı gerilimleri 3355,0–3434,0 mV arasında değişmekte olup, hücreler arasında yaklaşık 79 mV'lik bir gerilim farkı bulunmaktadır. Bu geniş dağılımın, LFP hücrelerin bekleme durumundaki gerilim karakteristiği ile hücreler arasındaki başlangıç şarj durumu (SOC) farklılıklarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Buna karşılık, deşarj koşulunda kutup başı gerilimlerinin 3238,0–3244,0 mV aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, yüksek akım altında hücrelerin gerilim davranışlarının daha homojen hale gelmesiyle açıklanabilir.

Mutlak gerilim farkları incelendiğinde, ortalama sapmanın çalışma koşullarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bekleme koşulunda ortalama mutlak fark 2,10 mV (Std. 1,46 mV) ile en düşük seviyede gerçekleşirken, bu değer şarj

koşulunda 2,48 mV (Std. 1,74 mV), deşarj koşulunda ise 6,21 mV (Std. 1,83 mV) olarak belirlenmiştir. Minimum–maksimum fark aralıkları da benzer bir eğilim göstermiş; bekleme koşulunda 0,0–5,0 mV, şarj koşulunda 0,0–7,0 mV ve deşarj koşulunda 3,0–10,0 mV arasında değişmiştir. Deşarj koşulunda gözlenen en yüksek sapma değeri (10,0 mV), yüksek akımın algılama hattındaki temas dirençleri üzerinde oluşturduğu gerilim düşümüyle ilişkilendirilebilir. Genel olarak değerlendirildiğinde, CCS tabanlı gerilim algılama yönteminde tüm çalışma koşullarında ölçüm sapmaları düşük seviyelerde kalmış ve en yüksek sapma değeri 10 mV olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. *Baralı bağlantı tabanlı gerilim algılama yönteminde bekleme, şarj ve deşarj koşullarına ait ölçüm sonuçlarının istatistiksel özeti*

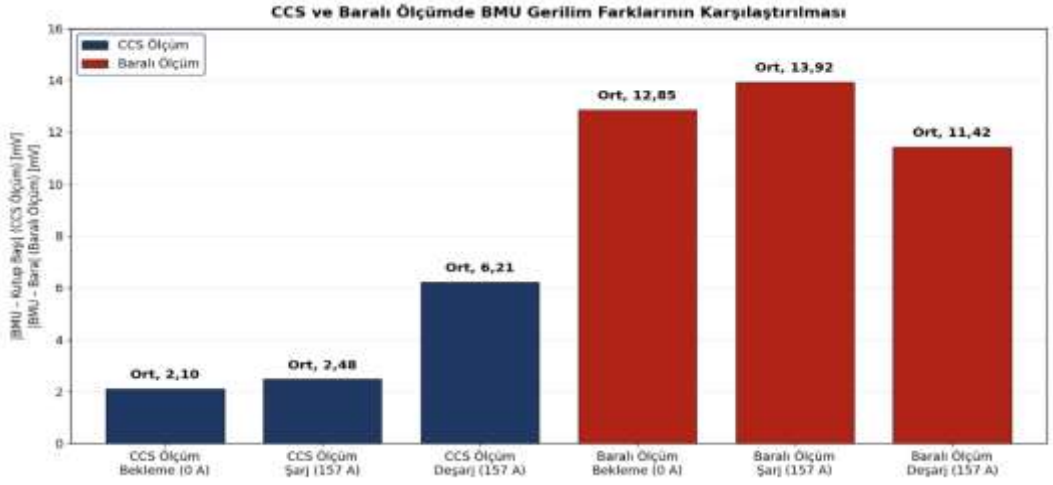
Çalışma Koşulu	Ölçüm Noktası	Hücre Sayısı	Ort. (mV)	Std. (mV)	Min. (mV)	Maks. (mV)
Bekleme (0 A)	Kutup başı	52	3159,17	37,31	3024,0	3208,0
Bekleme (0 A)	Bara	52	3159,17	37,31	3024,0	3208,0
Bekleme (0 A)	BMU	52	3164,17	43,53	3034,0	3237,0
Bekleme (0 A)	|BMU – Bara|	52	12,85	11,65	0,0	50,0
Şarj (157 A)	Kutup başı	52	3347,73	15,01	3296,0	3378,0
Şarj (157 A)	Bara	52	3365,44	16,09	3314,0	3389,0
Şarj (157 A)	BMU	52	3374,56	23,07	3319,0	3416,0
Şarj (157 A)	|BMU – Bara|	52	13,92	10,00	1,0	42,0
Deşarj (157 A)	Kutup başı	52	3140,06	32,07	3091,0	3196,0
Deşarj (157 A)	Bara	52	3121,29	30,55	3073,0	3174,0
Deşarj (157 A)	BMU	52	3128,71	36,72	3072,0	3201,0
Deşarj (157 A)	|BMU – Bara|	52	11,42	9,32	0,0	32,0

Tablo 2 incelendiğinde, bekleme koşulunda paketten akım çekilmediği için kutup başı ve bara gerilimlerinin aynı olduğu görülmektedir (Ort. 3159,17 mV). Bu durum, akımın bulunmadığı koşullarda bara bağlantı noktalarında ilave bir gerilim düşümü oluşmadığını göstermektedir. Yük altında ise kutup başı ve bara gerilimleri arasında belirgin farklılıklar gözlenmiştir. 157 A şarj koşulunda kutup başı gerilimi ortalama 3347,73 mV, bara gerilimi ise 3365,44 mV olarak ölçülmüştür. 157 A deşarj koşulunda ise kutup başı gerilimi ortalama 3140,06 mV, bara gerilimi 3121,29 mV olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, akım geçişiyle birlikte kutup başı ve bara arasında ölçülebilir bir gerilim farkı oluştuğunu göstermektedir.

Baralı bağlantı yönteminde mutlak gerilim farklarının ortalama değerleri; bekleme, şarj ve deşarj koşullarında sırasıyla 12,85 mV, 13,92 mV ve 11,42 mV olarak hesaplanırken, standart sapmalar sırasıyla 11,65 mV, 10,00 mV ve 9,32 mV

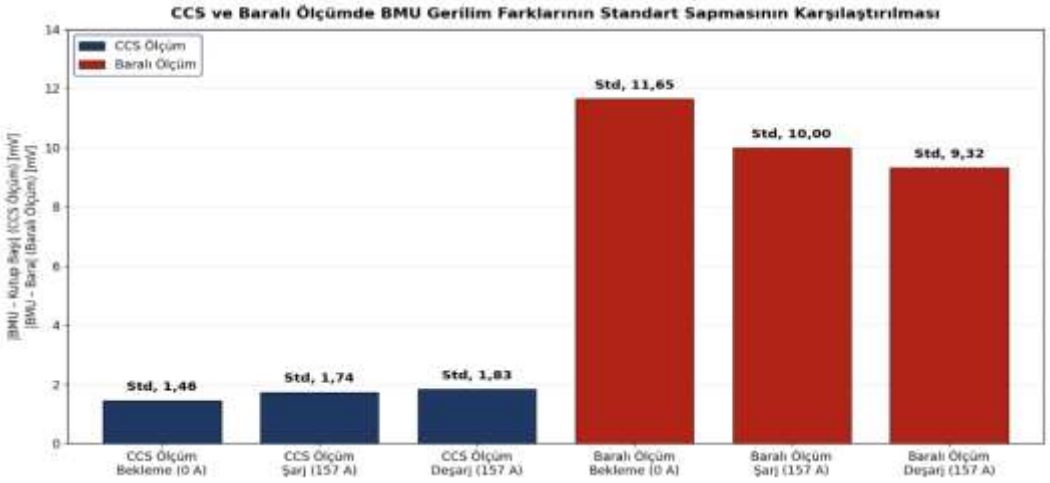
olarak belirlenmiştir. Mutlak fark değerleri bekleme koşulunda 0,0–50,0 mV, şarj koşulunda 1,0–42,0 mV ve deşarj koşulunda 0,0–32,0 mV aralığında değişmiştir. Bu sonuçlar, bazı hücrelerde BMU ile bara ölçümleri arasında belirgin sapmalar oluşabildiğini göstermektedir. Dikkat çekici olarak, en yüksek maksimum sapma değeri (50,0 mV) akım geçişinin olmadığı bekleme koşulunda gözlenmiştir. Bu bulgu, söz konusu sapmanın yalnızca akıma bağlı gerilim düşümünden değil, bağlantı noktalarındaki temas direncinin hücreler arasındaki değişkenliğinden de kaynaklanabileceğine işaret etmektedir.

Şekil 3. *CCS ve baralı bağlantı yöntemlerinde BMU gerilim farklarının ortalama değerleri*



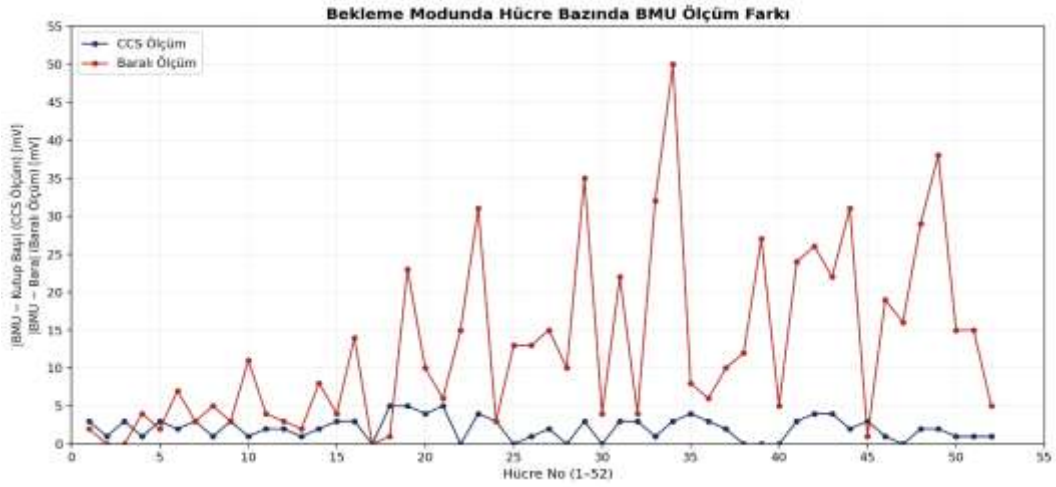
Şekil 3, altı test grubuna (CCS tabanlı ve baralı bağlantı tabanlı ölçüm yöntemlerinde bekleme, şarj ve deşarj koşulları) ait BMU ile referans ölçüm noktası arasındaki mutlak gerilim farklarının ortalama değerlerini göstermektedir. CCS tabanlı ölçümde referans nokta hücre kutup başı, baralı bağlantı yönteminde ise bara olarak alınmıştır. CCS tabanlı yöntemde ortalama mutlak gerilim farkı 2,10–6,21 mV aralığında değişirken, baralı bağlantı yönteminde bu değer 11,42–13,92 mV aralığında gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, baralı bağlantı yönteminde elde edilen ortalama gerilim farklarının CCS tabanlı yönteme kıyasla yaklaşık iki ila altı kat daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 4. *CCS ve baralı bağlantı yöntemlerinde BMU gerilim farklarının standart sapması*



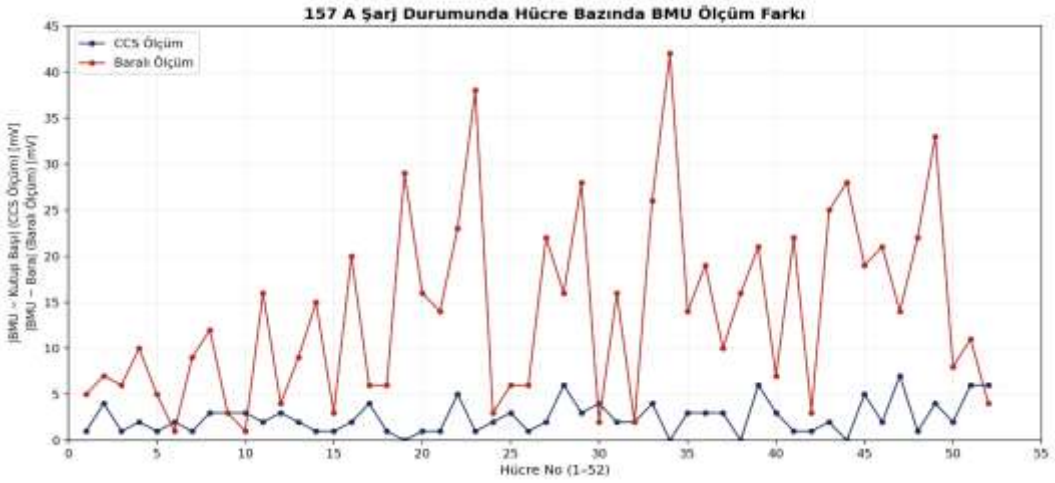
Şekil 4, CCS tabanlı ve baralı bağlantı tabanlı gerilim algılama yöntemlerinde mutlak gerilim farklarının standart sapmasını üç farklı çalışma koşulu için karşılaştırmalı olarak göstermektedir. CCS tabanlı yöntemde standart sapma tüm çalışma koşullarında düşük ve birbirine yakın değerler göstermiş; bekleme, şarj ve deşarj koşullarında sırasıyla 1,46 mV, 1,74 mV ve 1,83 mV olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, baralı bağlantı yönteminde standart sapma değerleri aynı çalışma koşulları için sırasıyla 11,65 mV, 10,00 mV ve 9,32 mV olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, CCS tabanlı gerilim algılama yönteminin hücreler arasında daha tutarlı ve düşük değişkenliğe sahip ölçümler sağladığını, baralı bağlantı yönteminde ise ölçüm farklarının hücre bazında daha geniş bir dağılım sergilediğini göstermektedir.

Şekil 5. *Bekleme koşulunda hücre bazında BMU gerilim farklarının karşılaştırılması*



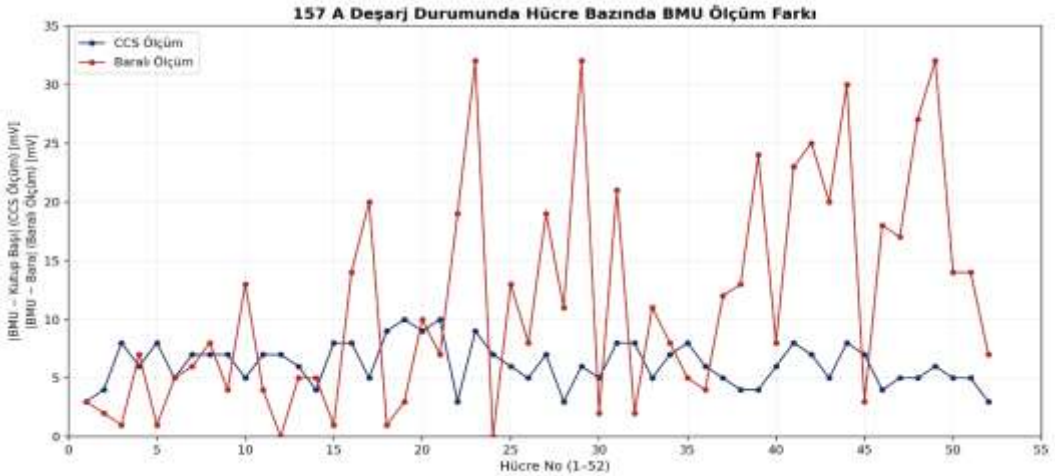
Şekil 5, bekleme koşulunda paketteki 52 hücrenin her biri için elde edilen mutlak gerilim farklarını göstermektedir. CCS tabanlı ölçümde mutlak gerilim farkları tüm hücrelerde yaklaşık 0–5 mV aralığında kalırken, baralı bağlantı yönteminde bu değerler daha geniş bir aralıkta dağılım göstermiş ve özellikle paketin ikinci yarısındaki bazı hücrelerde 30–50 mV seviyelerine ulaşmıştır. Gözlenen bu hücre bazlı farklılıkların, baralı bağlantı yönteminde algılama noktası ile hücre terminali arasında bulunan temas direncinin hücreler arasında değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Şekil 6. *157 A şarj koşulunda hücre bazında BMU gerilim farklarının karşılaştırılması*



Şekil 6, 157 A şarj koşulunda hücre bazında elde edilen mutlak gerilim farklarını göstermektedir. CCS tabanlı ölçümde mutlak gerilim farkları yaklaşık 0–7 mV aralığında kalmış ve hücreler arasında dar bir dağılım sergilemiştir. Buna karşılık, baralı bağlantı yönteminde fark değerleri daha geniş bir dağılım göstermiş ve birçok hücrede 20–42 mV seviyelerine ulaşmıştır. Şarj koşulunda CCS tabanlı yöntemin mutlak gerilim farklarının bekleme koşuluna benzer düzeylerde kaldığı, buna karşın baralı bağlantı yönteminde hücreler arasındaki değişkenliğin yüksek akımın etkisiyle arttığı görülmektedir.

Şekil 7. *157 A deşarj koşulunda hücre bazında BMU gerilim farklarının karşılaştırılması*



Şekil 7, 157 A deşarj koşulunda hücre bazında elde edilen mutlak gerilim farklarını göstermektedir. CCS tabanlı ölçümde mutlak gerilim farkları yaklaşık 3–10 mV aralığında gerçekleşmiştir. Bekleme koşuluna kıyasla gözlenen bu artışın, 157 A'lik yüksek akımın algılama hattındaki temas dirençleri üzerinde oluşturduğu gerilim düşümünden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Buna karşılık, baralı bağlantı yönteminde mutlak gerilim farkları daha geniş bir dağılım göstermiş ve birçok hücrede 20–32 mV seviyelerine ulaşmıştır. Bu bulgular, deşarj koşulunda da CCS tabanlı yöntemin hücreler arasında daha düşük ve daha tutarlı ölçüm farkları sağladığını göstermektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, 52 hücreli ve 314 Ah kapasiteli bir LFP batarya paketinde, CCS tabanlı gerilim algılama yöntemi ile baralı bağlantı yönteminin BMU gerilim ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisi, kalibreli Fluke 189 dijital multimetre ile her yöntemin kendi algılama noktasından alınan referans ölçümler esas alınarak deneysel olarak karşılaştırılmıştır. CCS tabanlı ölçümde ortalama mutlak gerilim farkı bekleme koşulunda 2,10 mV, şarj koşulunda 2,48 mV ve deşarj koşulunda 6,21 mV olarak belirlenmiş; tüm çalışma koşullarında maksimum sapma 10 mV ile sınırlı kalmıştır. Buna karşılık, baralı bağlantı yönteminde aynı çalışma koşullarındaki ortalama mutlak gerilim farkları sırasıyla 12,85 mV, 13,92 mV ve 11,42 mV olarak hesaplanmış, maksimum sapma ise 50 mV'ye ulaşmıştır.

Elde edilen bulgular, iki yöntem arasındaki farkın yalnızca ortalama sapma düzeyiyle sınırlı olmadığını, aynı zamanda ölçümlerin hücreler arası tutarlılığı açısından da belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. CCS tabanlı yöntemde standart sapma tüm çalışma koşullarında 1,46–1,83 mV aralığında kalırken, baralı bağlantı yönteminde bu değer 9,32–11,65 mV aralığında gerçekleşmiştir. Bu durum, baralı bağlantıda algılama noktası ile hücre terminali arasında bulunan cıvatalı ve basınçlı temas noktalarının dirençlerinin hücreden hücreye değişkenlik göstermesiyle açıklanabilir. Nitekim literatürde, bu tür bağlantılardaki temas direncinin yüzey durumu, sıkma torku ve malzeme özelliklerine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişebildiği bildirilmektedir (Braunovic, 2002; Risdiyanto vd., 2012). Bu

çalışmada elde edilen hücre bazındaki sapma dağılımları da söz konusu değişkenliğin paket düzeyinde ölçülebilir bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Baralı bağlantı yönteminde gözlenen kutup başı–bara gerilim farkının yönü akım yönüne bağlı olduğundan, bu bileşenin akım bilgisi kullanılarak yazılımsal olarak belirli ölçüde telafi edilebileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, en yüksek maksimum sapmanın akım geçişinin bulunmadığı bekleme koşulunda (50 mV) gözlenmiş olması, ölçüm sapmasının yalnızca akıma bağlı gerilim düşümüyle açıklanamayacağını göstermektedir. Bu nedenle, akım tabanlı telafi yöntemlerinin tek başına yeterli olmayacağı, bağlantı noktalarından kaynaklanan değişkenliğin ise algılama noktasının hücre terminaline mümkün olduğunca yaklaştırılmasıyla azaltılabileceği değerlendirilmektedir. Bu bulgu, hücreler arası bağlantı noktalarının paket düzeyindeki durum kestirimini zorlaştırdığına ilişkin literatürde yer alan çalışmalarla da uyumludur (Rüther vd., 2025).

Sonuç olarak, yüksek kapasiteli ve yüksek akımlı LFP batarya paketlerinde hücre terminaline yakın konumlandırılan CCS tabanlı gerilim algılama mimarisinin, hem ortalama mutlak gerilim farkı hem de hücreler arası ölçüm dağılımı açısından baralı bağlantı yöntemine göre daha kararlı ve öngörülebilir BMU gerilim ölçümleri sağladığı belirlenmiştir. Bu doğruluk düzeyi, güvenilir hücre gerilimi izleme, doğru SOC kestirimi ve etkin hücre dengeleme uygulamaları açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın tek bir batarya paketi ve tek bir CCS kartı üzerinde gerçekleştirilmiş olması ile deneylerin yalnızca 157 A akım seviyesinde yürütülmüş olması, bulguların genellenebilirliği açısından temel sınırlılıkları oluşturmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı kapasitelere sahip batarya paketleri ve birden fazla CCS kartı kullanılarak örneklem sayısının artırılması, deneylerin daha geniş bir akım aralığında tekrarlanması, sıcaklık ve çevrim yaşlanmasının bağlantı direnci üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve akım tabanlı bara direnci telafi yöntemlerinin BMU yazılımına entegre edilerek performanslarının doğrulanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Brand, M. J., Schmidt, P. A., Zaeh, M. F. ve Jossen, A. (2015). Welding techniques for battery cells and resulting electrical contact resistances. *Journal of Energy Storage, 1*, 7-14.

Braunovic, M. (2002). Effect of connection design on the contact resistance of high power overlapping bolted joints. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 25*(4), 642-650.

Jocher, P., Steinhardt, M., Ludwig, S., Schindler, M., Martin, J. ve Jossen, A. (2021). A novel measurement technique for parallel-connected lithium-ion cells with controllable interconnection resistance. *Journal of Power Sources, 503*, 230030.

Man, X.-C., Wu, L., Zhang, X., Ma, T. ve Jia, W. (2016). A high precision multi-cell battery voltage detecting circuit for battery management systems. *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* içinde. Nanjing, Çin.

Risdiyanto, A., Rachman, N. A. ve Arifin, M. (2012). Effect of contact pressure on the resistance contact value and temperature changes in copper busbar connection. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, 3*(2), 73-80.

Rüther, T., Hileman, W., Trimboli, M. S., Plett, G. L., Dubarry, M., Kumar, N., … Danzer, M. A. (2025). Battery pack states, properties, and characterization techniques beyond cell level. *Cell Reports Physical Science*, 102919.

Zhang, D., Couto, L. D., Drummond, R., Sripad, S. ve Viswanathan, V. (2021). Cell-level state of charge estimation for battery packs under minimal sensing. arXiv:2109.08332.

Machine Learning with Imbalanced Data for Predictive Maintenance: Effect of Sampling Methods on Failure Prediction Performance

Tohid YOUSEFI[1]

[1]tohid.yousefi@kapadokya.edu.tr; Cappadocia University, Faculty of Computer and Information Technologies, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, Nevsehir / Türkiye.

Orcid: 0000-0003-4288-8194

Özet

Kestirimci bakım sistemlerinde makine arızalarının nadir görülmesi, ciddi sınıf dengesizliğine neden olarak azınlık sınıfının tespit performansını düşürebilmektedir. Bu çalışmada, beş sınıf dengesizliği giderme stratejisi—örnekleme yapılmaması, Random Oversampling (ROS), Random Undersampling (RUS), SMOTE ve ADASYN—UCI AI4I 2020 veri seti üzerinde 18 farklı sınıflandırma yapılandırmasıyla karşılaştırılmıştır. Veri seti 10.000 örnek, %3,39 arıza oranı ve 28,50:1 dengesizlik oranı içermektedir. Toplam 90 model–örnekleme yapılandırması, tabakalı %70/%30 eğitim-test ayrımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Performans F1, MCC, ROC-AUC, PR-AUC, bootstrap güven aralıkları ve istatistiksel testlerle incelenmiştir. LightGBM+ROS en yüksek F1 skorunu (0,759), örnekleme yapılmayan Voting ise en yüksek MCC (0,755) ve ROC-AUC (0,981) değerlerini elde etmiştir. Örnekleme stratejileri arasında anlamlı performans farklılıkları bulunmuştur (Friedman, $p<0,001$; ANOVA, $p=0,011$) ve RUS, temel yöntem ile ROS'tan anlamlı derecede düşük performans göstermiştir. Bulgular, ROS ile boosting ve topluluk modellerinin dengesiz arıza tespitinde güçlü performans sunduklarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sınıf Dengesizliği, Dengesiz Veriler, Makine Öğrenimi, Kestirimci Bakım, Arıza Tespiti

Abstract

Predictive maintenance systems face severe class imbalance because machine failures are rare, often reducing minority-class detection performance. This study benchmarks five imbalance-handling strategies—no sampling, Random Oversampling (ROS), Random Undersampling (RUS), SMOTE, and ADASYN—across 18 supervised learning configurations on the UCI AI4I 2020 dataset (10,000 instances; 3.39% failures; 28.50:1 imbalance ratio). A total of 90 model–sampling configurations were evaluated using a stratified 70/30 train–test split. Performance was assessed using F1, MCC, ROC-AUC, PR-AUC, bootstrap confidence intervals, and statistical tests. LightGBM with ROS achieved the

highest F1 (0.759), while unsampled Voting obtained the highest MCC (0.755) and ROC-AUC (0.981). Sampling strategies showed significant performance differences (Friedman, $p < 0.001$; ANOVA, $p = 0.011$), with RUS performing significantly worse than baseline and ROS. Overall, the results demonstrate that sampling strategy substantially affects classifier performance, while ROS combined with boosting and ensemble models provides strong performance for imbalanced machine-failure detection.

Keywords: Class Imbalance, Imbalanced Data, Machine Learning, Predictive Maintenance, Failure Detection

INTRODUCTION

Unplanned equipment downtime is one of the costliest failure modes in modern manufacturing, and predictive maintenance (PdM)—forecasting an impending failure from operational sensor data before it occurs—has become a central strategy for reducing it (Zhu, Ran, Zhou, & Wen, 2019; Zonta et al., 2020). Framed as a supervised binary classification problem (failure vs. normal operation), PdM inherits a structural difficulty common to nearly all real-world fault-detection tasks: failures are, by definition, rare events. Class imbalance is particularly prevalent in manufacturing applications involving fault detection and predictive maintenance, where anomalous events are naturally much less frequent than normal operating conditions (de Giorgio, Cola, & Wang, 2023; Fathy, Jaber, & Brintrup, 2020). In the widely used UCI AI4I 2020 milling-machine dataset (Matzka, 2020) employed in this study, only 3.39% of 10,000 operating cycles end in failure, an imbalance ratio of 28.50:1. The AI4I 2020 dataset was introduced specifically as a predictive-maintenance dataset reflecting industrial conditions and contains 10,000 observations. Classifiers trained naively on such data tend to default to the majority class, achieving deceptively high accuracy while missing the failures that actually matter operationally. This tendency of conventional learning algorithms to favor the majority class under severe imbalance is a well-established problem in machine learning (He & Garcia, 2009).

Class imbalance is a pervasive and extensively studied obstacle across machine learning generally, spanning classical resampling, cost-sensitive learning, and deep long-tail learning strategies (W. Chen, Yang, Yu, Shi, & Chen, 2024; Rezvani & Wang, 2023). A substantial body of recent work has applied resampling—most prominently random oversampling (ROS), random undersampling (RUS), SMOTE (Chawla, Bowyer, Hall, & Kegelmeyer, 2002a), and ADASYN (He, Bai, Garcia, & Li, 2008)—to rebalance PdM training data prior to model fitting (Alnahhal, Tabash, Safi,

Al-Absy, & Mamadiyarov, 2026; Ghasemkhani, Kut, Birant, & Yilmaz, 2025; Mahale, Kolhar, & More, 2025; Trisatya & Haryoko, 2026). Resampling-based approaches remain among the most frequently investigated solutions to class imbalance in manufacturing applications . However, two limitations recur across this literature. First, many studies evaluate a small number of classifiers or use a single, fixed imbalance-handling method, leaving the model×sampling interaction largely unexplored. Second, statistical validation is frequently limited to point estimates without confidence intervals or significance testing, making it difficult to judge whether observed differences are genuine or sampling noise. The importance of using appropriate evaluation measures and statistically meaningful comparisons has also been emphasized in systematic studies of class imbalance in manufacturing (de Giorgio et al., 2023).

This paper addresses this gap through a controlled, large-scale benchmark that trains and evaluates 16 heterogeneous base classifiers plus two ensemble methods (Voting and Stacking) under five imbalance-handling conditions, for a total of 90 model×sampling configurations, all evaluated on a single untouched held-out test set with a common protocol, random seed, and evaluation-metric suite. Beyond reporting point performance, the study applies a battery of statistical tests (bootstrap confidence intervals, McNemar, Friedman–Nemenyi, one-way ANOVA with Tukey HSD, and Cohen's d) to determine which observed differences are statistically defensible.

The specific contributions of this paper are:

- A 90-configuration benchmark (16 base classifiers + Voting/Stacking ensembles × 5 sampling strategies) on AI4I 2020, substantially broader in model coverage than prior single- or few-model PdM imbalance studies.
- A comprehensive statistical validation protocol—1000-sample bootstrap 95% CIs, McNemar's test, Friedman–Nemenyi ranking, one-way ANOVA/Tukey HSD, and Cohen's d—that moves beyond point-estimate comparison to defensible significance claims.
- A systematic comparison of sampling strategies and ensemble methods to quantify their effects on machine-failure detection performance across heterogeneous classifiers.
- A comparative analysis identifying the model–sampling configurations that provide the strongest performance under the severe class imbalance present in the AI4I 2020 benchmark.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 reviews related work on imbalance handling in predictive maintenance and situates the present study against it. Section 3 details the sampling algorithms, evaluation protocol, and statistical tests. Section 4 reports the experimental results with all supporting figures and tables. Section 5 concludes with the main findings and directions for future work.

RELATED WORKS

Resampling for Imbalanced Data

Class imbalance is a fundamental problem in applied machine learning, especially when minority class samples are significantly underrepresented. To address this, resampling methods are widely employed as standard baselines. Chawla et al. (Chawla, Bowyer, Hall, & Kegelmeyer, 2002b) proposed SMOTE, which creates synthetic minority samples through interpolation between neighboring instances, while He et al. (He et al., 2008) developed ADASYN, an adaptive approach that focuses on harder-to-learn minority examples. Along with conventional random oversampling and undersampling, these techniques remain prevalent across various domains (W. Chen et al., 2024; Rezvani & Wang, 2023). Additional studies have evaluated their effectiveness in medical and industrial settings (Khushi et al., 2021), as well as their influence on boosting-based classifiers (Tanha, Abdi, Samadi, Razzaghi, & Asadpour, 2020). Overall, the literature establishes resampling as a reliable and essential benchmark for evaluating model performance when minority events are scarce.

AI4I-Specific Benchmarks

Several recent studies have specifically addressed class imbalance on the UCI AI4I 2020 predictive maintenance dataset (Matzka, 2020), offering comparative insights into the effectiveness of various resampling and algorithmic strategies. Trisatya and Haryoko (Trisatya & Haryoko, 2026) evaluated nine SMOTE-balanced classifiers within a unified preprocessing framework incorporating domain-engineered features such as mechanical power and thermal gradient. Their results indicated that Gradient Boosting achieved the highest F1-score (0.678), while Random Forest yielded the best ROC-AUC (0.977) under a class imbalance ratio of approximately 1:28. In a complementary study, Alnahhal et al. (Alnahhal et al., 2026) compared four imbalance treatments—namely, no handling, manual oversampling, selective oversampling, and class weighting—across five classifiers using a multiclass variant of the same dataset. Although

XGBoost without any imbalance mitigation attained the highest macro-F1 (0.842), it failed to correctly identify any instances of the rarest tool-wear-failure class (0% recall), underscoring the critical need to evaluate minority-class performance beyond aggregate metrics. Ghasemkhani et al. (Ghasemkhani et al., 2025) introduced the Balanced Hoeffding Tree Forest (BHTF), which integrates SMOTE with a Proximity-Driven Undersampling technique within a multi-label incremental learning framework, achieving 97.44% accuracy compared to an 88.94% baseline. Meanwhile, Mahale et al. (Mahale et al., 2025) explored SMOTE, cost-sensitive learning, and GAN-based augmentation on an imbalanced automotive maintenance dataset, reporting near-perfect F1-scores for narrowly defined engine-parameter subsets. Collectively, these findings highlight that reported performance is highly contingent upon dataset characteristics, feature engineering choices, and evaluation protocol design, necessitating careful interpretation when generalizing results across applications.

Research Gap

The reviewed literature reveals three principal limitations that motivate the present study. First, existing work predominantly evaluates a restricted set of classifiers or focuses on a single imbalance-handling strategy, offering limited insight into the interaction between sampling methods and classifier selection. Notably, direct comparisons encompassing heterogeneous gradient-boosting models, classical linear and probabilistic classifiers, and ensemble methods under a unified experimental framework remain scarce. Second, many studies rely on point estimates without accompanying statistical tests, leaving the significance and reliability of observed performance differences largely unexamined. Third, substantial heterogeneity exists across AI4I studies in terms of task formulation, model coverage, sampling strategies, and evaluation protocols, which complicates meaningful cross-study comparisons and hinders the generalizability of reported findings.

To address these gaps, the present study conducts a controlled and comprehensive benchmark on the binary AI4I 2020 failure-detection task. We evaluate 16 heterogeneous base classifiers alongside two ensemble approaches—Voting and Stacking—across five distinct imbalance-handling conditions, yielding a total of 90 model–sampling configurations. All configurations are assessed under a consistent experimental protocol using the same held-out test set, thereby enabling direct and fair comparisons among sampling strategies and classifier families. Furthermore, we employ

appropriate statistical analyses to evaluate both the significance and the effect size of observed performance differences, providing a more robust empirical foundation for drawing conclusions in imbalanced predictive maintenance settings.

METHODOLOGY

Sampling Strategy Formulations

The training set $D = \{(x_i, y_i)\}$ comprises a majority class C_{maj} (normal, $n = 6{,}763$) and a minority class C_{min} (failure, $n = 237$) following a stratified 70/30 split, yielding an imbalance ratio of approximately 28.5:1. To address this, we evaluate four resampling strategies alongside a no-sampling baseline, with all resampling applied exclusively to the training fold. Random Oversampling (ROS) balances class sizes by replicating minority instances with replacement until $|C'_{min}| = |C_{maj}|$, though this risks overfitting through exact duplication. Random Undersampling (RUS) subsamples the majority class without replacement to match the minority size, i.e., $|C'_{maj}| = |C_{min}|$, offering computational efficiency at the cost of discarding substantial majority-class information. SMOTE generates synthetic minority instances via linear interpolation between each minority sample x_i and a randomly selected neighbor from its k nearest minority-class counterparts ($k = 5$): $x_{syn} = x_i + \delta \cdot (x_{nn} - x_i),\ \delta \sim U(0, 1)$.

ADASYN extends SMOTE by adaptively allocating more synthetic samples to minority instances located in difficult regions, quantified by the local difficulty ratio $r_i = \Delta_i / k$, where Δ_i is the number of majority-class neighbors among the k nearest neighbors. This focuses generative effort near decision boundaries but may increase sensitivity to noise. The no-sampling condition serves as the baseline, while the held-out test set—comprising 2,898 normal and 102 failure instances—remains unaltered across all conditions to ensure consistent evaluation on the original 28.50:1 distribution.

Overall Pipeline Architecture

The experimental pipeline processes six operational features—Type, Air/Process temperature, Rotational speed, Torque, and Tool wear—alongside the binary failure label. Following preprocessing, the data undergo a stratified 70/30 train–test split, after which the training fold is subjected to each of the five sampling conditions. The model pool comprises 16 heterogeneous base classifiers spanning diverse algorithmic families: tree ensembles (Random Forest (Breiman, 2001), Extra Trees (Geurts, Ernst, & Wehenkel, 2006), Gradient Boosting (Friedman, 2001), AdaBoost (Freund & Schapire, 1996)), gradient-boosting frameworks (XGBoost (T. Chen et al., 2015), LightGBM (Ke et al., 2017), CatBoost

(Prokhorenkova, Gusev, Vorobev, Dorogush, & Gulin, 2018)), a decision tree, distance/kernel methods (KNN (Fix, 1985), SVM-RBF (Hearst, Dumais, Osuna, Platt, & Scholkopf, 1998)), linear/discriminant models (Logistic Regression (LaValley, 2008), Ridge (Hoerl & Kennard, 1970), LDA (Fisher, 1936), QDA (Smith, 1946)), a shallow MLP (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986), and Gaussian Naive Bayes (Langley, Iba, & Thompson, 1992). The three best-performing base classifiers under the no-sampling condition—Gradient Boosting, XGBoost, and LightGBM—are further combined into two ensemble configurations: a soft Voting classifier and a Stacking classifier with logistic regression as the meta-learner (Wolpert, 1992). Both ensembles are retrained under all five sampling conditions, yielding a total of 18 model configurations × 5 sampling conditions = 90 distinct model–sampling configurations evaluated under a unified protocol.

Advantages and Limitations of the Sampling Strategies

Each sampling strategy presents distinct trade-offs. ROS is straightforward and retains all majority-class information but risks overfitting through exact minority replication. RUS offers computational efficiency at the expense of discarding approximately 96.5% of majority-class observations (reducing the training set from 6,763 to 237 instances). SMOTE mitigates overfitting by generating interpolated synthetic samples, though it may produce instances near class boundaries that blur the decision surface. ADASYN adaptively focuses generation on locally difficult minority regions, potentially improving boundary discrimination while increasing vulnerability to noise. Rather than assuming universal superiority of any single method, we empirically evaluate all strategies across the complete 18-model configuration set.

Evaluation Framework and Statistical Analysis

To ensure comprehensive evaluation of the binary failure-detection task, we report a broad suite of metrics including Accuracy, Precision, Recall, F1-score, Matthews Correlation Coefficient (MCC), Cohen's Kappa, ROC-AUC, and PR-AUC alongside full confusion-matrix counts for every configuration. Given that the failure class constitutes only 3.39% of the dataset, accuracy alone is insufficient; following established recommendations (Chicco & Jurman, 2020), we adopt F1-score and MCC as the primary ranking criteria, with ROC-AUC and PR-AUC serving as complementary threshold-independent measures. All evaluations use a single stratified 70/30 train–test split (random_state=42), yielding a 3,000-instance test set (2,898 normal, 102 failure) that remains untouched across all 90 configurations, with resampling applied exclusively to the training fold while the test set retains its original 28.50:1 imbalance ratio. For

variance and significance characterization, we employ six complementary statistical procedures: bootstrap resampling for 95% confidence intervals, McNemar's test for paired prediction correctness, Wilcoxon signed-rank test for cross-validation F1 scores, Friedman test with Nemenyi post-hoc ranking across all model–sampling configurations (Demšar, 2006), one-way ANOVA with Tukey's HSD for sampling-strategy mean F1 differences, and Cohen's d as a standardized effect-size measure. Additionally, stratified five-fold cross-validation is performed for top-five configurations, and Youden's J statistic with F1-optimal operating points are derived from ROC and precision–recall curves for probabilistic classifiers.

RESULTS

Dataset Description and Preprocessing Outcomes

The AI4I 2020 predictive maintenance dataset (Matzka, 2020) comprises 10,000 operating cycles with six predictive features—machine Type, Air temperature, Process temperature, Rotational speed, Torque, and Tool wear—and a binary target variable indicating Machine failure. Among the 10,000 instances, 339 (3.39%) correspond to failure events while 9,661 (96.61%) represent normal operation, yielding a substantial class imbalance ratio of 28.50:1. The five failure-mode indicators provided in the original dataset (TWF, HDF, PWF, OSF, and RNF) were excluded from the predictive feature set, as they directly describe specific failure mechanisms whose logical combination corresponds to the Machine failure target; retaining them would therefore introduce information directly related to the target rather than independent operational predictors.

The UDI and Product ID variables were removed due to their non-operational nature, while the categorical Type variable was ordinally encoded as L=0, M=1, and H=2. The dataset was divided using a stratified 70/30 train–test split with random_state=42, yielding a training set of 7,000 instances (6,763 normal, 237 failure) and a held-out test set of 3,000 instances (2,898 normal, 102 failure). All resampling strategies—ROS, RUS, SMOTE, and ADASYN—were applied exclusively to the training fold, while the test set retained its original 28.50:1 class distribution throughout all experiments, ensuring consistent evaluation across all 90 model–sampling configurations. ROS and SMOTE balanced the training set by increasing the minority class to 6,763 instances, producing fully balanced sets of 13,526 observations; ADASYN generated 6,711 synthetic minority instances, yielding a near-balanced set of 13,474 observations. In contrast,

RUS reduced the majority class to 237 instances, resulting in only 474 training instances and discarding approximately 93% of the original training data, whereas oversampling approaches preserved complete majority-class information.

Main Findings and Comprehensive Evaluation

Across the 90 evaluated model–sampling configurations, LightGBM with random oversampling (ROS) achieved the highest observed F1-score of 0.759 (95% bootstrap CI [0.682, 0.820]), with corresponding MCC of 0.752, ROC-AUC of 0.981, recall of 0.726, and precision of 0.796. The VotingClassifier without sampling attained a closely comparable F1-score of 0.756 while achieving the highest MCC (0.755) and tying LightGBM/ROS for the highest ROC-AUC (0.981). These findings indicate that the preferred configuration is contingent upon the evaluation metric, as no single model consistently dominates across all performance criteria.

Among the sampling strategies, random undersampling (RUS) consistently produced the lowest F1-score across every classifier family, suggesting that aggressive removal of majority-class observations is detrimental to predictive performance in this highly imbalanced dataset, although the magnitude of this effect varies by model family. Table 1 presents the eight highest-performing configurations ranked by F1-score; notably, performance differences among the leading configurations are relatively modest, underscoring that model selection based on a single metric should be interpreted with caution.

Table 1. *Top-8 configurations ranked by F1-score among the 90 evaluated model–sampling combinations.*

	Model	Sampling	F1	MCC	ROC_AUC
1	LightGBM	ROS	0.759	0.752	0.981
2	VotingClassifier	None	0.756	0.755	0.981
3	StackingClassifier	ROS	0.746	0.742	0.974
4	StackingClassifier	None	0.744	0.744	0.981
5	VotingClassifier	ROS	0.744	0.735	0.973
6	GradientBoosting	None	0.729	0.727	0.981
7	XGBoost	ROS	0.728	0.719	0.979
8	XGBoost	None	0.723	0.724	0.974

Figure 1 presents the F1-scores obtained by all 18 classifiers under the five sampling conditions. Tree-based and boosting-based methods—including Random Forest, XGBoost, LightGBM, CatBoost, and Gradient Boosting—consistently achieved substantially higher F1-scores than linear and probabilistic models, the latter remaining below 0.4 across all sampling strategies. This pattern indicates that nonlinear model capacity is a critical factor for this failure-prediction task, whereas the effect of sampling varied considerably across classifier families.

Figure 2 summarizes F1, MCC, recall, precision, and ROC-AUC across the 18 classifiers for each sampling strategy. Among the four resampling approaches, ROS produced the highest average F1 and MCC, while RUS yielded the lowest overall performance. RUS exhibited relatively higher average recall but substantially lower precision, indicating a tendency toward more aggressive minority-class prediction. Conversely, the no-sampling condition produced the highest average precision, reflecting a more conservative prediction behavior.

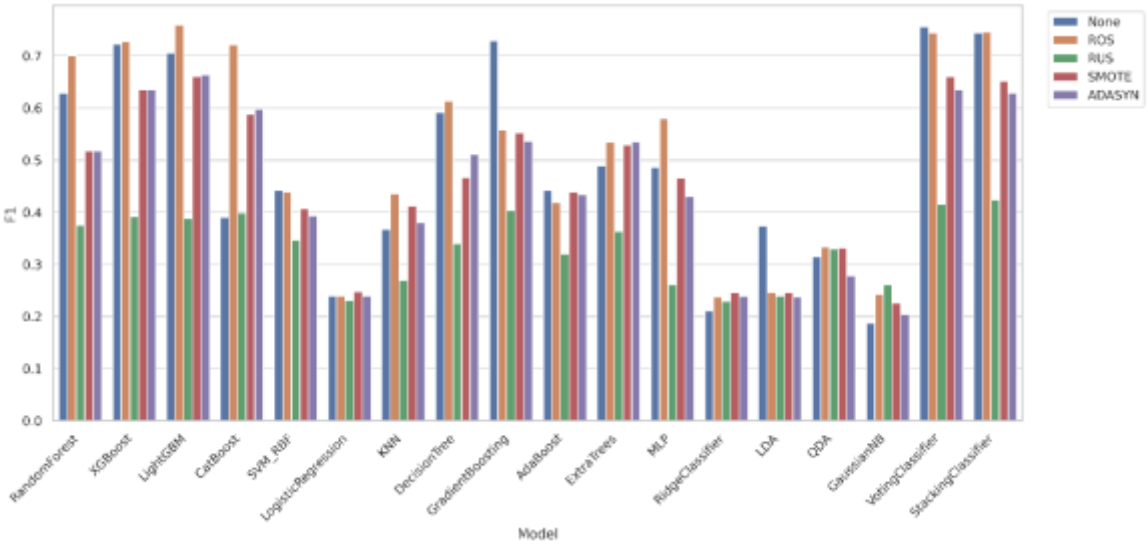


Figure 1. *F1-score across all 18 models and 5 sampling methods.*

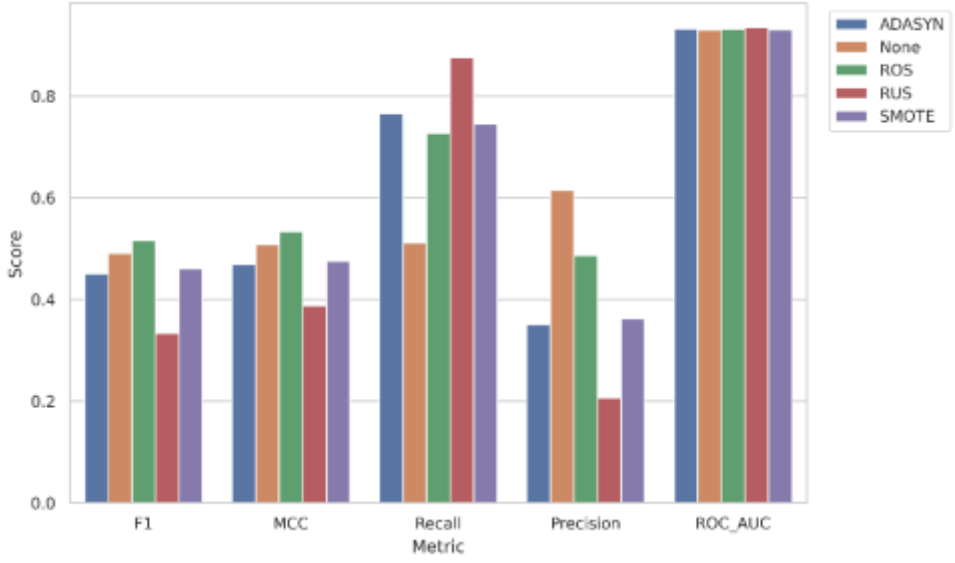


Figure 2. *Mean metric scores by sampling method, averaged over all 18 models.*

Statistical Analysis

Statistical analyses confirmed that observed performance differences were systematic. The Friedman test across all 18 classifier blocks revealed a significant overall effect on F1-score ($\chi^2 = 67.04$, $p < 0.001$). Tukey's HSD post-hoc

analysis identified significant differences between ROS and RUS (mean difference = −0.183, adjusted $p = 0.008$) and between the no-sampling condition and RUS (mean difference = −0.158, adjusted $p = 0.033$). No significant difference was observed between ROS and the no-sampling condition when averaged across all models, indicating that ROS's benefit is model-specific rather than universal. For LightGBM, McNemar's test confirmed a significant difference between ROS and no-sampling configurations ($\chi^2 = 8.00$, $p = 0.0029$), demonstrating that ROS provides a meaningful improvement for this particular classifier.

CONCLUSION

This study systematically evaluated five class-imbalance handling strategies across 18 classifier configurations for machine-failure detection using the AI4I 2020 dataset, which exhibits a severe class imbalance ratio of 28.50:1. LightGBM with Random Oversampling (ROS) achieved the highest F1-score (0.759), with MCC of 0.752 and ROC-AUC of 0.981. The unsampled Voting ensemble delivered comparable performance, attaining the highest MCC (0.755) and matching ROC-AUC of 0.981. These findings indicate that the optimal configuration is contingent upon the evaluation metric, with F1 and MCC providing more meaningful discrimination among top performers than ROC-AUC, for which most competitive configurations exceeded 0.95.

Among sampling strategies, Random Undersampling (RUS) consistently produced the weakest performance and was significantly inferior to both the no-sampling condition (Tukey's HSD, $p = 0.033$) and ROS ($p = 0.008$), a finding particularly relevant given that RUS discards approximately 93% of majority-class training samples. Overall, the results demonstrate that classifier selection and imbalance-handling strategy should be considered jointly rather than independently, with ROS offering a useful alternative to the unsampled baseline for F1-oriented failure detection. Future work will investigate cost-sensitive learning and explainability methods to bridge predictive performance with maintenance-oriented decision-making, and will extend the evaluation to other predictive-maintenance datasets with varying imbalance ratios and failure characteristics to assess the generalizability of these findings.

REFERENCES

Alnahhal, M., Tabash, M. I., Safi, S. K., Al-Absy, M. S. M., & Mamadiyarov, Z. (2026). A Comparative Study of Imbalance-Handling Methods in Multiclass Predictive Maintenance. Computation, 14(4), 88.

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine learning, 45, 5-32.

Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002a). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. Journal of artificial intelligence research.

Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002b). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. Journal of artificial intelligence research, 16, 321-357.

Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., & Chen, K. (2015). Xgboost: extreme gradient boosting. R package version 0.4-2, 1(4), 1-4.

Chen, W., Yang, K., Yu, Z., Shi, Y., & Chen, C. P. (2024). A survey on imbalanced learning: latest research, applications and future directions: W. Chen et al. Artificial intelligence review, 57(6), 137.

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC genomics, 21(1), 6.

de Giorgio, A., Cola, G., & Wang, L. (2023). Systematic review of class imbalance problems in manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 71, 620-644.

Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. Journal of Machine learning research, 7(Jan), 1-30.

Fathy, Y., Jaber, M., & Brintrup, A. (2020). Learning with imbalanced data in smart manufacturing: A comparative analysis. IEEE Access, 9, 2734-2757.

Fisher, R. A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. Annals of eugenics, 7(2), 179-188.

Fix, E. (1985). Discriminatory analysis: nonparametric discrimination, consistency properties (Vol. 1): USAF school of Aviation Medicine.

Freund, Y., & Schapire, R. E. (1996). Experiments with a new boosting algorithm. Paper presented at the icml.

Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. Annals of statistics, 1189-1232.

Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees. Machine learning, 63(1), 3-42.

Ghasemkhani, B., Kut, R. A., Birant, D., & Yilmaz, R. (2025). Balanced Hoeffding Tree Forest (BHTF): A novel multi-label classification with oversampling and undersampling techniques for failure mode diagnosis in predictive maintenance. Mathematics, 13(18), 3019.

He, H., Bai, Y., Garcia, E. A., & Li, S. (2008). ADASYN: Adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning. Paper presented at the 2008 IEEE international joint conference on neural networks (IEEE world congress on computational intelligence).

He, H., & Garcia, E. A. (2009). Learning from imbalanced data. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 21(9), 1263-1284.

Hearst, M. A., Dumais, S. T., Osuna, E., Platt, J., & Scholkopf, B. (1998). Support vector machines. IEEE Intelligent Systems and their applications, 13(4), 18-28.

Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. Technometrics, 12(1), 55-67.

Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., . . . Liu, T.-Y. (2017). Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree. Advances in neural information processing systems, 30, 3146–3154.

Khushi, M., Shaukat, K., Alam, T. M., Hameed, I. A., Uddin, S., Luo, S., . . . Reyes, M. C. (2021). A comparative performance analysis of data resampling methods on imbalance medical data. IEEE Access, 9, 109960-109975.

Langley, P., Iba, W., & Thompson, K. (1992). An analysis of Bayesian classifiers. Paper presented at the Aaai.

LaValley, M. P. (2008). Logistic regression. Circulation, 117(18), 2395-2399.

Mahale, Y., Kolhar, S., & More, A. S. (2025). Enhancing predictive maintenance in automotive industry: addressing class imbalance using advanced machine learning techniques. Discover Applied Sciences, 7(4), 340.

Matzka, S. (2020). Explainable artificial intelligence for predictive maintenance applications. Paper presented at the 2020 third international conference on artificial intelligence for industries (ai4i).

Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2018). CatBoost: unbiased boosting with categorical features. Advances in neural information processing systems, 31.

Rezvani, S., & Wang, X. (2023). A broad review on class imbalance learning techniques. Applied Soft Computing, 143, 110415.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323(6088), 533-536.

Smith, C. A. (1946). Some examples of discrimination. Annals of eugenics, 13(1), 272-282.

Tanha, J., Abdi, Y., Samadi, N., Razzaghi, N., & Asadpour, M. (2020). Boosting methods for multi-class imbalanced data classification: an experimental review. Journal of big data, 7(1), 70.

Trisatya, D., & Haryoko, P. (2026). Benchmarking Nine SMOTE-Balanced Classifiers Including Arti-ficial Neural Network for CNC Predictive Maintenance.

Wolpert, D. H. (1992). Stacked generalization. Neural Networks, 5(2), 241-259.

Zhu, T., Ran, Y., Zhou, X., & Wen, Y. (2019). A survey of predictive maintenance: Systems, purposes and approaches. arXiv preprint arXiv:1912.07383.

Zonta, T., Da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., De Lima, M. J., Da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, 150, 106889.

Buckling Behavior and Mass Optimization of Engine Connecting Rods with Geometric Cutouts: A Finite Element Study on 4140, Inconel 718 and Ti6Al4V

Burak Şahin

Aerospace Engineering Department, Faculty of Aeronautics and Aerospace, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Turkey

Abstract

Connecting rod which transfers force from piston to crank through its small and big end by converting reciprocating motion into rotary one is one of the main components of internal combustion engine. The increasing demand for lightweight, high-speed, high-performance and fuel-efficient internal combustion engines has stimulated extensive research focused on the structural optimization of this engine components such as connecting rod and piston. Critical buckling load and mass are important concerns for connecting rod. Finite element analyses were carried out for connecting rods made from 4140, Inconel 718 and Ti6AlV4 to estimate critical buckling load values. Several comparisons were presented for circular cutouts and material types. Connecting rod of Inconel 718 has higher buckling load whereas Ti6AlV4 one has lower mass. Rod made from 4140 have higher buckling load compared to titanium and lower mass compared to Inconel 718. Although Inconel 718 and 4140 have closer buckling load of 62.524 kN and 63.125 kN (highest) respectively (0.96% difference), mass values of them were obtained as 334.999 gr and 348.228 gr respectively for one cutout. The difference of 3.8% is due to higher density of Inconel 718. Lower mass is essential for automotive applications. But optimum mass and load carrying capacity can be selected for intended applications by taking mass and load into consideration at same time.

Keywords*: *Critical buckling load; Cutout, Connecting rod; Mass reduction; Finite element analysis

1. Introduction

An internal combustion engine comprises several primary components, including the cylinder, crankshaft, piston, and connecting rod given in Figure 1 [1]. Among these parts, the connecting rod as (Figure 2) serves as a critical mechanical component that transmits force from the piston to the crankshaft via its small and big ends by converting the piston's reciprocating motion into rotational motion [2]. The increasing demand for lightweight, high-speed, high-performance and fuel-efficient internal combustion engines has stimulated extensive research focused on the structural optimization of this engine components. The design and optimization of the connecting rod are of great importance due to its direct influence on engine efficiency, durability and performance. In addition, its mass and load bearing capacity significantly affect the dynamic behavior and fuel consumption of the engine. Therefore, reducing the mass of the connecting rod without compromising its structural integrity is essential for enhancing engine performance and achieving lower fuel consumption.

Numerous researchers have contributed to the optimization of connecting rods with a particular focus on mass reduction. This section of the paper reviews existing literature categorized under topics such as static structural design, mass minimization, topology optimization, buckling behavior and modal analysis. A wide range of studies [1-24] have been dedicated to reducing the mass of connecting rods through computational and experimental methods. Several authors (1, 2, 4–9, 12, 14, 21, 23) employed finite element analysis (FEA) to investigate the stress distribution and deformation characteristics of connecting rods fabricated from various materials, aiming to optimize their geometry and reduce their mass. Other studies (3, 11, 15–18, 20) focused on topology optimization techniques by exploring innovative geometrical design to achieve mass reduction without compromising mechanical strength.

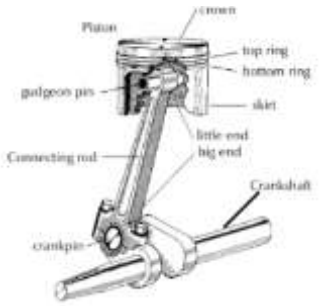


Figure 1. Assembly of Crank Shaft, Connecting Rod and Piston [1]

Figure 2. Connecting Rod [2]

Additionally, combined numerical and experimental approaches were reported in reference studies (13, 19) by providing validation for computational findings. Roy [1] analyzed connecting rod under different design load to determine deformation and stress. Andoko and Saputro [2] conducted finite element analyses for connecting rod of steel, aluminum and titanium alloys to determine stress, deformation, and safety factor under three different load values. Shanmugasundar et al. [3] carried out topology optimisation for connecting rod to decrease mass by modifying shank portion of connecting rod and evaluated static stresses for each case. Mahender et al. [4] conducted optimization and finite element analyses of connecting rod for different material types. Gopal et al. [5] performed finite element analyses for connecting rod, piston and crank shaft assembly to reduce mass of connecting rod. They stated that connecting rod made from titanium presented lower stress and strain value compared to Al 6061 one. Gopinath and Sushma [6] studied the effects of different materials (steel, aluminum and titanium) on static stress and mass reduction of connecting rod. Bhamdare [7] made finite element analyses for grey cast iron and forged steel to optimize connecting rod in terms of mass, stress, strain and deformation. It was claimed that mass reduction of 11% was obtained in the case of using forged steel. Muhammad et al. [8] performed optimization studies on steel, aluminum, magnesium and titanium alloys to evaluate stress distribution and deformation characteristics. The authors emphasized that both mass and design parameters have a direct impact on engine performance.

Sathish et al. [9] analyzed connecting rods made from different aluminum alloys (Al 2014, Al 6061 and Al 7075) to evaluate von misses stress, shear stress, stiffness and total deformation. It was stated that Al 2014-connecting rod has less mass whereas having large stress compared to other two alloys. Pathade and Ingole [10] carried out finite element analyses to determine location and values of stresses occur at connecting rod during engine operation. They found higher stress at small end of the rod (piston connection side) compared to big end. This was also verified by photoelasticity method Muhammad et al. [11] made finite element analyses to make design

optimization resulting in mass reduction of connecting rod for a diesel engine. Naik [12] made optimization of connecting rod for carbon steel, aluminum and aluminum boron carbide to obtain less mass rod. Author stated that almost 12% mass reduction was obtained. Desai et al. [13] measured strains under different tensile loads and then determined stress values. Some finite element analyses were also conducted and results were compared by authors. Chumbre et al. [14] made finite element analyses and compared stress, strain, deformation and factor of safety values with reference papers. In addition, analyses were carried out for different material types to reduce mass of connecting rod. Grover et al. [15] analyzed connecting rod for two different design load and determined stress, strain and deformation. They optimized the rod and obtained 3.0% mass reduction. Godara et al. [16] made analyses to reduce mass of connecting rod having I and H sections separately to increase engine efficiency. Mane et al. [17] aimed to optimize connecting rod made from forged steel and conducted finite element analyses. They claimed that 15% mass reduction was observed for optimized rod compared to the existing one. Samal et al. [18] made load analyses of connecting rods at different crank angles. Maximum stress was observed at 30-degree shaft angle and 11% mass reduction was obtained. Desai et al. [19] investigated the effects of compressive loads and stress for connecting rod under different loads numerically and experimentally. Valero-Páez et al. [20] made finite element analyses for I-section connecting rod to determine the static stresses at different crank angle positions.

Connecting rod is exposed to high compressive loads due to high pressure during combustion. This high compressive load can cause to buckling of connecting rod (Figure 3). There is another important concern is the hydrolock of engine which occurs in the case of excess amount of fuel-air mixture or water leakage into the combustion chamber. Hydrolock also results in buckling of connecting rod during unwanted insert into combustion chamber of cylinder.

Buckling of connecting rod was studied in reference studies of [21-22]. Modal analysis was performed in reference [23] and finite element analyses were conducted for buckling and modal modes in reference paper [24]. Pani et al. [21] investigated buckling load for connecting rod of a 645E3B engine for different materials (42CrMo4 and Al 2024-T6). Authors concluded that low buckling safety factor and piston lock due to high compression. Shank portion of connecting rod can be optimized to reduce mass. In reference study [22], first two buckling eigenmodes of connecting rod were determined by conducting finite element analyses (with 174,673 quadratic tetrahedral type C3D10 elements). Rafi and Rao [23] made static and modal analyses for steel and aluminum. Natural frequencies for several modes were determined for both material types. Stress, deformation and mass values were presented by authors [23]. Rezvani et al. [24] carried out experimental and finite element works for modal analysis to find the natural frequencies and mode shapes of connecting rod. Additionally, critical buckling loads for a connecting rod exposed to compressive loads were calculated in the case of hydrolock. They verified mode shapes obtained by finite element analysis are very similar to real case as a result of hydrolock. Safety factors for buckling are also close to each other for classical calculations and analyses.

In consideration of literature works, there is obviously good reason to investigate the mass reduction and buckling behavior of connecting rod by applying different cutouts. In this study, the effects of cutouts on mass reduction and critical buckling load were investigated. For this purpose, finite element analyses were conducted for different materials such as 4140 (42CrMoS4), Inconel 718 and Ti6AlV4.

Figure 3. Buckling of Engine Connecting Rod [2]

2. Materials and Methods

In this study, the influence of cutout geometries on the critical buckling behavior of engine connecting rods was investigated through finite element analysis (FEA). Three distinct engineering materials commonly employed in high-performance applications were selected for analysis: 4140 alloy steel, Inconel 718 and Ti6AlV4. The mechanical properties of these materials including Young's modulus, density, yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS) are listed in Table 1.

Prior to the buckling analysis of the connecting rod model, a preliminary study was conducted on a simplified beam representing the rod's shank region without its small and big ends to determine the critical buckling loads under axial compression. Loading and boundary loading conditions for fixed-fixed and fixed-free are presented in Figure 4 and 5 respectively. The results for critical buckling load were determined both analytically and numerically for fixed-fixed and fixed-free boundary conditions as presented in Table 2.

Table 1. Material Properties

	4140	Inconel 718	Ti6Al V4
Elastic mod. (GPa)	208.0	210.0	115.5
Density (kg/m^3)	7850	8160	4430
YS (MPa)	1290	1610	1118
UTS (MPa)	1325	1358	1223

Table 2. Critical Buckling Load Values of Beam for Different Boundary Conditions

	Numerical (kN)	Theoretical (kN)	Diff. %
fix-free	28.5798	28.698	-0.413
fix-fix	457.2772	450.470	1.488

Additionally, after observing good agreement between results of theoretical calculations and finite element analyses confirming the accuracy of the modeling approach, connecting rod model was prepared with dimensions of 20 mm width, 10 mm depth and 173 mm overall length (Figure 6). Buckling analyses of the connecting rod with circular cutouts were performed by constraining the big end (piston side) and applying an axial compressive load at the small end (crank side). A linear eigenvalue buckling analysis was conducted in ANSYS Workbench to determine critical buckling loads (of 1st mode).

The effects of introducing circular cutouts on the structural performance were evaluated by applying different cutout configurations of single (Figure 7), double (Figure 8) and triple (Figure 9) at various positions along the shank of the rod. These configurations are denoted as P1 through P7 corresponding to different cutout locations (fixed side, center, loaded side and combinations).

3. Results and Discussion

The buckling load was evaluated using finite element analysis and corresponding mass of connecting rods introducing circular cutouts were determined for three distinct material types. The effect of cutout location on buckling performance was evaluated for single cutout case.

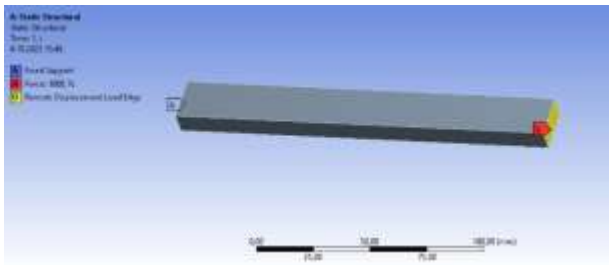


Figure 4. Boundary and Loading Conditions for Buckling (fixed- fixed)

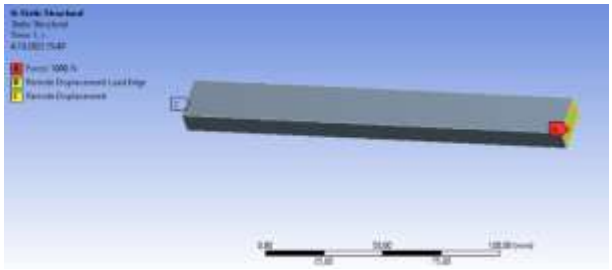


Figure 5. Boundary and Loading Conditions for Buckling (fixed-free)

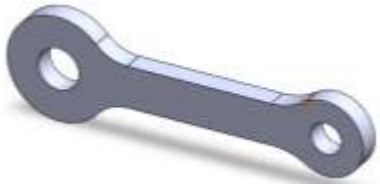


Figure 6. Connecting Rod Model

P1

P2

P3

Figure 7. Connecting Rod with Single Circular Cutout at Different Positions (P1, P2 and P3)***By keeping cutout number constant, the effects of cutout positions on buckling load were analyzed. Firstly, rod model having single circular cutout was analyzed for different locations at fixed side (P1), at center (P2) and at loaded side (P3) (Figure 7).***

As expected, P3 has higher buckling load value (62.524 kN) compared to P1 and P2. The lowest value was obtained for P1 (57.617 kN). This result is consistent because material removal at a position which is close to fixed side of connecting rod weakens rod at fixed side and yields in lower buckling load value (Figure 10). In addition, double circular cutouts were applied to connecting rod at positions of P4, P5 and P6 for center and fixed sides, center and loaded side, loaded and fixed sides respectively (Figure 8). In this case, highest value of critical buckling load (58.555 kN) was obtained for P5 whereas lowest one (54.287 kN) belongs to P4 (Figure 11). This result is expected because of opening cutouts at different positions on rod such as far from and close to fixed sides (center-loaded side and center-fixed side) affects load bearing capacity.

Furthermore, connecting rod model with triple circular cutouts (Figure 9) was analyzed to determine critical buckling load. Results for all cases (single, double and triple) were presented together in Figure 12. Depending on material removal by opening cutout, mass of connecting rod was reduced compared to solid one (without cutout) as shown in Figure 13. Mass reduction of connecting rod with single, double and triple circular cutouts are 1.1642%, 2.3283% and 3.4925% respectively compared to connecting rod without cutout (WC) for 4140.

Reductions of critical buckling loads are 9.82 kN, 6.46 kN, 2.14 kN, 15.03 kN, 8.36 kN, 11.51 kN and 16.55 kN for P1, P2, P3, P4, P5, P6 and P7 respectively compared to connecting rod without cutout (WC). More or less, there are reductions in massand buckling load of connecting rod by depending on material removal because of cutout opening.

Figure 8. Connecting Rod with Double Circular Cutouts at Different Positions (P4, P5 and P6)

Figure 9: Cutout Positions for Triple Circular Cutouts (P7)

The critical buckling load values for Inconel 718 and Ti6Al4V are presented in Figures 14 and 15 respectively. As expected, the highest buckling load was consistently recorded for the solid (without cutout) connecting rod model, regardless of the material used (Figure 16).

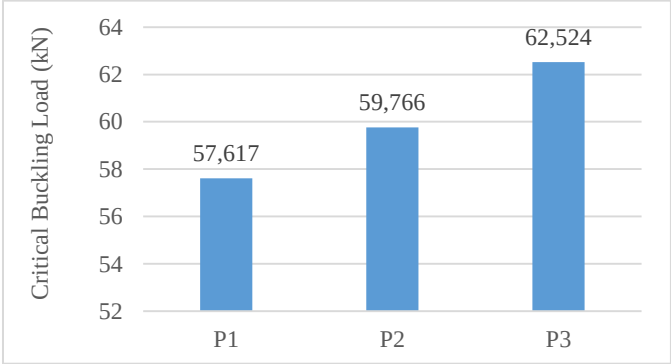


Figure 10. Critical Buckling Load of Connecting Rod with Single Circular Cutout for 4140

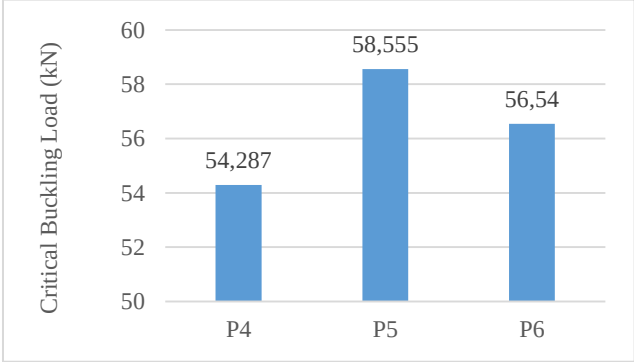


Figure 11. Critical Buckling Load of Connecting Rod with Double Circular Cutouts for 4140

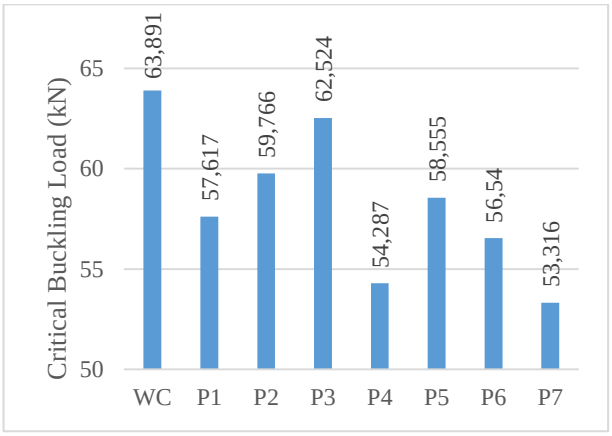


Figure 12. Critical Buckling Loads of Connecting Rod with Cutouts for 4140

This trend is consistently observed for all three materials examined emphasizing the detrimental impact of cutouts on structural stability under compressive loading. The presence of geometric discontinuities reduces the cross-sectional area, the load bearing capability and introduces local stress concentrations thereby decreasing the rod's overall resistance to buckling. In terms of mass, the connecting rod without cutout exhibits the highest mass among all configurations. The other cases include cutout configurations categorized as single cutout (P1, P2, P3) and double cutout (P4, P5, P6) designs. Within each group, the mass remains constant across different configurations because the cutouts were designed to remove an equivalent cross-sectional area. The only variation lies in the location of the cutouts, the effect of which was systematically investigated throughout the study. Due to its higher material density, Inconel 718 consistently results in greater mass compared to 4140 steel and Ti6Al4V, despite identical material removal by circular cutouts of equivalent area (Figure 17). This highlights the significant influence of material density on overall component mass, even when geometric modifications are standardized. Buckling load values of circular cutout cases are given for three material types together in Figure 16. When results were compared, highest critical buckling load values were obtained for Inconel 718 for all cases (P1-P6) due its superior material properties. Between three material types, titanium has lowest critical buckling loads. This can have negative effect under working conditions of higher compressive loads. But connecting rod made from titanium has lower weight compared to 4140 and Inconel 718 (Figure 17).

3. Conclusions

In this study, the effects of circular cutouts on the critical buckling load and mass reduction of engine connecting rods manufactured from three different materials of 4140 steel, Inconel 718 and Ti6Al4V were investigated. Finite element analyses were conducted to evaluate the influence of presence, number and position of cutout on the structural performance under compressive loading. The results demonstrated that the solid (without cutout) connecting rod exhibited the highest critical buckling load due to its uninterrupted geometry and maximum load-bearing capacity regardless of material type. Among the single cutout configurations, placing the cutout near the loaded end (P3) yielded better buckling resistance compared to locations closer to the fixed end (P1) which exhibited the lowest performance due to localized structural weakening. For double and triple cutouts, the configuration P5 (center–loaded side) provided the best compromise between mass

reduction and buckling resistance. Material selection was found to play a significant role in rod performance for critical buckling load. Inconel 718 showed the highest critical buckling loads in all configurations owing to its superior mechanical properties, despite having a higher mass. Ti6Al4V offered the lightest configuration, making it attractive for applications where weight minimization is critical, even though its lower buckling resistance. 4140 alloy steel demonstrated a balanced behavior with moderate mass and buckling strength, suggesting its suitability for cost-effective yet structurally efficient designs. Overall, the findings confirm that both cutout positioning and material selection are key parameters in the structural optimization of connecting rods. These insights can guide the development of lightweight, high-performance components in automotive applications where buckling resistance under compressive loading is a critical design requirement.

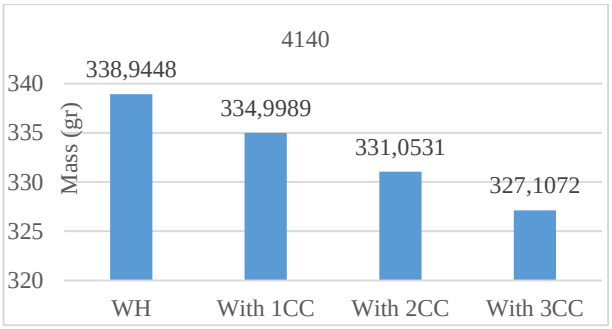


Figure 13: Mass of Connecting Rod with Circular Cutouts for 4140

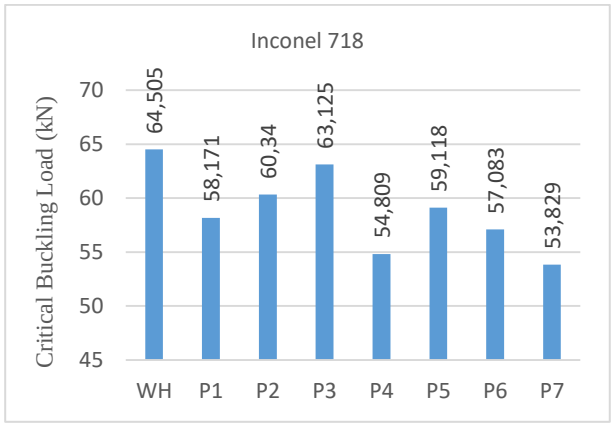


Figure 14. Critical Buckling Loads of Connecting Rod with Circular Cutouts for Inconel 718

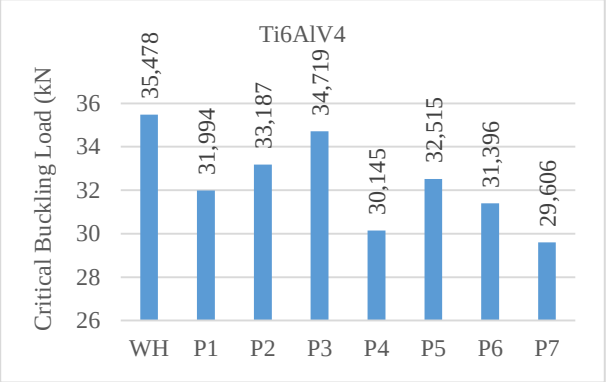


Figure 15. Critical Buckling Loads of Connecting Rod with Circular Cutouts for Ti6AlV4

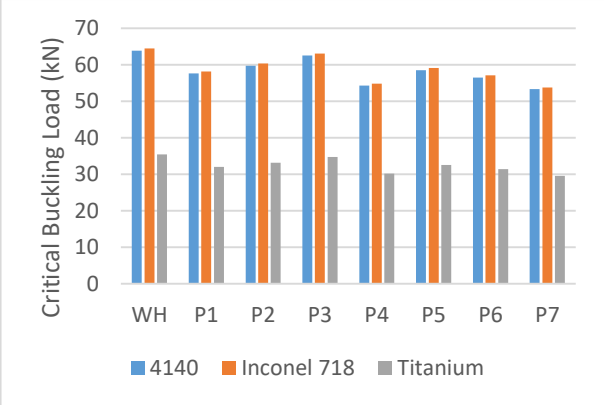


Figure 16. Critical Buckling Loads of Connecting Rod with Circular Cutouts for 4140, Inconel 718 and Ti6AlV4

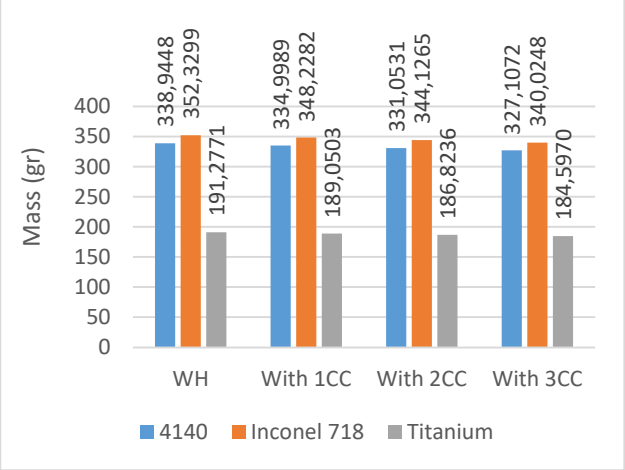


Figure 17. Mass of Connecting Rod with Circular Cutouts for 4140, Inconel 718 and Ti6AlV4

Conflict of Interest Statement

The author must declare that there is no conflict of interest in the study.

References

[1]. Roy B. Design Analysis and optimization of various parameters of connecting rod using CAE softwares. International Journal of New Innovations in Engineering and Technology. 2012;1(1):52-63.

[2]. Saputro NE, Strength analysis of connecting rods with pistons using finite element method. MATEC Web of Conferences; 2018: EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/matecconf/201820407009

[3]. Shanmugasundar G, Dharanidharan M, Vishwa D, Kumar AS. Design, analysis and topology optimization of connecting rod. Materials Today: Proceedings.2021;46:3430-8. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.778

[4]. Mula Mahender CV, G Radhakrishna, K Jagadeeshwar Raju, M Shiva, T Teja. Analysis and Optimization of Connecting Rod with Different Materials. IJARIIE. 2022;8(4):435-53.

[5]. Gopal G, Kumar LS, Reddy KVB, Rao MUM, Srinivasulu G. Analysis of Piston, Connecting rod and Crank shaft assembly. Materials Today: Proceedings.2017;4(8):7810-9. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.116

[6]. Gopinath D, Sushma CV. Design and optimization of four wheeler connecting rod using finite element analysis. Materials Today: Proceedings. 2015;2(4-5):2291-9. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.267

[7]. Bhamdare A, Atulkar A, Porwal R. Design, static structural analysis and topology optimization of a four wheeler connecting rod. Materials Today: Proceedings. 2022;66:829-33. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.430

[8]. Muhammad A, Ali M, Shanono I, editors. Finite Element Analysis of a connecting rod in ANSYS: An overview. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2020: IOP Publishing.

[9]. Sathish T, Kumar SD, Karthick S. Modelling and analysis of different connecting rod material through finite element route. Materials Today: Proceedings. 2020;21:971-5. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.139

[10]. Pathade VC, Ingole DS. Stress analysis of IC engine connecting rod by FEM and photoelasticity. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2013;6(1):117-25.

[11]. Muhammad A, Ali MA, Shanono IH. Design optimization of a diesel connecting rod. Materials Today: Proceedings. 2020;22:1600-9. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.122

[12]. Naik MSA. Design & shape optimization of connecting rod using FEA: a review. Int J Eng Techn Res (IJETR). 2014;2(8):95-100.

[13]. Desai F, Deshpande A, Jagtap K. Comparative Study of Connecting Rod Using FEA and Experimental Analysis. IJLTEMAS. vol III, no. 2014;7:45-9.

[14]. Chumbre V, Kallannavar V, Shirahatti A, Patil R, Kerur SM. Design and Comparative Analysis of Connecting Rod using Finite Element Analysis. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2018;6:765-73.

[15]. Grover K, Budania B. Optimization of connecting rod parameters using CAE tools. IJLTET. 2012;3:1-7.

[16]. Godara S, Brenia V, Soni AK, Shekhawat RS, Saxena K. Design & analysis of connecting rod using ANSYS software. Materials Today: Proceedings. 2022;56:1896-903. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.166

[17]. Mane A, Date D, Patel A. Finite element analysis and design optimization of connecting rod. International Journal of Engineering Research and Applications. 2016;6(7):64-8.

[18]. Samal PK, Murali B, Pasha T, editors. Finite element analysis of connecting rod of IC engine. MATEC Web of Conferences; 2015: EDP Sciences.

[19]. Desai F, Jagtap K, Deshpande A. Numerical and experimental analysis of connecting rod. International Journal of Emerging Engineering Research and Technology (IJEERT). 2014;2(4):242-9.

[20]. Valero-Páez L, Chacón-Velasco J, González-Estrada O, editors. Optimization of the connecting rod of a two-stroke engine using finite element analysis. Journal of Physics: Conference Series; 2019: IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1386/1/012114

[21]. Pani AR, Patel RK, Ghosh GK. Buckling analysis and material selection of connecting rod to avoid hydro-lock failure. Materials Today: Proceedings. 2020;27:2121-6. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.079

[22]. Sánchez AER. Determination of the Side and Front-rear Buckling Loads for a Connecting-rod. order. 2017;6(2). DOI:10.15680/IJIRSET.2017.0602003

[23]. Shaik Rafi NANR. Design and Numerical Analysis of Connecting Rod with Different Materials. International Journal of Research Publication and Reviews. 2023;4(1):2133-42.

[24]. Rezvani M, Javanmardi D, Mostaghim P. Diagnosis of EMD645 diesel engine connection rod failure through modal testing and finite element modeling. Engineering Failure Analysis. 2018;92:50-60. https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2018.05.005

Karaçam (pinus nigra arnold subsp. Pallasiana (lamb.) Holmboe)'ın Farklı Yetişme Ortamlarındaki Gelişimi Üzerine Değerlendirmeler (Kastamonu Pınarbaşı ve Samatlar Örneği)

***Halil Emre BÜYÜKÇALIK*[1], Cumhur GÜNGÖROĞLU [2]**

[1]E-mail: bykclkhalil@gmail.com ; Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Lisansüstü Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük/ Türkiye.
[2]E-mail: cumhurgungoroglu@karabuk.edu.tr ; Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Lisansüstü Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük/ Türkiye.

Özet

Bu çalışmada Pınarbaşı Orman İşletme Müdürlüğü ve Samatlar Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde kalan saf karaçam ormanlarının yetişme ortamına bağlı artıma dayalı gelişmeleri incelenmiştir. Karaçam ormanları Türkiye'de genellikle dağlık sahalarda yayılışta bulunmaktadır. Bu nedenle karaçamın düşey dağılışı önemli görülerek, pek çok çalışmaya konu olmuştur. Karaçam ormanlarının yöresel yayılışı genel mıntıka özelliklerinin etkisi altındadır. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde deniz seviyesine yaklaşırken, Bilhassa Akdeniz ve Ege Bölgesi'nde daha yükseklerde orman kurmaktadır. İç Anadolu'da karaçamın yayılışı ise bölgenin genel olarak yüksek olması nedeniyle dağ kütlelerinin içe bakan alanlarında bulunmaktadır. Karaçam genellikle Türkiye'de 300-2000 m arasında orman oluşturabilmektedir. Karaçamın Anadolu coğrafyasındaki yayılışında yükselti ve denize olan uzaklığına bağlı farklılıklar oluşmasından dolayı çeşitli araştırmalarda bu konuda incelemeler önemli yer tutmuştur. Bu çalışmanın amacı karaçamın Türkiye'deki yayılış alanı özelliklerine katkıda bulunmaktır. Bu çalışma farklı yükselti basamaklarında 22 adet örnekleme alanında çap ve boy gelişimleri ölçülmüştür. Her bir örnek alandan alınan artım kalemlerinin yıllara göre bahar ve yaz odunu kalınlıkları ölçülmüştür. Analizler sonucunda farklı yükselti basamakları arasındaki bahar ve yaz odunu kalınlıkları arasında farklılıklara rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, Kastamonu ,Yetişme Ortamı

Abstract

This study examines the habitat-dependent development of pure black pine forests within the boundaries of Pınarbaşı Forest Management Directorate and Samatlar Forest Management Directorate. Black pine forests are generally found in mountainous areas in Turkey. Therefore, the vertical distribution of black pine is considered important and has been the subject of many studies. The regional distribution of black pine forests is influenced by general regional characteristics. While they approach sea level in the Black Sea and Marmara regions, they form forests at higher altitudes, especially in the Mediterranean and Aegean regions. In Central Anatolia, the distribution of black pine is found in the inland areas of mountain ranges due to the generally high altitude of the region. Black pine generally forms forests between 300-2000 m in Turkey. Due to the differences in the distribution of black pine in the Anatolian geography depending on altitude and distance from the sea, studies on this subject have played an important role in various researches. The aim of this study is to contribute to the understanding of the distribution area characteristics of black pine in Turkey. In this study, diameter and length growth were measured in 22 sampling areas at different altitude levels. The thickness of the increment cuttings taken from each sampling area was measured in spring and summer according to the years. As a result of the analyses, differences were found in the spring and summer wood thicknesses between different altitude levels.

Türkçe özetle uyumlu olacak şekilde çalışmanızı özetleyiniz.

Keywords: Black Pine, Kastamonu, Site Conditions

GİRİŞ

Doğal karaçam ormanları Avrupa'da geniş sahalarda bulunmakla birlikte yayılışını en fazla Türkiye'de yapmaktadır (Enescu vd. 2016). Son resmi verilere göre Türkiye'de karaçamın yayılış alanı 4.199.623 ha olup, saha dağılımı bakımından (meşe türlerinin toplam alanı hariç) ülke yüzölçümünün % 18,31 ile kızılçamın ardından en yüksek yayılışa sahip 2. ağaç türüdür (Orman Genel Müdürlüğü, 2020). Bu açıdan karaçam ormanları hem ormancılık hem de bilimsel araştırmalar bakımından ülkemiz için önemlidir.

Karaçam ormanları Türkiye'de genellikle dağlık sahalarda yayılışta bulunmaktadır. Bu nedenle karaçamın düşey dağılışı önemli görülerek, pek çok çalışmaya konu olmuştur (Eruz, 1984; Özkan vd. 2008; Tecimen ve Sevgi, 2010; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2010; Tecimen vd. 2012). Karaçam ormanlarının yöresel yayılışı genel mıntıka özelliklerinin etkisi altındadır. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde deniz seviyesine yaklaşırken, Bilhassa Akdeniz ve Ege Bölgesi'nde daha yükseklerde orman kurmaktadır. İç Anadolu'da karaçamın yayılışı ise bölgenin genel olarak yüksek olması nedeniyle dağ kütlelerinin içe bakan alanlarında bulunmaktadır. Karaçam genellikle Türkiye'de 300-2000 m arasında orman oluşturabilmektedir (Sevgi ve Tecimen, 2007). Karaçamın Anadolu coğrafyasındaki yayılışında yükselti ve denize olan uzaklığına bağlı farklılıklar oluşmasından dolayı çeşitli araştırmalarda bu konuda incelemeler önemli yer tutmuştur. Marmara bölgesinde Kaz Dağları'nın kuzeyli bakılarında 300 m'den 1600 m'ye kadar saf ve karışık meşcereler kurarken (Sevgi ve Tecimen, 2007), bu dağın güneyli bakılarında 800 m'den yayılışa başlamakta (Özel, 1999), Uludağ'da ise 900-1720 m arasında orman kurmakta ve karışıma girmektedir (Mayer ve Aksoy, 1998). Aynı bölgede yer alan Alaçam Dağları'nda karaçam 300 ile 2000 m arasında saf ormanlar kurduğu belirlenmiştir (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2010). Eskişehir Sündiken Dağları'nın kuzey bakılarında 400 ile 1700 m arasında güney bakılarında ise 900 ile 1700 m arasında yayılışı tespit edilmiştir (Çelik, 2006). Kuzey Anadolu'nun Doğu Karadeniz Bölgesi hariç diğer yörelerinde örneğin Karabük Keltepe Dağı'nda yaklaşık 600–1200 m yükseklikler arasında geniş sahalarda saf meşcereler kurmakta (Güngöroğlu, 2022; Doğru ve Güngöroğlu, 2021), Ilgaz Dağı'nın güney bakılarında 900-2000 m arasında ve kuzey bakılarında ise 900-1400 m arasında karışıma girmektedir (Mayer ve Aksoy, 1998). Ege Bölgesi'nde ise örn. Denizli Acıpayam'da karaçam karışık meşcereler halinde kızılçam, ardıç, sedir ile 800-1200 m karışık meşcereler kurmaktadır (Afacan, 1985). Antalya'nın Çakırlar havzası Üçoluk ve Hisarçandır mahallelerinin doğusunda 1400-1600 m'lerde silisli ve kalkerli dağlık alanlarda denize en yakın mevkiide yayılışa sahiptir (Güngöroğlu vd. 2018). Köprülü Kanyon Milli Parkı'nda farklı anakayalar üzerinde ve deniz etkisine

bağlı olarak farklı yükselti basamaklarında saf ya da sedir, Toros göknarı, kızılçam ve ardıç türleriyle karışık vejetasyon tipleri (Ayaşlıgil, 1987) ve orman biyotopları kurmaktadır (Güngöroğlu vd. 2010). Bu çalışmada karaçamın enleme ve yükseltiye yayılışı önemli bir bağımsız değişken olarak dikkate alınacaktır. Bunun yanında denize olan en yakın mesafedeki uzaklık ayrı bir faktör olarak değerlendirilecektir. Buradaki amaç bu üç faktörün karaçamın gelişme performansı üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmektir. Kahramanmaraş Başkonuş Dağında yapılan bir araştırmada 1000-1500 m arasında kuzeyli bakılarda saf karaçam ormanları yayılış yapmaktadır (Avcu ve Karabulut, 2019).

Karaçam ülkemiz ormancılık faaliyetleri ve ormancılık bilimleri ile orman endüstrisi sektörü için önemli ağaç türlerimizdendir. Onun farklı yetişme ortamlarında yayılışına bağlı olarak türün yöresel ekolojik uyumları yüksektir. Bu durum türle ilgili genel bir değerlendirme yapılmasını sınırlandırmaktadır (Sevgi ve Yılmaz, 2022). Karaçamın ülkemiz genelinde ekolojik faktörlere bağlı yayılış alanlarındaki gelişme özelliklerinin karşılaştırılması, ülke genelinde karaçam yönetimi üzerine önemli bir bakış getirecektir. Bu özellikle yöresel değişen silvikültür tedbirlerine ve ağaçlandırmalara karar verme, iklim değişikliğine bağlı yerel arazi koşullarının değişmesi ve karaçam ağaçlarının bu yerel koşullarda değişen iklim etkilerine verdiği adaptasyon potansiyeline nasıl yanıt verdiğinin izlenmesi açısından önemli bir altlık oluşturacağı düşünülmektedir.

Karaçam ormanlarının yayılışları İklim sınıflandırmalarıyla beraberinde değerlendirildiğinde karaçamın nemli iklimden kurak iklime kadar geniş bir aralıkta türlü iklim tiplerine sahip alanlarda orman oluşturduğu net bir şekilde görülmektedir (Türkeş ve Tatlı, 2011). Karaçam Türkiye'de yarı nemli ve yarı kurak alanlarda 400-2100 m yükseltiler arasında ve farklı anakayalar üzerinde yayılış yapmaktadır. Bu ormanların yayılış alanları besin maddesi içeriği bakımından çok zengin olmayan ve düşük besin maddesi döngüsü hızına sahip alanlar ile besin maddesince çok zengin alanlara kadar farklı beslenme koşullarına sahip olabilmektedir. (Tecimen ve Sevgi, 2022). Karaçam ormanlarının besin maddelerinin miktarı o alandaki iklim

özelliklerine ve anakaya özelliklerinin etkisi altındadır. İklim karaçam ormanlarında organik madde üretimini ve ayrışma sürecini etkilemektedir. Anakaya karaçam ormanlarının doğrudan besin maddesi içeriğine katkıda bulunur ve toprağın içeriğine göre ayrışma süreçlerini etkilemekte ve dolayısıyla besin maddelerinin miktarı iklim özellikleri ile anakayanın etkisi altındadır (Tecimen ve Sevgi, 2022). Karaçam ormanlarının ülkemizde yayılışının geniş olması onun farklı anakayalar üzerinde yetişmesini ortaya koymaktadır. Genelde karaçam ekolojisine yönelik çalışmalarda anakayalara değinilmiştir. Ama karaçamın hangi anakaya üzerinde nasıl gelişme gösterdiğine dair karşılaştırmalı bir çalışmaya rastlanılmamıştır (Sevgi ve Yılmaz, 2022). Bu çalışmada farklı bölgelerdeki örnekleme alanlarının anakaya tipleri diğer ekolojik faktörlerle birlikte ağaç gelişimi üzerine etkileri farklı bölgelere göre değerlendirilecektir.

Yıllık halkaların oluşumu yıldan yıla sıcaklık, yağış, rüzgâr vb. iklim faktörleri ile değişkenlik gösterirken, bakı, denizden yükseklik, eğim, anakaya ve toprak vb. bazı faktörlerin etkileri binlerce yıl değişmeden kalabilmektedir (Dağdeviren vd. 2004: Kahveci ve Arslan, 2021). Ülkemizde karaçamın yıllık halka gelişimi ile sıcaklık ve yağış miktarları arasındaki ilişki çeşitli dendroklimatolojik araştırmalarda incelenmiştir (Biricik ve Akkemik, 2022: Köse vd. 2022). Karaçam büyümesi üzerinde yağışın sıcaklıktan çok daha etkili olduğu bildirilmiştir (Sevgi ve Akkemik, 2007: Köse vd. 2012: Çakıroğlu ve Güngöroğlu, 2025). Karaçam yıllık halkalarının genişliğini etkileyen en önemli sınırlayıcı faktörün Mayıs ayı yağışları ile başlayan Mayıs ve Haziran vejetasyon mevsimindeki yaz dönemi yağışları olduğu bildirilmiştir (Biricik ve Akkemik, 2022). 1970'lerden itibaren iklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklık ve yaz kuraklıklarına bağlı olarak Doğu Akdeniz'de yetişen karaçam ağaçlarında büyüme kayıplarının meydana geldiği (Janssen vd. 2018), bu durumun Anadolu karaçamında anatomik yapısında daha az odun oluşumu, daha dar ve daha kısa traheid hücresi oluşumu ile yansıdığı üzerinde durulmuştur (Biricik ve Akkemik,)

Bu çalışmanın amacı Kastamonu ilindeki Araç ve Pınarbaşı ilçelerinde farklı yetişme ortamı bölgelerinde doğal yayılış gösteren saf karaçam ormanlarının büyüme performansını etkileyen ekolojik faktörleri yayılışını kontrol eden iklim ve yükseltiye bağlı yetişme ortamı faktörlerini, ağaç halkası büyümesi analizleriyle belirlemektir.

YÖNTEM

Arazi çalışmaları kapsamında farklı yükselti, eğim ve bakı koşullarını temsil eden 22 örnek alan belirlenmiştir.

Her bir alanda meşcereyi temsil eden iki ağaçtan artım kalemleri alınmış, Digimizer yazılımı kullanılarak 0,001 mm duyarlılıkla bahar ve yaz odunu kalınlıkları ölçülmüştür. Örnek alanlarda ağaçların çap, boy ve yaşları belirlenmiş, koordinatları GPS ile kaydedilmiştir. Meteorolojik veriler Araç ve Pınarbaşı istasyonlarından alınmış; sıcaklık ve yağış değişkenleri yıllık halka verileriyle ilişkilendirilmiştir.

Veriler, bahar ve yaz odunu kalınlıklarının yükselti, sıcaklık ve yağış ile olan ilişkilerini belirlemek amacıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir

BULGULAR

Örnek Alanlarda Yıllık Halka Gelişimi

Kastamonu ili Araç ve Pınarbaşı ilçelerinde farklı yetişme ortamlarını temsil eden toplam 22 örnek alan değerlendirilmiştir. Yıllık halka ölçümleri sonucunda bahar ve yaz odunu genişliklerinin örnek alanlar arasında farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bahar odunu ortalama genişlikleri yaklaşık 0,52–1,37 mm, yaz odunu ortalama genişlikleri ise 0,55–1,40 mm arasında değişmiştir. Bazı örnek alanlarda yaz odunu genişliği bahar odunundan daha yüksek bulunurken, bazı alanlarda bahar odunu daha geniş gelişmiştir.

Yıllık Halka Genişliğinin Yıllara Göre Değişimi

Yıllık halka genişliklerinin yıllar arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Pınarbaşı OİŞ'nde en yüksek ortalama bahar odunu artımı 2016 yılında 1,002 mm, en düşük değer ise 2019 yılında 0,809 mm olarak belirlenmiştir. Yaz odununda en yüksek ortalama artım 2024 yılında 0,923 mm, en düşük değer ise 2018 yılında 0,775 mm olarak hesaplanmıştır. Samatlar OİŞ'nde ise bahar odunu artımı

2014 yılında 0,952 mm ile en yüksek, 2019 yılında 0,801 mm ile en düşük değere ulaşmıştır. Yaz odununda en yüksek değer 2018 yılında 0,822 mm, en düşük değer ise 2019 yılında 0,721 mm olarak belirlenmiştir.

Bahar ve Yaz Dönemi İklim Özellikleri

İklim verileri değerlendirildiğinde Pınarbaşı'nda bahar dönemi ortalama yağışının 73,09 mm, yaz dönemi ortalama yağışının ise 51,55 mm olduğu belirlenmiştir. Aynı dönemde bahar ortalama sıcaklığı 8,41 °C, yaz ortalama sıcaklığı ise 17,69 °C olarak hesaplanmıştır. Araç'ta ise bahar döneminde ortalama sıcaklık 10,6 °C düzeyindeyken, yaz döneminde sıcaklıkların yaklaşık 21 °C seviyesine ulaştığı görülmüştür. Yaz döneminde sıcaklıkların yükselmesi ve yağışların azalması dikkat çekmektedir.

Yıllık Halka Genişliği ile İklim Değişkenlerinin Karşılaştırılması

Yıllık halka genişlikleri ile sıcaklık ve yağış verileri karşılaştırıldığında, sıcaklık ve yağış değişkenlerinin yıllık artım üzerindeki ilişkilerinin genel olarak zayıf düzeyde olduğu belirlenmiştir. Pınarbaşı'nda sıcaklık ile bahar artımı arasındaki ilişki -0,024, yaz artımı ile sıcaklık arasındaki ilişki ise +0,003 olarak hesaplanmıştır. Yağış ile artım arasındaki ilişkiler de düşük düzeyde bulunmuş; Pınarbaşı'nda bahar yağışı ile bahar artımı arasındaki ilişki -0,003, yaz yağışı ile yaz artımı arasındaki ilişki ise +0,087 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yıllık halka gelişiminin yalnızca sıcaklık veya toplam yağış miktarıyla açıklanamayacağını göstermektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kastamonu ili Araç ve Pınarbaşı ilçelerinde farklı yükseltilerde yetişen karaçam bireylerinin yıllık odun halkası genişlikleri ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bulgular, karaçam büyümesinin özellikle **bahar yağışlarından olumlu etkilendiğini,** yaz dönemindeki yüksek sıcaklık ve düşük yağışın ise odun halkası gelişimini sınırlandırdığını göstermiştir. Bahar odununun genel olarak yaz odunundan daha geniş olması, büyüme faaliyetinin özellikle bahar döneminde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Yükselti ile birlikte sıcaklık ve yağış koşullarındaki değişimlerin de büyüme üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, **karaçam ormanlarının yönetiminde yaz kuraklığı ve artan sıcaklık koşulları dikkate alınmalı, su stresi düşük yetişme ortamları önceliklendirilmeli ve farklı yükseltilerde yıllık halka–iklim ilişkileri düzenli olarak izlenmelidir.** Uzun dönemli izleme çalışmaları, karaçam ormanlarının iklim değişikliğine uyumuna yönelik yönetim kararlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Biricik, Y., Akkemik, Ü. 2022. Anadolu Karaçamı Odunlarında Yükseltiye Bağlı Değişimler. Karaçam. Editörler: Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T. Ankara: Türkiye Ormancılar Derneği Yayın No: E/22/62.

Dağdeviren, N., Akkemik, Ü., Dalfes, N. 2004. Dendroklimatolojik Analizlerde Tepki Fonksiyonunun Kullanımı. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 54 (2), 61-81.

Enescu, C. M., de Rigo, D., Caudullo, G., Mauri A., Durrant T.H. 2016. Sayfalar 126-127. "Pinus nigra in Europe: distribution, habitat, usage and threats". European Atlas of Forest Tree Species Editörler: San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T, Mauri. Publ. Off. EU, Luxembourg,

Fritts, H.C. 1966. Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate. Science , 154, 973-979.

Köse, N., Akkemik, Ü., Dalfes, H. N., Özeren, M. S., Tolunay, D., 2012. "Tree-ring Growth of Pinus nigra Arn. Subsp. Pallasiana Under Different Climate Conditions Throughout Western Anatolia". Dendrochronologia, 30: 295–301.

Nehrbass – Ahles, C., Babst, F., Klesse, S.,…, Frank, D. 2014. The influence of sampling design on tree-ring-based quantification of forest growth. Global Change Biology, 20, 2867–2885.

Afacan, E.. Denizli-Acıpayam Yöresi Karaçam (Pinus nigra Arnold) Ormanlarının Silvikültürel Özellikleri. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 125, Ankara (1985).

Avcu, C., Karabulut, M.. Kahramanmaraş Başkonuş Dağı ve Çevresinde Karaçam (Pinus nigra Arnold) Ormanlarının Yayılış Alanlarının Coğrafi Analizi. Doğu Coğrafya Dergisi, 24 (42), 115-128 (2019).

Biricik, S., Akkemik, Ü.. Anadolu Karaçamında (Pinus nigra Arnold subsp. pallasiana) Yıllık Halka Gelişimi ve İklim İlişkileri. Ormancılık Araştırma Dergisi, 9 (1), 45-58 (2022).

Çakıroğlu, P.N., Güngöroğlu, C.. Karaçam (Pinus nigra Arnold) Büyümesi Üzerine İklimsel Faktörlerin Etkisi. Orman ve İklim Dergisi, 4 (1), 12-25 (2025).

Çelik, S.. Sündiken Dağları Karaçam (Pinus nigra Arnold subsp. pallasiana) Ormanlarının Ekolojik ve Silvikültürel Yapısı. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir (2006).

Dağdeviren, N., Yılmaz, O., Karataş, R.. Dendrokronolojik Yöntemlerle İklim Değişimlerinin İzlenmesi. Ekoloji Dergisi, 13 (51), 33-40 (2004).

Doğru, M., Güngöroğlu, C.. Karabük Keltepe Yöresi Saf Karaçam Meşcerelerinde Yetişme Ortamı Özellikleri. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 21 (2), 102-115 (2021).

Enescu, C.M., de Rigo, D., Caudullo, G., Mauri, A., Houston Durrant, T.. Pinus nigra in Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats. European Atlas of Forest Tree Species, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 126-127 (2016).

Güngöroğlu, C., Ayaşlıgil, Y., Erat, A.. Köprülü Kanyon Milli Parkı Orman Biyotoplarının Değerlendirilmesi. Ormancılıkta Doğal Değerler Dergisi, 2 (1), 15-28 (2010).

Güngöroğlu, C., Özel, M., Yılmaz, A.. Antalya-Çakırlar Havzası Karaçam Yayılış Alanlarının Ekolojik Değerlendirmesi. Akdeniz Orman Araştırmaları Dergisi, 4 (1), 50-62 (2018).

Güngöroğlu, C.. Karabük Keltepe Dağı Orman Vejetasyonunun Yükseltiye Bağlı Değişimi. Orman Mühendisliği Dergisi, 59 (3), 22-34 (2022).

Janssen, E., Bebi, P., Kienast, F.. Growth Losses and Anatomical Changes of Anatolian Black Pine Under Drought Stress. Agricultural and Forest Meteorology, 252, 112-124 (2018).

Kahveci, A., Arslan, M.. Ağaç Halkaları ve İklim İlişkilerinde Yerel Faktörlerin Rolü. Çevre ve Orman Araştırmaları, 18 (2), 77-89 (2021).

Köse, N., Akkemik, Ü., Dalfes, H.N.. Dendroclimatological Reconstruction of Precipitation in Western Anatolia. Dendrochronologia, 30 (1), 19-25 (2012).

Köse, N., Güner, H.T., Akkemik, Ü.. Türkiye Karaçam Kronolojilerinin İklim Sinyalleri ve Büyüme Tepkileri. Orman Fakültesi Dergisi, 72 (1), 30-42 (2022).

Mayer, H., Aksoy, H.. Waldbau auf Soziologisch-Ökologischer Grundlage: Wälder der Türkei. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1998).

Moormann, F., Köhl, M.. Using Random Forests and Dendroclimatology to Reveal Climatic Factors in Tree Growth – Case Studies from Temperate and Tropical Regions. Trees, 40 (15), 1-14 (2026).

Orman Genel Müdürlüğü. Türkiye Orman Varlığı 2020. OGM Yayınları, Ankara (2020).

Özkan, K., Gülsoy, S., Mert, A.. Göller Bölgesi Karaçam Ormanlarında Yükselti ve Bakının Ağaç Gelişimine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 2, 45-56 (2008).

Sevgi, O., Tecimen, H.B.. Kazdağları Karaçam (Pinus nigra Arnold) Ormanlarının Yayılış Yükseltileri ve Yetişme Ortamı Özellikleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 9 (12), 15-26 (2007).

Sevgi, O., Yılmaz, E.. Türkiye Karaçam Ormanlarında Anakaya ve Toprak Özelliklerinin Büyümeye Etkisi. Orman Ekolojisi Dergisi, 3 (2), 80-95 (2022).

Tecimen, H.B., Sevgi, O.. İç Anadolu Karaçam Ormanlarında Toprak ve İklim İlişkileri. Toprak Su Dergisi, 1 (2), 40-52 (2010).

Tecimen, H.B., Sevgi, O., Yılmaz, A.. Karaçam Ormanlarında Yükseltiye Bağlı Besin Maddesi Döngüsü ve Toprak Değişimleri. Ormancılık Araştırma Dergisi, 2 (1), 15-27 (2012).

Tecimen, H.B., Sevgi, O.. Türkiye Karaçam Ormanlarının Beslenme Koşulları ve Anakaya İletişimi. Ekoloji ve Ormancılık Dergisi, 8 (1), 100-112 (2022).

Türkeş, M., Tatlı, H.. Türkiye Karaçam Yayılış Alanlarında İklim Sınıflandırması ve Kuraklık İndeksleri. Uluslararası İklim Değişikliği Dergisi, 3 (1), 25-38 (2011).

Farklı Ağ Çözünürlüklerinin Sonlu Kanat Aerodinamiğine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Emin YENİACUN[1], Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK[2]

[1]E-mail: eyeniacun07@hotmail.com; Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Isparta / Türkiye.
[2]E-mail: seyfettincakmak@sdu.edu.tr; Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta / Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, sonlu bir kanadın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak hesaplanan aerodinamik sonuçlarının hesaplama ağı çözünürlüğüne duyarlılığı incelenmiştir. Üç boyutlu sayısal çözümler ANSYS Fluent ortamında, 5° hücum açısı ve 51,44 m/s serbest akım hızı için SST k-ω türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı geometri, sınır koşulları ve çözüm ayarları korunarak kaba, orta ve ince olmak üzere üç ağ çözünürlüğü oluşturulmuştur. Ağ inceldikçe kaldırma (Cl) ve sürükleme (Cd) katsayılarında azalma gözlenmiş; Cl değişimi orta ve ince ağ arasında %0,33 düzeyine gerilerken Cd değişimi %4,83 olarak devam etmiştir. Sonuçlar, kaldırma kuvveti (L) tahminlerinin mevcut ağ aralığında daha kararlı hâle geldiğini, sürükleme kuvveti (D) tahminlerinin ise ağ yapısına ve duvar yakını çözünürlüğüne daha duyarlı kaldığını göstermektedir. Çalışma, formal bir ağ bağımsızlığı iddiası yerine karşılaştırmalı ağ duyarlılığı değerlendirmesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik katsayılar, Ağ çözünürlüğü, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, NACA 0012, SST k-ω

Abstract

In this study, the sensitivity of aerodynamic results of a finite wing, calculated using Computational Fluid Dynamics (CFD), to computational mesh resolution. Three-dimensional simulations were performed in ANSYS Fluent at an angle of attack of 5° and a free-stream velocity of 51.44 m/s using the SST k-ω turbulence model. Three mesh levels, designated coarse, medium, and fine, were generated while keeping the geometry, boundary conditions, and numerical settings unchanged. Both lift (Cl) and drag (Cd) coefficients decreased with mesh refinement. The relative change in Cl fell to 0.33% between the medium and fine meshes, whereas Cd still changed by 4.83%. The results indicate that lift (L) predictions became more stable over the investigated mesh range, while drag (D) remained more sensitive to mesh structure and near-wall resolution. Accordingly, the study is presented as a comparative mesh-sensitivity assessment rather than a formal demonstration of mesh independence.

Keywords: Aerodynamic coefficients, Mesh resolution, Computational fluid dynamics, NACA 0012, SST k-ω

GİRİŞ

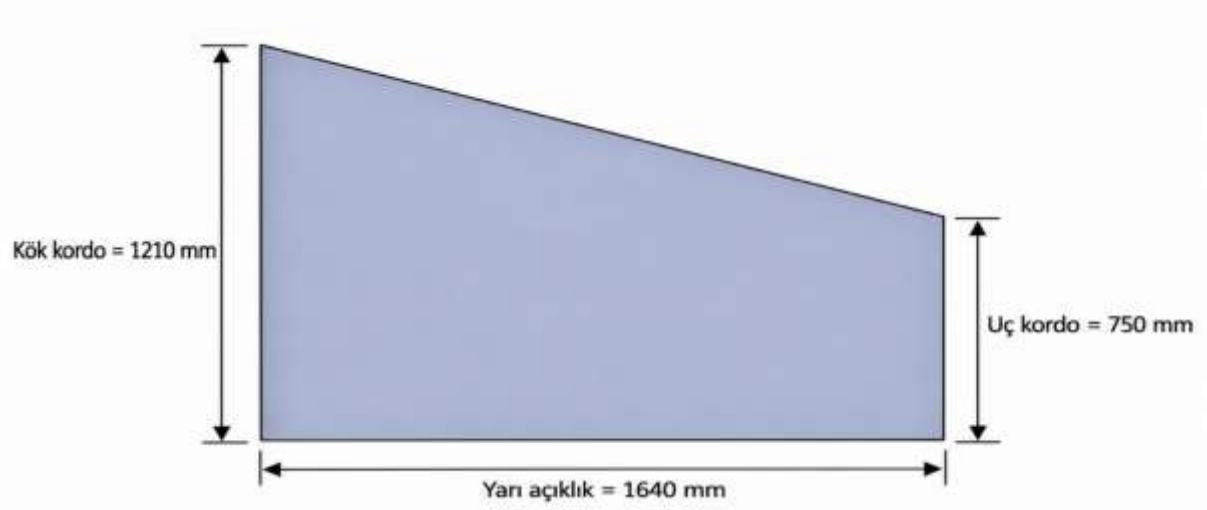
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), aerodinamik tasarım ve performans değerlendirmelerinde deneysel çalışmaların tamamlayıcısı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kanat etrafındaki basınç ve hız alanlarının sayısal olarak çözülebilmesi, farklı geometrilerin ve uçuş koşullarının tasarımın erken aşamalarında karşılaştırılmasına imkân verir (Görgülü, Özgür, & Köse, 2021). Bununla birlikte sayısal çözümün güvenilirliği yalnızca kullanılan fiziksel modele değil, akış alanının ayrıklaştırılma biçimine de bağlıdır.

Hesaplama ağının (Mesh) yoğunluğu ve hücrelerin yüksek gradyanlı bölgelerdeki dağılımı, kaldırma ve sürükleme katsayılarını doğrudan etkileyebilir. Çok kaba bir ağ, hücum kenarı, firar kenarı, kanat ucu ve iz bölgesindeki değişimleri yeterince temsil edemezken gereğinden fazla hücre kullanımı hesaplama için gerek zaman ve maliyeti artırır. Bu nedenle ağ çözünürlüğünün sonuçlar üzerindeki etkisinin farklı ağ seviyeleri üzerinden izlenmesi, HAD çalışmalarındaki temel doğrulama adımlarından biridir (Alauzet & Frazza, 2021; Lu, Liu, & Hekkenberg, 2021).

NACA 0012, simetrik geometrisi ve geniş deneysel veri tabanı nedeniyle sayısal aerodinamik çalışmalarında sık kullanılan bir referans profildir. Sonlu açıklıklı kanatlarda ise iki boyutlu profil davranışına ek olarak kanat ucu vorteksleri ve açıklık yönündeki üç boyutlu akış etkileri önem kazanır (Toosi, Peplinski, Schlatter, & Vinuesa, 2024). Bu çalışmanın amacı, NACA 0012 profilli trapezoidal bir sonlu kanatta kaba, orta ve ince ağ seviyelerinin kaldırma katsayısı (Cl), sürükleme katsayısı (Cd), kaldırma kuvveti (L) ve sürükleme kuvveti (D) üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmada formal Grid Convergence Index (GCI) hesabı yapılmamış; sonuçlar ağ bağımsızlığı iddiası yerine ağ çözünürlüğüne duyarlılık açısından değerlendirilmiştir (Celik et al., 2008; Roache, 1998).

YÖNTEM

Analiz geometrisi NACA 0012 kesitine sahip trapezoidal bir kanattan oluşturulmuştur. Kök kordo 1210 mm, uç kordo 750 mm, kanat açıklığı 1640 mm, referans planform alanı 1,6072 m² ve ortalama aerodinamik kordo yaklaşık 998 mm'dir. Tüm çözümler 5° akış (hücum) açısında yürütülmüştür.



Şekil 1. *Analizde kullanılan sonlu kanat geometrisi ve temel ölçüler*

Akış alanı 6,0 m × 3,0 m × 3,0 m boyutlarında üç boyutlu bir hesaplama hacmi olarak tanımlanmıştır. Serbest akım hızı 51,44 m/s, hava yoğunluğu 1,225 kg/m³ ve dinamik viskozite 1,7894 × 10^{-5} kg/(m·s) olarak alınmıştır. Ortalama aerodinamik kordo esas alındığında Reynolds sayısı yaklaşık 3,51 × 10^{6}'dır. Giriş sınırında Velocity Inlet, çıkışta Pressure Outlet ve kanat yüzeylerinde No-Slip Wall sınır şartları uygulanmıştır. Giriş türbülans yoğunluğu %1, türbülans viskozite oranı 10 olarak tanımlanmıştır.

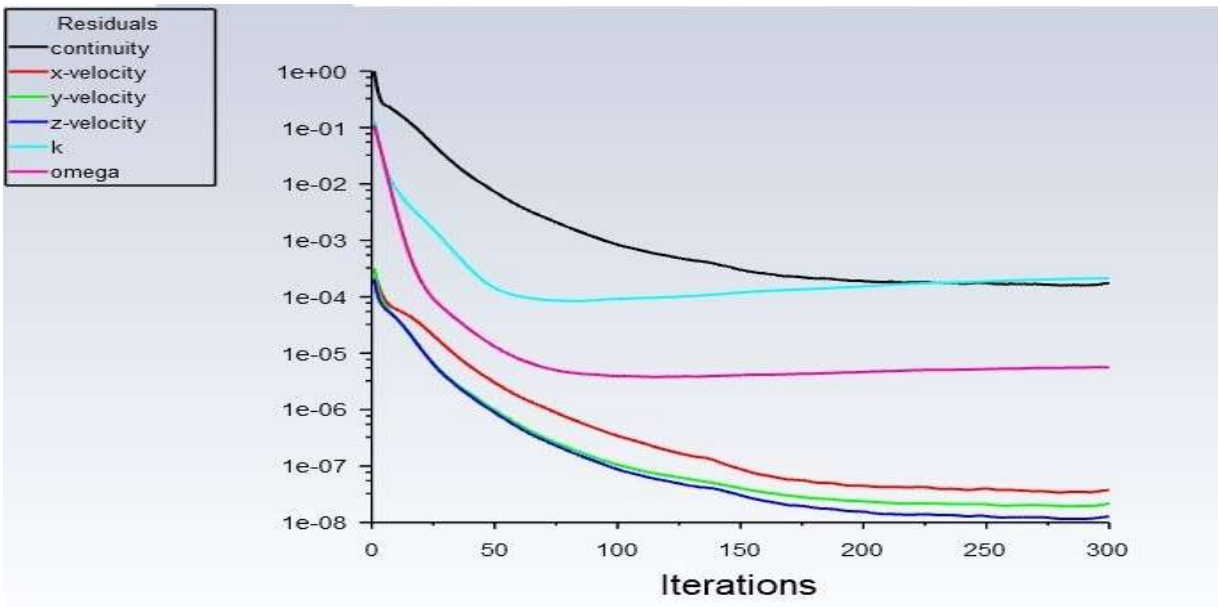
Ağ duyarlılığını incelemek amacıyla sırasıyla 661.041, 950.108 ve 1.467.212 hücreden oluşan üç farklı ağ seviyesi hazırlanmıştır. Ağlar oluşturulurken geometri ve sayısal çözüm ayarları değiştirilmemiştir. Bununla birlikte toplam hücre sayısının tek başına yeterli bir ağ ölçütü olmadığı; duvar yakını, kanat ucu ve iz bölgesi gibi yerel bölgelerin de çözüm kalitesini etkilediği göz önünde bulundurulmuştur (Alauzet & Frazza, 2021; Lu et al., 2021).

Tablo 1. *Analizlerde kullanılan ağ seviyeleri*

Ağ seviyesi	Hücre sayısı
Kaba	661.041
Orta	950.108
İnce	1.467.212

Sayısal çözümler ANSYS Fluent ile üç boyutlu, sürekli ve basınç tabanlı olarak yürütülmüştür. Basınç-hız bağlaşımı için Coupled yaklaşımı, yakınsamayı desteklemek için Pseudo Time Method kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak Menter (1994) tarafından geliştirilen SST k-ω modeli seçilmiştir. Basınç için Second Order, momentum, k ve ω denklemleri için Second Order Upwind şemaları kullanılmıştır. Artık değerler için hedef seviye 10^{-4} olarak belirlenmiş ve her çözüm 300 iterasyon sürdürülmüştür. Yakınsama kararı residual davranışı ile birlikte Cl ve Cd değerlerinin iterasyon boyunca kararlı hâle gelmesi dikkate alınarak verilmiştir (ANSYS, 2021).

Kaldırma ve sürükleme katsayıları sırasıyla $Cl = L/(½\rho V_\infty^2 S)$ ve $Cd = D/(½\rho V_\infty^2 S)$ bağıntılarıyla hesaplanmıştır. Tüm ağlarda aynı referans alanı ve akış koşulları kullanılmıştır.



Şekil 2. *Orta ağ çözümünde residual değerlerinin iterasyonlara bağlı değişimi*

BULGULAR

Üç ağ seviyesinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ağ inceldikçe Cl, Cd, L ve D değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kaba ağda Cl 0,33663 iken orta ağda 0,32917 ve ince ağda 0,32810 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Cl'deki göreli değişim kaba-orta geçişinde yaklaşık %2,22, orta-ince geçişinde ise yalnızca %0,33'tür.

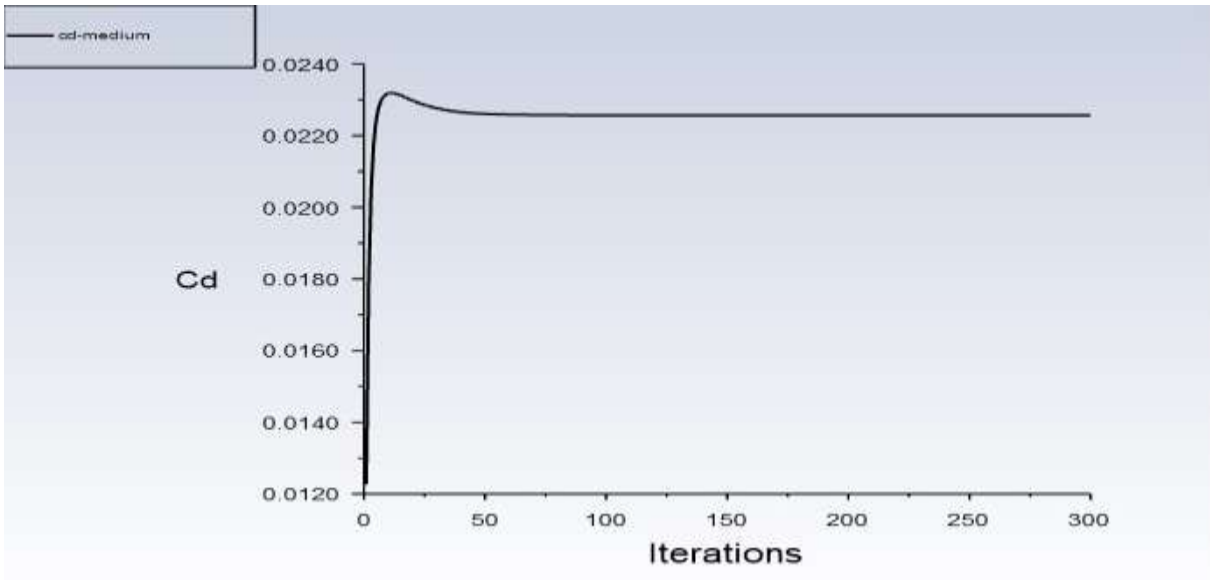
Sürükleme katsayısındaki değişim daha belirgindir. Cd kaba ağda 0,02453, orta ağda 0,02257 ve ince ağda 0,02148 olarak elde edilmiştir. Göreli değişim kaba-orta ağ arasında yaklaşık %7,99, orta-ince ağ arasında %4,83'tür. Bu durum, kaldırma katsayısının orta ve ince ağ arasında daha kararlı bir seviyeye yaklaşmasına karşılık sürükleme katsayısının ağ çözünürlüğüne duyarlılığını sürdürdüğünü göstermektedir.

Tablo 2. *Ağ seviyelerine göre aerodinamik sonuçlar*

Ağ seviyesi	Cl	Cd	L (N)	D (N)
Kaba	0,33663	0,02453	876,85	63,91
Orta	0,32917	0,02257	857,42	58,78
İnce	0,32810	0,02148	854,63	55,95

Orta çözünürlüklü ağ için residual değerleri ilk iterasyonlarda hızla düşmüş, daha sonra daha yavaş bir değişimle kararlı bir seviyeye yaklaşmıştır. Cl ve Cd izleme eğrileri de ilk geçici değişimlerden sonra yaklaşık sabit değerlere oturmuştur. Bu davranış, iteratif yakınsamanın sağlandığını desteklemektedir;

ancak iteratif yakınsama tek başına ayrıklaştırma hatasının ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir (Roache, 1998).



Şekil 4. S*ürükleme katsayısının iterasyonlara bağlı değişimi (Orta ağ)*

İnce ağda orta açıklık düzleminden alınan statik basınç dağılımında hücum kenarının alt yüzünde yüksek, üst yüzünde daha düşük basınç bölgesi görülmüştür. Kanat üst yüzeyindeki hızlanma ve alt-üst yüzey basınç farkı 5° hücum açısında beklenen kaldırma oluşumuyla uyumludur. Kanat yüzeyindeki y^+ değerleri yaklaşık 69,39-572,72 aralığındadır. Inflation katmanı kullanılmadığından duvar yakınındaki akış düşük y^+ hedefiyle doğrudan çözülmemiştir. Bu nedenle özellikle sürükleme ve yüzey kayma gerilmesine duyarlı sonuçlar yorumlanırken duvar yakını ağ çözünürlüğü bir sınırlılık olarak ele alınmıştır (Daud, Li, Bég, & AbdulGhani, 2011).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma sonuçları, ağ çözünürlüğündeki artışın tüm aerodinamik büyüklükleri aynı oranda etkilemediğini göstermiştir. Orta ve ince ağlar arasında Cl farkının %0,33'e düşmesi, kaldırma tahmininin incelenen ağ aralığında belirgin biçimde kararlı hâle geldiğini göstermektedir. Buna karşılık Cd'de %4,83'lük değişimin devam etmesi, sürükleme tahmininin ağ çözünürlüğüne daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, duvar yakını ağ çözünürlüğündeki değişimlerin sürükleme katsayısı üzerinde kaldırma katsayısına oranla daha belirgin oluşturabileceği literatürde farklı aerodinamik çalışmalarda da ifade edilmiştir (Porta i Ko et al., 2023).

Bu bulgular yalnızca toplam hücre sayısına dayalı bir ağ değerlendirmesinin yeterli olmadığını desteklemektedir. Hesaplama alanının boyutu ve sınır koşulları da özellikle sürükleme sonuçlarını etkileyebilir (Golmirzaee & Wood, 2024). Ayrıca sonlu kanatlarda kanat ucu vortekslerinin ve iz bölgesinin üç boyutlu yapısı yerel ağ inceltmesini önemli hâle getirmektedir (Toosi et al., 2024). Dolayısıyla daha yüksek hücre sayısı otomatik olarak daha doğru çözüm anlamına gelmemeli; ağ topolojisi, yerel çözünürlük, duvar yaklaşımı ve yakınsama davranışı birlikte değerlendirilmelidir.

Bu çalışma kapsamında formal GCI hesabı, bağımsız hesaplama alanı duyarlılık analizi ve deneysel doğrulama gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar mutlak ağ bağımsızlığı göstergesi olarak değil, aynı sayısal yaklaşım altında ağ çözünürlüğüne verilen aerodinamik tepkinin karşılaştırılması olarak değerlendirilmelidir. İlerideki çalışmalarda özellikle duvar yakınında kontrollü inflation katmanları kullanılarak y^+ hedeflerinin sistematik biçimde değiştirilmesi, daha düzenli bir inceltme oranıyla GCI hesabı yapılması ve sonuçların deneysel NACA 0012 verileriyle karşılaştırılması önerilmektedir.

Analiz için kullanılacak ağ çözünürlüğünün arttırılması, elde edilecek sonuçların doğruluğu ve çözüm kararlılığını iyileştirmekle birlikte, hücre sayısındaki artış nedeniyle hesaplama için gereken zaman ve maliyet de aynı oran da artmaktadır. Daha yüksek çözünürlüklü ağ yapıları, hesaplamalar için kullanılan bilgisayar donanımlarında daha fazla bellek kullanımına, daha yüksek işlemci yüküne ve daha uzun çözüm sürelerine ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Analizler için kullanılacak uygun ağ seviyesinin belirlenmesinde yalnızca elde edilen sonuçlardaki değişim değil, hesaplama maliyeti ile elde edilen sonuçlardaki iyileşme arasındaki denge de dikkate alınmalıdır.

Tüm bu nedenlerle, analiz sonuçlarındaki ağ çözünürlüğüne bağlı değişimler kabul edilebilir seviyelere ulaştıktan sonra, hesaplama maliyetlerindeki artışlar dikkate alınarak, kullanılan ağ çözünürlüğünün optimum seviyenin ötesinde arttırılmasından kaçınılması uygun bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKÇA

Alauzet, F., & Frazza, L. (2021). Feature-based and goal-oriented anisotropic mesh adaptation for RANS applications in aeronautics and aerospace. *Journal of Computational Physics, 439*, 110340.

ANSYS, Inc. (2021). *ANSYS Fluent theory guide: Release 2021 R1*. Canonsburg, PA: Author.

Celik, I. B., Ghia, U., Roache, P. J., Freitas, C. J., Coleman, H., & Raad, P. E. (2008). Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *Journal of Fluids Engineering, 130*(7), 078001.

Daud, H. A., Li, Q., Bég, O. A., & AbdulGhani, S. A. A. (2011). Numerical investigations of wall-bounded turbulence. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 225*(5), 1163–1174.

Golmirzaee, N., & Wood, D. H. (2024). Some effects of domain size and boundary conditions on the accuracy of airfoil simulations. *Advances in Aerodynamics, 6*, 7.

Görgülü, Y. F., Özgür, M. A., & Köse, R. (2021). CFD analysis of a NACA 0009 aerofoil at a low Reynolds number. *Politeknik Dergisi, 24*(3), 1237–1242.

Lu, S., Liu, J., & Hekkenberg, R. (2021). Mesh properties for RANS simulations of airfoil-shaped profiles: A case study of rudder hydrodynamics. *Journal of Marine Science and Engineering, 9*(10), 1062.

Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal, 32*(8), 1598–1605.

Roache, P. J. (1998). Verification of codes and calculations. *AIAA Journal, 36*(5), 696–702.

Toosi, S., Peplinski, A., Schlatter, P., & Vinuesa, R. (2024). The impact of finite span and wing-tip vortices on a turbulent NACA0012 wing. *Journal of Fluid Mechanics, 997*, A68.

Improving Turkish Address Classification with BERT and Rule-Based Post-Processing for Last-Mile Delivery[1]

Alaeddin Türkmen[1], Barış Bayram[2] , Ahmet Çay [3], Ayşe Dilara Türkmen[4]

[1]E-mail: alaeddinturkmen@gmail.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[2]E-mail: baris.bayram@hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[3]E-mail: ahmet.cay@hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[4]E-mail: ayse.turkmen@hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

Abstract

Accurate address-type classification is important for effective last-mile delivery operations, as residential addresses, private businesses, and public institutions have different delivery characteristics. Incorrect classification may affect delivery-time estimation, route planning, courier workload allocation, and delivery management. This study presents a hybrid framework for Turkish address-type classification that combines BERT with domain-specific rule-based post-processing.

The baseline model uses a Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) architecture with a classification head to classify addresses into three classes: residential address, private business, and public institution. However, real-world Turkish addresses frequently contain spelling errors, abbreviations, incomplete information, business or institution names, landmark references, and spatial expressions. These characteristics can lead to incorrect predictions even when contextual transformer representations are used.

To address these challenges, a rule-based post-processing layer is applied after BERT inference. The proposed layer combines text normalization, regular expressions, lexical patterns, structural address indicators, spatial-reference handling, and class-specific inclusion and exclusion rules. The mechanism selectively modifies model predictions when sufficiently strong domain-specific evidence is available.

On the test set, the standalone BERT model achieved **92.11% accuracy**, while the proposed BERT with post-processing framework achieved **95.01%**, corresponding to an absolute improvement of **2.90 percentage points**. The results demonstrate that domain-specific deterministic rules can effectively complement transformer-based representations and improve classification of noisy and ambiguous real-world address data. The proposed approach provides a lightweight, interpretable, and production-compatible method without requiring retraining of the underlying BERT model.

Keywords: Address Classification; BERT; Post-processing; Rule-based Classification; Turkish Address Data; Natural Language Processing; Last-mile Delivery; Logistics

[1] Hepsijet'e destekleri için teşekkür ederiz.

Özet

Doğru adres türü sınıflandırması, konut adresleri, özel iş yerleri ve resmi kurumların farklı teslimat özelliklerine sahip olması nedeniyle son kilometre teslimat operasyonları için önemlidir. Hatalı sınıflandırma, teslimat tarihi tahmini, rota planlama, kurye iş yükü dağılımı ve teslimat süreçlerinin yönetimini olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmada, Türkçe adres türü sınıflandırmasını iyileştirmek amacıyla BERT ve alana özgü kural tabanlı post-processing yaklaşımını birleştiren hibrit bir çerçeve sunulmaktadır.

Temel model, adresleri konut adresi, özel iş yeri ve resmi kurum olmak üzere üç sınıfa ayırmak için sınıflandırma katmanına sahip Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) mimarisini kullanmaktadır. Ancak gerçek dünya Türkçe adresleri sıklıkla yazım hataları, kısaltmalar, eksik bilgiler, işletme veya kurum adları, nirengi noktaları ve konumsal ifadeler içermektedir. Bu durum, bağlamsal transformer temsillerine rağmen hatalı tahminlere yol açabilmektedir.

Bu zorlukları gidermek amacıyla BERT çıkarımından sonra kural tabanlı bir post-processing katmanı uygulanmıştır. Katman; metin normalizasyonu, düzenli ifadeler, sözcüksel örüntüler, yapısal adres göstergeleri, konumsal referans analizi ve sınıfa özgü dahil etme ve hariç tutma kurallarını kullanmaktadır. Sistem, yalnızca yeterli alana özgü kanıt bulunduğunda model tahminini seçici olarak düzeltmektedir.

Test kümesinde BERT modeli %92,11 doğruluk elde ederken, post-processing eklenmesiyle doğruluk %95,01'e yükselmiş ve 2,90 yüzde puanlık mutlak iyileşme sağlanmıştır. Sonuçlar, alana özgü deterministik kuralların transformer tabanlı temsilleri tamamlayarak gürültülü ve belirsiz adres verilerinin sınıflandırılmasını iyileştirebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adres Sınıflandırma; BERT; Post-processing; Kural Tabanlı Sınıflandırma; Türkçe Adres Verileri; Doğal Dil İşleme; Son Kilometre Teslimatı; Lojistik

INTRODUCTION

The rapid growth of e-commerce has significantly increased the volume and complexity of last-mile delivery operations. As the final stage of the logistics process, last-mile delivery directly affects delivery time, operational efficiency, courier workload, and customer satisfaction. Within this process, the quality and semantic interpretation of address data play an important role in operational decision-making. In particular, identifying the type of delivery destination can provide valuable information for delivery planning and process management.

Address descriptions exhibit substantially different characteristics depending on whether the destination is a residential address, a private business, or a public institution. Residential addresses generally contain structural components such as apartment, building, site, street, floor, and unit information, whereas business and institutional addresses may contain company names, organization names, commercial terms, or public institution terminology. Correctly identifying these semantic differences can support more accurate delivery-time estimation, route planning, courier workload allocation, and overall delivery management.

However, real-world address data are considerably more complex than standardized postal addresses. In practical logistics systems, address descriptions are frequently generated by customers, merchants, couriers, or operational systems and may contain spelling errors, abbreviations, missing information, informal expressions, inconsistent formatting, and location-dependent descriptions. In addition, an address may contain the name of a business or public institution without representing that entity as the actual destination. For example, expressions indicating a location near, opposite, behind, or next to an institution may contain strong institutional lexical signals even though the actual destination is a residential address. These characteristics introduce ambiguity that cannot always be resolved through direct lexical matching.

Transformer-based Natural Language Processing (NLP) models have demonstrated strong capabilities in representing contextual relationships within text. Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), in particular, has achieved successful results across various text classification tasks by generating context-aware representations of input sequences. In address classification, BERT can capture relationships between different address components and provide a more generalizable representation than conventional keyword-based methods. Nevertheless, a purely neural approach may remain vulnerable to rare address patterns, domain-specific terminology, noisy inputs, and cases where semantically important terms are used as geographic references rather than indicators of the actual destination type.

Domain knowledge can provide complementary information in such cases. Rule-based approaches offer an interpretable mechanism for representing domain-specific patterns through lexical rules, regular expressions, structural indicators, and contextual exclusion conditions. Instead of replacing the neural classifier, these rules can be applied after model inference to identify cases where explicit domain knowledge provides sufficiently strong evidence for correcting the initial prediction. Such an approach is particularly relevant for production systems because domain-specific rules can be modified and extended independently of the underlying neural model.

In this study, we propose a hybrid framework that combines a BERT-based classifier with a domain-specific rule-based post-processing layer for Turkish address-type classification. The system categorizes address descriptions into three classes: residential address, private business, and public institution. The post-processing layer incorporates Turkish-specific text normalization, lexical and regular expression patterns, structural address indicators, spatial-reference handling, and class-specific inclusion and exclusion rules. The objective is to resolve difficult cases in which the contextual prediction of the neural model may conflict with explicit domain-specific evidence contained in the address.

The proposed framework is evaluated by comparing the performance of the standalone BERT classifier with the same classifier enhanced by the post-processing layer on a held-out test set. The baseline BERT model achieves an accuracy of 92.11%, while the integration of the proposed post-processing mechanism increases the accuracy to 95.01%. This corresponds to an absolute improvement of 2.90 percentage points and demonstrates the potential of combining transformer-based contextual representations with deterministic domain knowledge for real-world address classification.

The remainder of this paper is organized into three main sections. Section 2 describes the proposed method, including the BERT-based classification model and the domain-specific post-processing

mechanism. Section 3 presents the experimental results and evaluates the contribution of the post-processing layer. Section 4 discusses the findings, practical implications, limitations, and conclusions of the study.

METHOD

Overall Framework

The proposed system consists of two sequential components: a BERT-based neural classifier and a domain-specific rule-based post-processing layer. The neural model first generates an initial prediction for each address, and the post-processing layer subsequently analyzes the input address and the model prediction to determine whether a correction is required.

The classification task contains three destination types: residential address, private business, and public institution. The overall processing pipeline can be represented as:

Input Address → Text Normalization → BERT Classification → Rule-based Post-processing → Final Address Class

The main design principle of the proposed framework is to preserve the generalization capability of the neural classifier while incorporating explicit domain knowledge for difficult cases. Therefore, the post-processing layer does not replace the BERT prediction globally. Instead, it selectively modifies predictions when predefined address-specific evidence provides sufficient support for an alternative class.

BERT-based Address Classification

The initial address classification model is based on the Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) architecture. Each address description is tokenized and transformed into a sequence representation, which is subsequently passed to a task-specific classification head. The classification head produces a probability distribution over the three address classes.

Let an input address be represented as x. The BERT encoder generates a contextual representation h:

$$\mathbf{h = BERT(x)}$$

The classification head then produces class probabilities:

$$\mathbf{P(y \mid x) = softmax(Wh + b)}$$

where W and b represent the parameters of the classification layer and y denotes the predicted address class. The initial prediction is obtained by selecting the class with the highest predicted probability:

$$\hat{\mathbf{y}}_{(}\mathbf{BERT}_{)} = \mathbf{argmax}_{\gamma}\ \mathbf{P(y \mid x)}$$

This prediction is used as the baseline result and is subsequently passed to the post-processing stage.

Although BERT provides contextual representations that are more robust than direct keyword matching, address data contain domain-specific patterns that may not always be sufficiently represented by the learned model. The post-processing layer is therefore designed to complement the neural prediction with explicit domain knowledge derived from the structural and linguistic characteristics of Turkish addresses.

Address Text Normalization

Before rule-based analysis, address descriptions undergo a normalization stage. This stage is necessary because the same address concept may appear in different textual forms due to capitalization, Turkish-specific characters, Unicode representations, line breaks, special characters, abbreviations, and inconsistent formatting.

The normalization process includes character cleaning, removal of irrelevant formatting artifacts, normalization of Turkish characters, and standardization of the textual representation. This ensures that equivalent lexical patterns can be detected consistently regardless of their original representation.

Normalization is particularly important for rule-based processing because regular expressions and lexical patterns are sensitive to textual variation. Applying normalization before pattern matching therefore reduces unnecessary rule duplication and improves the consistency of subsequent detection stages.

Domain-specific Rule-based Post-processing

Following normalization, the system applies a domain-specific rule-based post-processing layer. The rules are constructed from characteristics observed in real-world Turkish address data and are organized according to the semantic characteristics of the three destination classes.

The rule-based system primarily uses four types of evidence:

1. Lexical evidence, including words and expressions associated with businesses, institutions, or residential locations.
2. Structural evidence, including apartment, building, site, street, floor, unit, and similar address components.
3. Spatial evidence, including expressions describing the relative position of a destination with respect to another location.
4. Exclusion evidence, which identifies cases where otherwise informative lexical patterns should not be interpreted as destination-type indicators.

Business-related patterns include terms commonly associated with commercial locations, such as stores, markets, restaurants, offices, factories, services, and company terminology. Public-institution patterns include terminology associated with government organizations, educational institutions, healthcare organizations, municipalities, directorates, courts, and similar institutional structures.

Residential evidence is primarily derived from structural address components. Patterns associated with apartments, buildings, residences, housing sites, streets, avenues, blocks, floors, and independent units are used to identify addresses that exhibit residential characteristics.

The system also considers combinations of patterns rather than relying exclusively on individual keywords. For example, the simultaneous presence of a residential structural component and a detailed address component provides stronger residential evidence than the presence of either component alone. This reduces false classifications caused by isolated words.

Spatial Reference Handling

A significant source of classification errors in real-world address data is the use of business or institution names as spatial references. An address may contain the name of a well-known business, school, hospital, or public institution even though the destination itself is residential.

For example, an address may describe a residential destination as being near, opposite, behind, next to, above, or below an institution. In such cases, a direct lexical rule would incorrectly interpret the institution name as evidence that the destination belongs to the institutional class.

To address this problem, spatial expressions are explicitly identified during post-processing. When a business or institution-related expression occurs within a spatial or locational context, the corresponding lexical evidence can be excluded from the destination-type decision. This mechanism allows the system to distinguish between a semantic destination indicator and a landmark used to describe the location.

This spatial-reference handling is an important component of the proposed approach because it introduces a limited form of contextual reasoning into the deterministic rule layer without requiring an additional neural model.

Residential Address Detection

Residential classification is performed using a combination of structural address patterns and exclusion rules. The system identifies patterns associated with residential buildings and housing structures, including apartments, buildings, residences, housing sites, blocks, and similar terms. Detailed address components such as unit numbers, floors, door numbers, and other residential address information are also considered.

To reduce false positives, residential patterns are evaluated together with business and industrial exclusion patterns. For example, a term associated with a site or building does not necessarily indicate a residential destination when it occurs in an industrial or commercial context.

The residential detection process therefore evaluates both positive and negative evidence. A residential prediction becomes stronger when residential structural indicators are present and conflicting commercial or institutional evidence is absent.

Business and Public Institution Detection

Business and public institution detection is performed using class-specific lexical patterns and regular expressions. The rule sets contain domain-specific terminology representing common business and institutional naming conventions.

The business rule set focuses on commercial terminology, company structures, services, retail locations, restaurants, offices, factories, workshops, and similar entities. The public institution rule set focuses on terminology associated with government organizations, healthcare, education, municipalities, public administration, and other institutional entities.

The system applies exclusion patterns to both rule sets to prevent lexical matches from being interpreted independently of their surrounding address context. This is particularly important for institution or business names that frequently occur as landmarks.

When multiple rule categories are activated simultaneously, the system uses a predefined priority and conflict-resolution strategy. This deterministic ordering ensures consistent output for ambiguous addresses and prevents contradictory rules from producing unstable predictions.

Selective Prediction Correction

The final stage combines the original BERT prediction with the evidence obtained from the rule-based analysis. Rather than applying rules to every prediction, the system first evaluates whether the available domain-specific evidence is sufficiently strong to justify a correction.

Conceptually, the final prediction can be represented as:

$$\hat{y}_{(}\mathbf{final}_{)} = \mathbf{f(x,}\ \hat{y}_{(}\mathbf{BERT}_{)}\mathbf{),\ if\ strong\ rule\text{-}based\ evidence\ exists}$$

$$\hat{y}_{(}\mathbf{final}_{)} = \hat{y}_{(}\mathbf{BERT}_{)}\mathbf{,\ otherwise}$$

where f represents the deterministic correction procedure.

This selective strategy has two important advantages. First, the generalization capability of BERT is preserved for address patterns that are not explicitly represented in the rule sets. Second, deterministic domain knowledge can be applied to known difficult cases where the neural prediction is likely to be unreliable.

The correction process evaluates the relationship between the initial prediction and the detected address evidence. For predictions that conflict with strong residential evidence, the system can assign the residential class. Conversely, when a residential prediction contains sufficiently strong business or public institution evidence, the corresponding non-residential class can be assigned. Public institution and private business evidence are resolved using predefined class-specific rules and priority ordering.

Computational and Production Considerations

The proposed post-processing layer is designed to operate on top of an already deployed BERT classification system. Since the additional processing relies primarily on text normalization, regular expressions, and deterministic logical operations, it does not require an additional neural inference stage.

This design provides several practical advantages for production environments. The underlying BERT model does not need to be retrained when individual domain rules are updated. New business names, institution terminology, address structures, or exceptional patterns can be incorporated into the rule sets independently. Furthermore, the deterministic nature of the post-processing layer makes its decisions interpretable and facilitates investigation of individual classification errors.

The resulting architecture therefore combines two complementary sources of information. BERT provides contextual and generalizable language representations, while the post-processing layer provides explicit domain knowledge derived from the structural and linguistic properties of Turkish address data. The effectiveness of this combination is evaluated in the following section by comparing the standalone BERT model with the complete BERT and post-processing framework.

RESULTS

The effectiveness of the proposed post-processing framework was evaluated on a held-out test set. Two configurations were compared under the same classification setting. The first configuration consisted of the standalone BERT-based classifier, while the second configuration consisted of the same BERT classifier followed by the proposed domain-specific post-processing layer.

The comparison was designed to measure the direct contribution of the rule-based post-processing mechanism while keeping the underlying neural classification model unchanged. Therefore, any difference in classification performance between the two configurations can be attributed to the additional post-processing stage.

Classification Accuracy

The standalone BERT model achieved an accuracy of 92.11% on the test set. After integrating the proposed rule-based post-processing layer, the accuracy increased to 95.01%.

Table 1. *Accuracy Improvement Table*

Model Configuration	Accuracy
BERT	92.11%
BERT + Post-processing	95.01%

The observed improvement of 2.90 percentage points demonstrates that the domain-specific post-processing layer provides a substantial contribution to the classification performance. Importantly, this improvement was achieved without modifying or retraining the underlying BERT architecture.

The results indicate that a portion of the classification errors produced by the neural model can be resolved using explicit domain knowledge extracted from the characteristics of Turkish address data. In particular, the rule-based layer is designed to address cases involving business and institution names

used as spatial references, incomplete or noisy address structures, abbreviations, and conflicting lexical signals.

Effect of Domain-specific Post-processing

The performance difference between the two configurations demonstrates the complementary nature of neural and deterministic approaches. BERT provides contextual representations and generalization capabilities, allowing the model to handle address patterns that are not explicitly encoded in predefined rules. However, certain address descriptions contain highly specific structural or lexical information that can be difficult for a statistical model to interpret consistently.

The post-processing layer addresses these cases by applying domain-specific evidence after the initial prediction. Residential structural indicators, business-related terminology, public institution terminology, spatial expressions, and exclusion patterns are evaluated in combination. This allows the system to reconsider predictions when explicit address-specific evidence conflicts with the initial BERT output.

The increase from 92.11% to 95.01% suggests that these deterministic rules are able to correct a meaningful subset of errors without substantially changing the behavior of the underlying neural classifier. This is particularly relevant for production environments, where improving an already deployed model without requiring complete retraining can reduce development and operational costs.

Production-oriented Evaluation

An important characteristic of the proposed approach is that the performance improvement is obtained by adding a lightweight post-processing layer to an existing classification pipeline. The underlying BERT model remains unchanged, and the additional decision logic is implemented through deterministic text processing and pattern matching.

This architecture provides an operational advantage because domain-specific knowledge can be updated independently from the neural model. New business terminology, institution names, address structures, exceptional patterns, and frequently observed error cases can be incorporated into the rule sets without requiring the BERT model to be retrained.

The results therefore demonstrate not only an improvement in classification accuracy but also the practical value of combining learned contextual representations with explicitly encoded domain knowledge. The proposed framework provides a mechanism for improving the performance of an existing production model while maintaining a relatively simple and interpretable processing architecture.

Summary of Findings

The experimental comparison provides three main findings. First, the standalone BERT classifier provides a strong baseline with a test accuracy of 92.11%. Second, adding the domain-specific post-processing layer increases the accuracy to 95.01%, resulting in a 2.90 percentage-point absolute improvement. Third, this improvement is obtained without retraining or redesigning the underlying BERT classifier.

Overall, the results support the hypothesis that domain-specific deterministic processing can effectively complement transformer-based address classification. The combination is particularly useful for real-world Turkish address data, where linguistic variability, spatial references, and address-specific structures can create classification errors that are difficult to resolve through learned representations alone.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This study investigated the effectiveness of combining a BERT-based address classifier with a domain-specific rule-based post-processing layer for Turkish address-type classification in a last-mile logistics environment. The classification task considered three destination types: residential addresses, private businesses, and public institutions. The main motivation was to address classification errors arising from the noisy, heterogeneous, and context-dependent nature of real-world address descriptions.

The experimental results demonstrate a clear benefit from incorporating domain-specific post-processing into the neural classification pipeline. The standalone BERT model achieved an accuracy of 92.11% on the test set, whereas the proposed BERT and post-processing framework achieved 95.01%. This represents an absolute improvement of 2.90 percentage points. Since the underlying BERT model remained unchanged, the observed improvement can be attributed to the additional domain-specific processing layer.

The results indicate that neural and deterministic approaches can provide complementary sources of information for address classification. BERT is capable of learning contextual relationships and generalizing across diverse address patterns, while deterministic rules can explicitly represent domain knowledge that may be difficult to learn consistently from training data. This is particularly relevant for Turkish addresses, where abbreviations, spelling variations, incomplete address descriptions, business and institution names, and spatial references frequently occur.

One important contribution of the proposed approach is its handling of business and institution names used as spatial references. A business, hospital, school, or public institution may appear in an address without representing the actual destination. For example, an address may identify a residential location using an institution as a nearby landmark. A direct keyword-based classification strategy may interpret such terms as evidence for a business or institutional destination. The proposed spatial-reference and exclusion rules reduce this type of ambiguity by considering the contextual role of the detected expression within the address.

Another advantage of the proposed framework is its suitability for production environments. Improving an already deployed neural model often requires additional training data, model retraining, validation, and deployment processes. In contrast, the proposed post-processing layer can be updated independently when new domain-specific patterns or error cases are identified. This allows operational knowledge to be incorporated into the classification pipeline without modifying the underlying BERT architecture.

The interpretability of the rule-based component also provides an operational advantage. When a prediction is modified during post-processing, the correction can be associated with explicit lexical, structural, or spatial evidence. This makes the system easier to analyze and debug compared with a fully

neural decision process. Such interpretability can be particularly valuable in logistics applications, where classification errors may affect downstream operational decisions.

Despite these advantages, the proposed approach also has limitations. The rule-based component depends on manually defined patterns and therefore requires continuous maintenance as address terminology and operational data evolve. Overly broad rules may introduce false-positive corrections, while overly restrictive rules may fail to capture previously unseen address patterns. In addition, deterministic rules may not generalize as effectively as neural models to linguistic patterns that are not represented in the rule set. These limitations highlight the importance of maintaining a balance between explicit domain knowledge and learned representations.

Another limitation of the current evaluation is that the primary comparison is based on overall classification accuracy. Although the increase from 92.11% to 95.01% provides clear evidence of improvement, accuracy alone may not fully describe the behavior of the system across individual classes, particularly when the class distribution is not perfectly balanced. Future evaluations should therefore include class-level precision, recall, F1-score, macro-F1, and confusion matrices. An ablation study examining individual components of the post-processing layer could also determine which rule categories contribute most to the observed improvement.

Future work can further investigate adaptive approaches for maintaining the rule sets automatically. Error analysis from production predictions could be used to identify recurring patterns that are not currently represented in the post-processing layer. These patterns could subsequently be incorporated into the rule system or used to generate additional training data for the neural model. Another potential direction is a more tightly integrated hybrid architecture in which neural confidence scores and deterministic domain evidence are jointly considered during the final decision process.

In conclusion, the findings demonstrate that a domain-specific post-processing layer can substantially improve a transformer-based address classification system without requiring a redesign or retraining of the underlying neural model. The increase from 92.11% to 95.01% accuracy shows that explicit domain knowledge can effectively complement contextual representations learned by BERT. The proposed framework therefore provides a practical and interpretable strategy for improving address classification in real-world last-mile logistics systems, particularly in environments where address data exhibit substantial linguistic and structural variability.

AI-Based Photo Proof Validation for Last-Mile Delivery[2]

Ahmet ÇAY[1], Alaeddin TÜRKMEN[2] , Ayşe Dilara TÜRKMEN [3], Barış BAYRAM[4]

[1]E-mail: ahmet.cay @gmail.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[2]E-mail: alaeddin.turkmen@hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[3]E-mail: ayse.turkmen@hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

[4]E-mail: baris.bayram @hepsijet.com; Hepsijet, İstanbul / Türkiye.

Abstract

Last-mile delivery operations increasingly rely on photographic proof to verify successful deliveries when the customer is not available at the delivery location. These proof-of-delivery photos are sent directly to the customer, making their quality and content particularly important. Therefore, it is necessary to ensure that the photos include the required visual elements while excluding unwanted content. Manually inspecting thousands of such photos requires significant human effort. To address this challenge, an AI-based photo proof validation models were trained. The proposed solution combines YOLO and SigLIP models to identify objects and semantic patterns associated with valid delivery locations. The validation framework focuses on the presence of environmental indicators such as the package, door, and shoe cabinet. Moreover, the model was trained to identify faces, as faces are unwanted in these proof photos. Real-world delivery photographs are collected, labeled, and used to train and evaluate the models. Misclassified and unsuccessful samples are subsequently incorporated into the dataset to support iterative model improvement. Experimental results indicate that the developed models achieve F1-scores ranging between 0.82 and 0.91, demonstrating strong performance across different visual categories and delivery scenarios. In addition to model development, the solution is designed for integration into operational delivery workflows, enabling automated evaluation of newly submitted proof-of-delivery images. The proposed approach reduces dependence on manual image inspection and provides a scalable mechanism for improving photo proof quality and consistency. By combining object detection with vision-language representation learning, the study demonstrates the potential of AI-based validation systems to strengthen delivery verification, improve operational monitoring, and support more reliable last-mile logistics processes.

Keywords: last-mile delivery, proof of delivery, computer vision, YOLO, SigLIP, image validation

[2] Hepsijet'e destekleri için teşekkür ederiz.

Özet

Son kilometre teslimat operasyonları, müşterinin teslimat konumunda bulunmadığı durumlarda başarılı teslimatları doğrulamak için giderek daha fazla fotoğrafik kanıta dayanmaktadır. Bu teslimat kanıtı fotoğrafları doğrudan müşteriye gönderildiğinden, kalite ve içerikleri özellikle önemlidir. Bu nedenle, fotoğrafların gerekli görsel unsurları içermesini sağlarken istenmeyen içerikleri hariç tutmak gerekmektedir. Binlerce bu tür fotoğrafın manuel olarak incelenmesi önemli bir insan gücü gerektirmektedir.

Bu zorluğu ele almak amacıyla, yapay zekâ tabanlı bir fotoğraf kanıtı doğrulama modeli eğitilmiştir. Önerilen çözüm, geçerli teslimat konumlarıyla ilişkili nesneleri ve anlamsal örüntüleri tespit etmek için YOLO ve SigLIP modellerini birleştirmektedir. Doğrulama çerçevesi; paket, kapı, ayakkabılık ve benzeri teslimat bağlamı unsurları gibi çevresel göstergelerin varlığına odaklanmaktadır. Ayrıca model, bu kanıt fotoğraflarında istenmeyen unsurlar olan yüzleri tespit edecek şekilde eğitilmiştir.

Gerçek dünya teslimat fotoğrafları toplanmış, etiketlenmiş ve modellerin eğitimi ile değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yanlış sınıflandırılan ve başarısız örnekler, model geliştirmenin iteratif olarak desteklenmesi amacıyla daha sonra veri kümesine dahil edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen modellerin 0,82 ile 0,91 arasında F1 skorlarına ulaştığını ve farklı görsel kategoriler ile teslimat senaryolarında güçlü performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Model geliştirmenin yanı sıra, çözüm operasyonel teslimat iş akışlarına entegre edilecek şekilde tasarlanmış olup, yeni gönderilen teslimat kanıtı görüntülerinin otomatik olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Önerilen yaklaşım, manuel görüntü incelemesine olan bağımlılığı azaltmakta ve fotoğraf kanıtı kalitesini ve tutarlılığını iyileştirmek için ölçeklenebilir bir mekanizma sunmaktadır. Nesne tespiti ile görme-dil temsil öğrenimini birleştirerek bu çalışma, yapay zekâ tabanlı doğrulama sistemlerinin teslimat doğrulamasını güçlendirme, operasyonel izlemeyi iyileştirme ve daha güvenilir son kilometre lojistik süreçlerini destekleme potansiyelini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: son kilometre teslimat, teslimat kanıtı, bilgisayarlı görü, YOLO, SigLIP, görüntü doğrulama

1. Introduction

The final stage of a delivery process is operationally sensitive because a successful system must not only move a parcel to the correct address, but also produce reliable evidence that the delivery was completed as intended. In unattended delivery scenarios, photographic proof is commonly used to document the delivery location. The photo may be presented directly to the customer and can also be used by operational teams when a delivery is reviewed later. As the number of deliveries grows, however, the number of images that must be checked grows at the same rate.

This growth is not merely a matter of volume. As delivery networks expand into new regions, the visual diversity of proof-of-delivery photographs increases as well. Entrances, buildings, lighting conditions,

and camera angles differ substantially between a detached house, an apartment complex, a rural address, and a commercial unit. Any validation approach must therefore be capable of considering a wide range of visual conditions rather than a narrow set of idealized examples. This variability is one of the central motivations for adopting a learning-based approach instead of a fixed set of manual rules.

A useful proof-of-delivery image should contain visual evidence that is consistent with the delivery context. In practice, this can include the parcel itself and environmental cues such as a door, shoe cabinet, or other elements typically visible near a residential or business entrance. At the same time, the image should avoid content that is undesirable in a customer-facing delivery record. One important example is a clearly visible human face. These requirements turn photo proof validation into a multi-criteria computer vision problem rather than a simple image-quality check.

Beyond the presence or absence of specific objects, the acceptability of a proof photo is also shaped by contextual plausibility. A parcel photographed on a doorstep conveys different evidentiary value than the same parcel photographed in an unrelated location, even if the object detector identifies the parcel with equal confidence in both cases. Capturing this kind of contextual judgment is difficult to express as a small number of hand-written rules, which further motivates the use of models capable of representing broader scene semantics in addition to discrete object detections.

Manual review can address these requirements for small image volumes, but it becomes expensive and difficult to scale when thousands of images are generated. Human reviewers may also apply criteria inconsistently, especially when the visual context is ambiguous. Fatigue, differing interpretations of ambiguous scenes, and the sheer repetitiveness of the task can all contribute to inconsistent decisions across reviewers and over time. This study therefore investigates an automated validation framework that combines object-level detection with semantic image understanding.

YOLO is used as the object-detection component because the YOLO family provides a direct and efficient approach for locating visual objects in an image [1]. Its single-pass detection design makes it well suited to high-throughput operational settings, where images must be processed quickly and at scale without introducing significant latency into the delivery workflow. SigLIP is included as a complementary vision-language representation model capable of measuring semantic compatibility between images and textual concepts [2]. This allows the framework to reason about scene-level concepts, such as whether an image resembles a plausible entrance area, in a way that complements the object-centric output of the detector.

The main contribution of this work is an operationally oriented photo-proof validation pipeline for last-mile delivery. Rather than relying on a single visual signal, the framework evaluates multiple positive and negative cues, incorporates real delivery images into model development, and uses failed or misclassified cases as input for iterative improvement. The resulting system is intended not only as an offline model experiment, but also as a component that can be integrated into the live delivery workflow.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 describes the proposed methodology, including the validation criteria, dataset preparation process, and the combined YOLO and SigLIP architecture. Section 3 presents the experimental results and discusses how the system is integrated into operational delivery workflows. Section 4 discusses the broader implications and limitations of the approach, and Section 5 concludes the paper and outlines directions for future work.

2. Methodology

2.1. Problem Definition and Validation Criteria

The task is formulated as automated validation of a proof-of-delivery photograph. A valid image should provide sufficient evidence that the parcel was left in an appropriate delivery environment, while unwanted visual content should be flagged. Because the scene can vary substantially across addresses, the decision cannot depend on a single rigid template. The framework instead evaluates a set of visual cues that collectively describe whether the image is consistent with a plausible delivery scene.

Positive cues include the presence of the parcel and environmental indicators related to an entrance area, such as a door or shoe cabinet. These cues are useful because a parcel alone may not provide enough information about where the delivery occurred. Negative cues are handled separately. In the current use case, face presence is treated as unwanted because the photograph is intended to document the delivery rather than the people at the location.

Framing the problem in terms of separate positive and negative cue categories, rather than a single overall accept/reject label, has practical benefits. It allows each cue to be validated, monitored, and improved independently, and it makes the reasoning behind a decision more transparent to operational staff reviewing flagged images. When an image is rejected, the specific cue or cues responsible for the rejection can be reported alongside the decision, which shortens the time needed to diagnose recurring issues in the field.

Table 1 summarizes the main visual cues currently used by the validation framework, together with their role in the decision process and the validation purpose they serve. This set of cues is not intended to be exhaustive or permanent; it reflects the categories that were most relevant to the delivery scenarios observed during development and can be extended as new requirements or failure modes are identified.

Table 1. *Main visual cues used in photo proof validation*

Visual cue	Role	Validation purpose
Package	Required / positive	Confirms that a parcel is visible in the proof image.
Door / entrance context	Positive	Provides contextual evidence that the image represents a delivery location.
Shoe cabinet and similar cues	Positive	Supports semantic interpretation of a residential or entrance-area scene.
Human face	Unwanted	Flags content that should not appear in the customer-facing proof photo.

2.2. Dataset Preparation and Iterative Labeling

The model-development process uses real-world photographs produced during last-mile delivery operations. Images are labeled according to the visual elements required by the validation framework. The labeling process supports both object-level learning and semantic assessment. In particular, visual categories representing the package, delivery-environment indicators, and unwanted content are included so that the system can distinguish between acceptable and problematic photo proof scenarios.

Because the images originate from live delivery operations rather than a controlled photography setup, they naturally capture the kind of variation the system must eventually handle: differing camera hardware, inconsistent framing, motion blur, mixed indoor and outdoor lighting, and partial occlusion of relevant objects. Relying on operational imagery for labeling, rather than staged or synthetic examples, helps ensure that the resulting dataset reflects the conditions the deployed model will actually encounter.

A key part of the workflow is the treatment of unsuccessful samples. Instead of considering model development complete after the first training cycle, misclassified images and operational failure cases are collected and reviewed. Relevant cases are then added to the labeled dataset and used in later training or evaluation cycles. This feedback loop is important because field images contain considerable variation in lighting, framing, background structure, camera angle, object appearance, and visual clutter. Iterative enrichment of the dataset allows the system to gradually represent this variability more effectively.

This iterative process also has organizational value beyond model accuracy. By systematically reviewing failure cases rather than treating them as isolated errors, the team can identify recurring

patterns that point to gaps in the labeling scheme itself, such as an environmental element that appears frequently in the field but was not originally anticipated as a validation category. Addressing these gaps at the dataset level, rather than only at the model level, helps keep the validation criteria aligned with real operating conditions over time.

2.3. YOLO and SigLIP-Based Validation

The proposed approach combines two complementary model families. The YOLO component is responsible for detecting and localizing concrete visual elements. Object detection is particularly suitable for elements such as a parcel or a face because their presence and approximate location in the image are directly relevant to the validation decision. The original YOLO formulation introduced a unified neural-network approach that predicts bounding boxes and class probabilities directly from the image [1]. In the present framework, this object-centric capability is used as one source of evidence for photo proof validation.

Because YOLO performs detection in a single forward pass over the image, it is well suited to environments where many images must be processed continuously and where prediction latency directly affects the responsiveness of the delivery workflow. This efficiency is one of the practical reasons the YOLO family was selected as the object-detection backbone, in addition to its established performance on general-purpose object localization tasks.

SigLIP provides a second source of information based on semantic image-language representations. SigLIP was introduced as a vision-language pre-training approach using a pairwise sigmoid loss for image-text pairs [2]. In this application, the model is used to support the recognition of broader scene-level patterns that may be difficult to represent as a small set of rigid object boxes. This is valuable for delivery environments because the same functional context can appear visually different across buildings and addresses.

For example, an entrance area may be identifiable as such through a combination of cues, such as flooring, door framing, and nearby furniture, rather than through any single discrete object. A purely object-detection-based approach would need an explicit detector for every such contextual element, which is difficult to scale as new environment types are encountered. A vision-language representation model, by contrast, can capture some of this contextual plausibility more directly by comparing the overall image against textual descriptions of expected delivery scenes.

The outputs of the two components are interpreted together. Object-level detections answer questions such as whether a parcel or an unwanted face is visible, while semantic representations help assess whether the overall image resembles an appropriate delivery scene. The resulting validation decision can therefore use multiple signals instead of depending on a single detector. This hybrid design is intended to improve robustness in operational photographs, where no single visual feature is guaranteed to be present in exactly the same form.

In addition to improving robustness, combining the two model families provides a degree of redundancy in the validation process. When the object detector produces a low-confidence or ambiguous result for a given cue, the semantic representation can still contribute useful evidence toward the final decision, and vice versa. This reduces the extent to which a single weak signal from either component can dominate the outcome, which is particularly useful given the natural variability of field-collected delivery photographs.

3. Experimental Results and Operational Integration

The developed models were evaluated using labeled delivery photographs and category-level classification/detection outcomes. Across the evaluated visual categories and delivery scenarios, F1-scores ranged from 0.82 to 0.91. This range indicates that the models provide a useful balance between precision and recall for automated screening. In an operational setting, this balance is important because both types of error have practical consequences: false acceptance can allow an inadequate proof image to reach the customer, while false rejection can unnecessarily interrupt or delay a valid delivery flow.

The reported performance also shows why the combined architecture is useful. Some validation requirements are naturally object-centric, whereas others depend on the overall context of the photograph. A parcel or face can often be localized directly, while the interpretation of whether a scene resembles an entrance or delivery environment may depend on a broader combination of visual elements. Combining YOLO and SigLIP allows the system to address these two levels of visual reasoning within the same validation process.

This distinction between object-centric and context-centric evaluation is also useful when investigating errors. When the validation outcome for a given cue is incorrect, examining whether the responsible component was the object detector or the semantic model helps narrow down whether the issue relates to localization of a specific element or to a broader misinterpretation of the scene, which in turn guides where additional labeled data or model refinement is most likely to help.

The model is designed for integration into the operational photo-proof workflow. Once a courier submits a delivery image, the validation component can evaluate the image before or during downstream processing. The model output can be used to flag images that do not contain sufficient delivery evidence or that include unwanted visual content. Depending on operational rules, the result can support automatic acceptance, a request for a new image, or routing to an exception-review process. The aim is not necessarily to remove human review entirely, but to concentrate human attention on uncertain or problematic cases rather than on every submitted photograph.

This staged handling of outcomes also allows the system to be tuned according to operational priorities. In workflows where customer experience is highly sensitive to delay, the acceptance threshold can be set to favor faster automatic approval, with a smaller share of borderline cases routed to manual review. In workflows where the accuracy of the proof record is more critical than processing speed, thresholds can instead be set more conservatively, increasing the share of images sent for

exception review. This flexibility allows the same underlying models to be adapted to different operational contexts without retraining.

Production-oriented model improvement is treated as a continuous process. Unsuccessful samples collected after deployment are valuable because they reveal image patterns that may be underrepresented in the original labeled data. These cases can be labeled and included in future training cycles, while additional environment-specific categories can be introduced when recurring failure patterns are observed. In this way, the photo validation system can evolve together with the operational environment rather than remaining a static model.

4. Discussion

The main operational advantage of automated photo-proof validation is scalability. A rules-only system may be simple to implement but is limited when the relevant evidence is visual and highly variable. Conversely, fully manual control can capture nuanced cases but requires continuous human effort and can create bottlenecks. The proposed approach occupies a middle ground by using computer vision to perform repeatable first-line validation while preserving the possibility of manual review for exceptions.

This middle-ground positioning is particularly relevant as delivery volumes scale. A purely manual process that is adequate at a small operational scale can become a significant bottleneck as volumes increase, whereas a fully automated system without any human oversight risks propagating systematic errors without correction. By allocating routine, high-confidence cases to the automated pipeline and reserving human attention for ambiguous or flagged images, the framework aims to scale review capacity without a proportional increase in staffing or a corresponding loss of oversight.

The framework also highlights the importance of defining validation in terms of both inclusion and exclusion. A photograph may contain a parcel and still be unsuitable if it lacks meaningful delivery context. Similarly, an otherwise valid scene may contain a face that should not be included in a customer-facing proof image. Treating these signals separately makes the validation criteria easier to extend. New positive indicators can be introduced as the operational need evolves, and new unwanted-content classes can be added without redesigning the entire pipeline.

This modularity is expected to be increasingly valuable as the system is deployed across a wider range of delivery contexts. Requirements that are appropriate for one region or customer segment, such as which environmental cues count as sufficient delivery evidence, may not generalize directly to another. A validation framework built around independently evaluated cues can accommodate such regional or operational differences by adjusting the relevant cue set, rather than requiring a full redesign of the underlying models.

Several limitations should be considered when interpreting the results. Delivery photographs are inherently heterogeneous, and performance may vary with image quality, camera angle, lighting, occlusion, building type, and regional differences in entrance environments. The reported F1-score

range summarizes the evaluated categories but does not imply identical performance for every possible field condition. Continued collection of difficult examples and periodic re-evaluation are therefore necessary for maintaining performance after integration.

A further consideration is that visual validation, however accurate, addresses only one dimension of delivery-proof reliability. Factors such as GPS accuracy, delivery timestamps, and courier-reported status are typically evaluated through separate operational checks. The photo-proof validation framework described here is best understood as one component within a broader verification process, rather than as a complete substitute for all forms of delivery-confirmation evidence.

5. Conclusion

This study presents an AI-based approach for validating proof-of-delivery photographs in last-mile logistics. The solution combines YOLO-based object detection with SigLIP-based semantic image understanding to evaluate both concrete visual elements and broader delivery-scene context. The framework checks for required indicators such as a package and entrance-related cues while also detecting unwanted content such as human faces.

Evaluation results show F1-scores between 0.82 and 0.91 across the assessed categories, supporting the feasibility of automated screening in operational delivery workflows. The system is designed to reduce the amount of manual inspection required for high-volume image streams while improving the consistency of photo-proof quality checks. Its iterative feedback mechanism further enables failed and misclassified examples to be incorporated into later model-improvement cycles.

Taken together, these results suggest that a hybrid object-detection and vision-language approach can offer a practical balance between automation and reliability for a task that is otherwise labor-intensive to perform manually at scale. The separation of validation criteria into independently assessed positive and negative cues also provides a structure that can be extended as new operational requirements emerge, without requiring a complete redesign of the underlying system.

Future work will focus on expanding the diversity of labeled field data, refining class-specific thresholds, and measuring the effect of automated validation on operational outcomes after wider deployment. Additional contextual classes can also be introduced as new failure modes are identified. Further directions include exploring more fine-grained scene-understanding categories, evaluating the framework across a broader set of geographic regions and delivery formats, and studying how automated validation outcomes correlate with downstream indicators such as customer complaints or redelivery requests. Overall, the results indicate that combining object detection and vision-language models can provide a practical and scalable foundation for more reliable photographic delivery verification.

References

[1] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779–788.

[2] X. Zhai, B. Mustafa, A. Kolesnikov, and L. Beyer, "Sigmoid Loss for Language Image Pre-Training," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2023, pp. 11941–11952.

Ultrasound-Induced Release Evaluation of Chitosan Nanoparticles Encapsulating Methylene Blue-Carbon Dots

Aslı Naz TOY[1], Buse DURAK[2], İlknur GÜRTAŞ[3], Nermin TOPALOĞLU[4], Didem ŞEN KARAMAN[5]

[1]E-mail: toyaslinaz@outlook.com; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir / Türkiye.
[2]E-mail: busedurak_@hotmail.com; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir / Türkiye.
[3]E-mail: igurtas274@gmail.com; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir / Türkiye.
[4]E-mail: nermin.topaloglu@ikcu.edu.tr; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir / Türkiye.
[5]E-mail: didem.sen.karaman@ikcu.edu.tr; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir / Türkiye.

Özet

Kanser dünya genelinde en sık görülen hastalıklardan biridir ve malign hücrelerin kontrolsüz proliferasyonu sonucu tümör isimli kitlelerin oluşumu ve yayılmasıyla karakterize olan bir hastalıktır. Nanotaşıyıcı ilaç taşıma sistemlerinin kanser tedavisindeki kullanımıyla yüksek özgüllükle, düşük yan etkiye sahip yeni kanser tedavileri üzerine araştırmalar son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir. Kanser tedavisinde yenilikçi bir yaklaşım olarak iyonik jelasyon ile sentezlenmiş kitosan nanoparçacığa (KNP) hidrotermal sentezle sentezlenen metilen mavisi karbon noktaları (MM-KN) enkapsüle edilmiş bir nano-taşıyıcı sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada bir dış uyaran olan ultrasonun nanotaşıyıcı sisteme uygulamasının ROS üretiminde ve MM-KN salımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda KNP'ler 0.25, 0.5, 1 mg/ml olarak pH'ı 6.8 ve 7.4 olan iki fosfat tamponlu salin PBS tamponunda seyreltilmiş ve 1 dk boyunca ultrason uygulamasına tabi tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: kitosan nanoparçacık, metilen mavisi karbon noktası ,nanotaşıyıcılar, ultrason, salım profili.

Abstract

Cancer is one of the most commonly seen diseases worldwide and it is a disease characterized by the formation and spread of masses called tumors as a result of the uncontrolled proliferation of malignant cells. The use of nanocarrier drug delivery systems in cancer treatment, which offer high specificity and low side effects, has recently garnered significant interest in research on new cancer therapies. As an innovative approach in cancer treatment, a nano-carrier system has been developed by encapsulating methylene blue carbon dots (MB-CD) synthesized by hydrothermal synthesis into chitosan nanoparticles (CSNP) synthesized by ionic gelation. In the study, the effect of applying ultrasound, an external stimulus, to the nano-carrier system on ROS production and MB-CD release

was investigated. In this context, CSNPs were diluted in two phosphate-buffered saline PBS buffers with pH 6.8 and 7.4 at concentrations of 0.25, 0.5, and 1 mg/ml, and subjected to ultrasound treatment for 1 minute.

Keywords: chitosan nanoparticle, methylene blue carbon dot, nanocarriers, ultrasound, release profile.

INTRODUCTION

Cancer is a disease characterized by the formation and spread of cell masses called tumors, resulting from the disruption of the programmed cell death mechanism in malignant cells (Kenchegowda et al., 2021; Xia et al., 2021). Cancer, which affects 11 million people each year and is one of the leading causes of death worldwide, has various treatment methods available (Kenchegowda et al., 2021; Xia et al., 2021). Currently used cancer treatments include traditional methods such as surgical intervention, hormone therapy, antibody therapy, immunotherapy, radiotherapy, and chemotherapy (Li et al., 2021). In traditional treatment methods, there are various limitations such as lack of specificity to the diseased area, unwanted damage to healthy tissues, and low solubility of chemotherapeutic agents, and researchers aim to develop new treatment methods to overcome these limitations (Saneja et al., 2018; Sengupta, Bhattacharjee, Basu, Kar, & Moulik, 2026). In recent years, nanocarriers have come to the forefront in cancer treatment due to their potential to enable drug penetration in deep tissues, controlled drug release in tumor regions, prolong the circulation time of therapeutic agents, increase drug solubility, and maintain low levels of damage to healthy tissues (Saneja et al., 2018; Sengupta, Bhattacharjee, Basu, Kar, & Moulik, 2026). In recent times, the support of nanocarriers with external stimuli such as ultrasound to ensure the controlled and effective release of therapeutic agents has garnered significant interest in cancer treatment (Sengupta, Bhattacharjee, Basu, Kar, & Moulik, 2026). When ultrasound is applied to the nanocarrier at a specific frequency and intensity, the formation, oscillation, and subsequent collapse of microbubbles result in acoustic cavitation, which causes the emergence of mechanical forces. The mechanical forces generated disrupt the stability of the nanocarrier, enabling drug release (Sengupta, Bhattacharjee, Basu, Kar, & Moulik, 2026). As a result of the ultrasound stimulation of nanocarriers, the accumulation of the therapeutic agent in the target area can be increased, allowing cells to take up more of the therapeutic agent and ensuring that the therapeutic agent is released only in the target area (Tharkar, Varanasi, Wong, Jin, & Chrzanowski, 2019). In cancer treatments involving a combination of ultrasound and nanocarriers, therapeutic agents can be encapsulated in nanoparticles, and the efficacy of the encapsulated therapeutic agent can be supported by ultrasound (Tharkar, Varanasi, Wong, Jin, & Chrzanowski, 2019). In this way, the specificity of the therapeutic agent, its transport efficiency, and the amount accumulated in the target area can be increased, leading to the development of a more effective treatment (Tharkar et al., 2019). Additionally, photodynamic therapy (PDT) is used to treat cancer (Ji, Wei, & Yang, 2022). PDT is fundamentally the excitation of a photosensitizer by absorbing light at a specific wavelength and converting oxygen into reactive oxygen species (ROS) that have a cytotoxic effect on cancer cells in the environment. In addition to these benefits, tumor hypoxia can lower PDT efficacy, and during PDT, the environmentoxygen consumption can worsen tumor hypoxia, creating a vicious cycle that lowers PDT efficacy. Furthermore, drawbacks

like the incapacity of a particular wavelength of light to penetrate the targete tissue depth restrict PDT's efficacy (Ji, Wei, & Yang, 2022). The replacement of the energy source used in PDT with ultrasound is called Sonodynamic therapy (SDT) (Li et al., 2021). As a result of the stimulation of ultrasound in SDT, ROS production can lead to the destruction of cancer cells. Despite the limited tissue penetration encountered in PDT, ultrasound in SDT provides an advantage by being able to penetrate deeper tissues. However SDT can also trigger tumor hypoxia (X.-X. Xu et al., 2022). Recently, a combined treatment method encompassing PDT and SDT has gained importance in nanomedicine. The combined use of the two treatments has the potential to reduce each other's disadvantages and provide a more effective treatment (Li et al., 2021).

Considering this information, it is anticipated that cancer cells can be killed through ROS production in the treatment method, while drug release can be achieved more controllably and efficiently through the effect of ultrasound. When ultrasound is applied to a nano-carrier system encapsulated with chitosan nanoparticles (CSNP) containing a methylene blue carbon dot (MB-CD) with photodynamic properties, it is expected that the ROS production and release efficiency of MB-CD will be increased.

METHODS

1. Synthesis and Characterization of Methylene Blue-Carbon Dots

1.1. Synthesis of Methylene Blue Carbon Dots (MB-CD)

MB-CDs were synthesized using a hydrothermal reactor. 15 mg of methylene blue (MB) was dissolved in 15 mL of deionized water (DIW). After the MB had completely dissolved, polyethylene glycol 400 (PEG400) was added, and the mixture was then transferred to the hydrothermal reactor and synthesized at 180°C for 6 and 18 hours. At the end of the reaction times, the solutions were cooled to room temperature, and the supernatant was separated by centrifugation at 8000 rpm for 20 min. The resulting supernatant was filtered through a polyethersulfone (PES) syringe filter with a pore size of 0.22 μm to remove large particles. To remove unreacted MB, the MB-CD were dialyzed against water for 18 hours using a dialysis membrane (MWCO: 3.5–5 kDa). The resulting carbon dots were stored at +4°C in the dark (Ren et al., 2019). The chemical structure of carbon dots was analyzed by UV-Visible spectrophotometry. Measurements were performed in the 200–800 nm range, and the π–π* transition of the carbon double bond (C=C) was examined (González-González et al., 2022).

1.2. Determination of the Singlet Oxygen Production Capacity of MB-CD

Therapeutic efficacy in PDT and SDT is related to the amount of singlet oxygen generated following light and ultrasound excitation of photosensitizers and sonosensitizers (Rengeng, Qianyu, Yuehong, Zhongzhong, & Libo, 2017; Wang, Du, & Chen, 2025; Z. Xu et al., 2026). Therefore, the amount of singlet oxygen produced was investigated using two different sets of experiments. The singlet oxygen production capacity of the prepared MB-CD was determined using 1,3-diphenylisobenzofuran (DPBF).

Determination of the Amount of Singlet Oxygen Formed After Laser Application: MB-CDs were diluted at ratios of 1:2, 1:5, and 1:10, and 8 mM DBPF was added. Subsequently, a 655 nm laser at 100

J/cm² – 450 mW was applied to the carbon dots (Lim, Oak, Heo, & Kim, 2013). Absorbance measurements were taken after laser application, and the amount of singlet oxygen was calculated using the following equation (Bakay, Pamukçu, Sen Karaman, & Topaloğlu, 2025; Durak, Erdogan, & Sen Karaman, 2025):

$$\text{Singlet Oxygen (\%)} = \frac{OD_{\text{before laser/ultrasound}} - OD_{\text{after laser/ultrasound}}}{OD_{\text{before laser/ultrasound}}} \times 100$$

Determination of the Amount of Singlet Oxygen Formed After Ultrasound Application: The amount of singlet oxygen formed after SDT application will be examined using the dilution ratio at which maximum singlet oxygen production was observed after PDT application. MB-CDs will be diluted at the specified ratio, and 8 mM DPBF will be added. Subsequently, ultrasound treatment will be applied for 30 seconds, 1 min, and 2 min under conditions of 1 MHz frequency, 1 W/cm², and a 50% duty cycle (Fan, Wu, & Yeh, 2023a; Feng, Wu, Yang, Wu, & Wang, 2022). Following the treatment, absorbance measurements were taken, and the amount of singlet oxygen was determined using the equation above (Durak, Erdogan, & Sen Karaman, 2025).

2. Production and Characterization of Chitosan Nanoparticles and Carbon-Dots Encapsulated Chitosan Nanoparticles

2.1. Synthesis of Chitosan Nanoparticles (CSNP)

CSNPs were synthesized using the ionic gelation method, based on a modified version of the protocol proposed by Anandhakumar et al. (2017). The chitosan (degree of deacetylation >85%, MW < 200 kDa) was dissolved at room temperature in 1% (v/v) acetic acid at a concentration of 5 mg/mL. Sodium tripolyphosphate (TPP) was dissolved in DIW at a concentration of 0.84 mg/mL, and subsequently chitosan and TPP were diluted to 2 and 0.084 mg/mL, respectively. The TPP solution was added dropwise to the chitosan solution at high rpm, and the mixture was then stirred at room temperature for 30 min after reducing the stirring speed. After 30 min, the pH of the resulting solution was adjusted to 7 using 0.1 M sodium hydroxide (NaOH). After stirring for another 30 min, the resulting solution was centrifuged at 5000 rpm for 10 min. It was washed three times with DIW. The nanoparticle pellet was suspended in DIW and stored at +4°C (Anandhakumar, Krishnamoorthy, Ramkumar, & Raichur, 2017).

2.2. Preparation of MB-CD Encapsulated Nanoparticles (CSNP@MB-CD) and Determination of Encapsulation Efficiency

To prepare MB-CD encapsulated CSNPs, a chitosan solution and MB-CDs were combined in a 1:1 volume ratio and stirred for 30 min. The CSNP preparation steps were then carried out as described in Section 2.1. The supernatant of the resulting nanoparticle solution was separated after the first centrifugation and used to calculate the encapsulation efficiency. The obtained nanoparticle solution was stored at +4°C in the dark (Anandhakumar, Krishnamoorthy, Ramkumar, & Raichur, 2017). To determine the encapsulation efficiency, the absorbance of the supernatant was measured in the 300–800 nm range. To determine the amount of MB-CD contained in the supernatant, a calibration curve was

prepared using MB-CD in the range of 50–1000 µg/mL. The encapsulation efficiency (EE) was calculated using the following equation (Sultan et al., 2023):

$$EE\ (\%) = \frac{(\text{Initial amount of MB-CD}) - (\text{Amount of MB-CD in the supernatant})}{\text{Initial amount of MB-CD}} \times 100$$

2.3. Dynamic Light Scattering (DLS) Measurements of Nanoparticles

The zeta potential, hydrodynamic diameter, and polydispersity index of the nanoparticles were determined using the Dynamic Light Scattering (DLS) method. The nanoparticles were diluted in a 1:1 ratio in sodium acetate buffer (20 mM, pH 5.5) and then measured (Anandhakumar, Krishnamoorthy, Ramkumar, & Raichur, 2017).

2.4. Determination of the Effect of Ultrasound Treatment on MB-CD Release

The literature has shown that ultrasound treatment can affect drug release from nanocarriers (Lin et al., 2023). For this reason, the effect of ultrasound treatment on MB-CD release was investigated using the centrifugation method (Q. Xu et al., 2009). Since CSNPs exhibit higher drug release in acidic environments, the release studies were conducted in PBS under conditions of pH 6.8 and physiological pH 7.4 (Wu et al., 2025; Zhu, Marin, Xiao, Gillies, & Siqueira, 2021). The nanoparticles were dispersed in PBS at three different concentrations, and the ultrasound treatment duration was set to 1 min based on the results of the singlet oxygen production capacity. The treatment was applied under conditions of 1 MHz frequency, 1 W/cm² intensity, and a 50% duty cycle (Fan et al., 2023; Feng, Wu, Yang, Wu, & Wang, 2022). Following ultrasonic treatment, the nanoparticles were removed by centrifugation at 5000 rpm for 2 min, and absorbance measurements were taken of the resulting supernatant. To determine the amount of carbon dots contained in the supernatants, a calibration curve was prepared in PBS within the range of 50–1000 µg/mL (Q. Xu et al., 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Synthesis and Characterization of MB-CD

MB-CDs were synthesized from MB using a hydrothermal reactor for 6 and 18 hours, and their chemical structure was examined using UV-Vis spectrophotometry. Absorbance measurements of the synthesized carbon dots were taken in the 200–800 nm wavelength range, and the resulting spectra are shown in Figure 1. When the obtained spectra were compared, the characteristic peak value of MB at 667 nm shifted to 655 nm after the 6-hour synthesis (Cwalinski et al., 2020). The increase in absorbance observed at 245 nm in the MB-CD spectrum indicates core carbonization resulting from the π–π* transition of the carbon double bond (C=C) due to the expansion of the aromatic sp² network (Ren et al., 2019). Upon examining the spectrum of the 18-hour synthesis, it was observed that the peaks had largely faded. It was hypothesized that this situation might be due to excessive carbonization caused by the long synthesis time (Asri et al., 2026). Based on the spectra obtained, the remainder of the study was conducted using a 6-hour synthesis time.

The MB-CDs were diluted at three different ratios, and singlet oxygen production was investigated using a 655 nm laser. Based on the data obtained, the highest singlet oxygen production, at

93.8 ± 2.3%, was observed at a 1:10 dilution ratio. The literature indicates that singlet oxygen production decreases as the photosensitizer concentration increases, and this finding is matched by our results (Szewczyk & Mokrzyński, 2025). Since the highest singlet oxygen production was observed at a 1:10 ratio, this ratio was selected for encapsulation into the nanoparticles. The obtained data are presented in Table 1. The effect of ultrasound application on singlet oxygen generation was investigated by applying ultrasound for three different durations, and the resulting graph is presented in Figure 2.

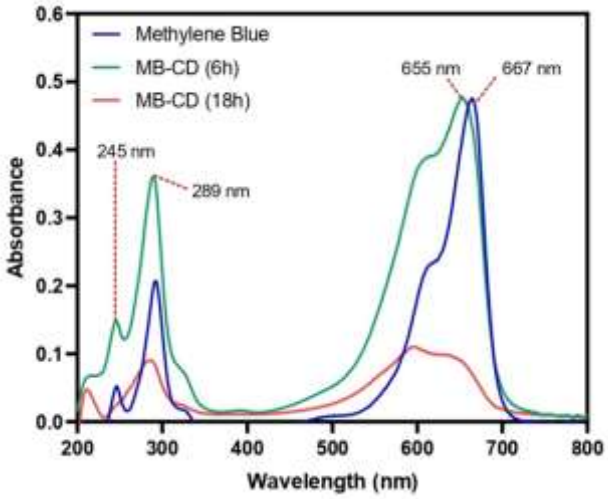


Figure 1. UV-Vis spectrum of MB and MB-CDs

The amount of singlet oxygen generated was calculated as 13.5 ± 3.4% following 30 seconds, 5.9 ± 2.0% following 1 min, and 11.6 ± 2.3% following 2 min. Based on the obtained data, no significant relationship was observed between the ultrasound application duration and singlet oxygen generation. Therefore, 1 min was selected as the ultrasound application duration for the carbon dot release study, in accordance with the duration reported in the literature (Fan, Wu, & Yeh, 2023).

Table 1. Singlet oxygen production percentages of the prepared MB-CDs

MB-CD Ratios	Singlet Oxygen (%)
1:2	76.8 ± 4.6
1:5	83.9 ± 7.8
1:10	93.8 ± 2.3

2. Synthesis and Characterization of CSNP and MB-CD Encapsulated Nanoparticles

CSNPs were synthesized using the ionic gelation method with TPP. For MB-CD encapsulation, the chitosan and MB-CD solutions were combined in a 1:1 ratio. The encapsulation efficiency was calculated to be 67.1 ± 0.8%. DLS measurements of the resulting nanoparticles were performed using a

sodium acetate buffer (20 mM, pH 5.5) and are presented in Table 2. Analysis of the DLS measurements revealed an increase in the nanoparticle's zeta potential, hydrodynamic diameter, and polydispersity index following MB-CD encapsulation. The nanoparticles are positively charged due to the protonation of chitosan's amino groups (-NH_2) (Nohooji et al., 2025). The zeta potential value is high, particularly at acidic pH values, due to increased protonation of chitosan (Yang, Dahlström, Edlund, Lindman, & Norgren, 2019). The hydrodynamic diameters of the obtained nanoparticles were found to be above 1000 nm; a review of studies in the literature revealed that a high chitosan ratio and a low TPP ratio cause an increase in the nanoparticle's diameter (Des Bouillons-Gamboa et al., 2024; Sreekumar, Goycoolea, Moerschbacher, & Rivera-Rodriguez, 2018).

Table 2. DLS measurements of nanoparticles

	Hydrodynamic diameter (nm)	Polydispersity index (%)	Zeta potential (mV)
CSNP	1699.2 ± 6.87	27.4 ± 3.5	23.7 ± 1.4
CSNP@MB-CD	1790.8 ± 330.1	31.8 ± 0.7	25.7 ± 0.3

The effect of ultrasound treatment on carbon nanoparticle release was investigated in PBS at two different pH values. The nanoparticles were diluted to concentrations of 0.25, 0.5, and 1 mg/mL, dispersed in PBS, and subjected to ultrasonic treatment. In accordance with information in the literature, the treatment duration was set to 1 min (Fan, Wu, & Yeh, 2023). The obtained data are presented in Figure 2.

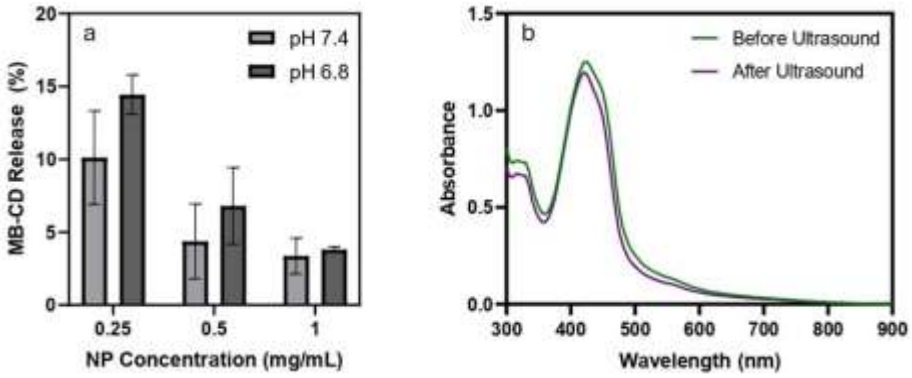


Figure 2. a) Release percentage of MB-CD from the nanoparticles. b) Singlet oxygen production after 1 min ultrasound treatment.

When the MB-CD release percentages from the CSNPs were examined, greater MB-CD release occurred in an acidic pH compared to a neutral pH. This is due to the protonation of the amino groups in chitosan in an acidic environment, resulting in a positive charge; as the positive charges repel each other, the chitosan chains loosen, begin to dissolve, and drug release increases as a result of this dissolution (Yang et al., 2019; Zhu, Marin, Xiao, Gillies, & Siqueira, 2021). When the nanoparticle

concentration increased, the release amount from the MB-CD decreased at both pH values. According to information in the literature, ultrasonication triggers the depolymerization of chitosan (Rostami, Kashanian, & Askari, 2013; Tang, Huang, & Lim, 2003). Ultrasound creates microbubbles in the liquid medium and causes these bubbles to burst. The bursting of these bubbles creates stress in the medium, and this stress triggers the depolymerization of chitosan. Enayati et al. (2013) observed that as the nanoparticle concentration in the medium increased, the amount of drug released decreased due to an increase in polymer content, a finding that aligns with our results (Enayati, Mohazey, Edirisinghe, & Stride, 2013).

CONCLUSION

In this study, ultrasound application was performed on a CSNP system encapsulated with MB-CD to see whether it supports drug release and ROS production. It was observed that the carbon dot in the nano-based drug carrier system behaved like a photosensitizer with PDT and produced ROS. The MB-CD ratio with the highest ROS production was selected, and the CSNPs were encapsulated with MB-CD at this ratio. The effect of ultrasound on release and ROS production was investigated by applying ultrasound for 1 minute to nanoparticles prepared in different concentrations and PBS with two different pH values. Our study has shown that the drug release efficiency of the CSNP system encapsulated with MB-CD can be enhanced by ultrasound. When MB-CDs were activated by ultrasound, it was shown that the release of MB-CD increased, but there was no effect on increasing ROS production. Compared to traditional anti-cancer treatments, the use of ultrasound, which has very few side effects, as a supportive method for drug release in cancer treatment is seen as a highly promising approach in terms of increasing the effectiveness of cancer treatment and reducing side effects. In future studies, the application of ultrasound to support the release efficiency of drug delivery systems encapsulated with a specific agent, to enhance the effectiveness of cancer treatment, presents a promising approach.

ACKNOWLEDGMENTS

Didem Şen Karaman gratefully acknowledges the Turkish Academy of Sciences through the Outstanding Young Scientists Award Program (TÜBA-GEBİP 2023). The authors would like to acknowledge Prof. Dr. Aygül Küçükgülmez Yandım, Department of Seafood Processing Technology, Faculty of Fisheries, Çukurova University, for providing chitosan. The authors would like to thank Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal Ruhi, Biophotonics Labotatory, Institue of Biomedical Engineering, Boğaziçi University, for providing ultrasound device. The authors also would like to thank Sude Çelikpençe for her valuable contribution to the assessment of singlet oxygen amount following ultrasound treatment.

REFERENCES

Anandhakumar, S., Krishnamoorthy, G., Ramkumar, K. M., & Raichur, A. M. (2017). Preparation of collagen peptide functionalized chitosan nanoparticles by ionic gelation method: An effective carrier system for encapsulation and release of doxorubicin for cancer drug delivery. Materials Science and Engineering: C, 70, 378–385. https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.09.003

Asri, N. A. N., Fen, Y. W., Fauzi, N. I. M., Kamaruzzaman, N. A., Khaidir, R. E. M., Hashim, H. S., … Abdullah, H. (2026). Mango peels-assisted synthesis of carbon quantum dots for potential optical sensing of diazinon. Scientific Reports, 16(1), 4341. https://doi.org/10.1038/s41598-025-33228-8

Bakay, E., Pamukçu, A., Sen Karaman, D., & Topaloğlu, N. (2025). Apoptosis-inducing photodynamic therapy via dual-wavelength responsive ICG/Ce6 incorporated mesoporous silica nanoparticles in prostate cancer cells. Photochemical & Photobiological Sciences, 24(8), 1243–1264. https://doi.org/10.1007/s43630-025-00759-y

Cwalinski, T., Polom, W., Marano, L., Roviello, G., D'Angelo, A., Cwalina, N., … Polom, K. (2020). Methylene Blue—Current Knowledge, Fluorescent Properties, and Its Future Use. Journal of Clinical Medicine, 9(11), 3538. https://doi.org/10.3390/jcm9113538

Des Bouillons-Gamboa, R. E., Montes De Oca, G., Baudrit, J. R. V., Ríos Duarte, L. C., Lopretti, M., Rentería Urquiza, M., … Vázquez, P. (2024). Synthesis of chitosan nanoparticles (CSNP): Effect of CH-CH-TPP ratio on size and stability of NPs. Frontiers in Chemistry, 12, 1469271. https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1469271

Durak, B., Erdogan, N., & Sen Karaman, D. (2025). Design and in vitro assessment of curcumin-eluting bilayer nanofiber coatings for improved endothelialization and blood compatibility of

Enayati, M., Mohazey, D. A., Edirisinghe, M., & Stride, E. (2013). Ultrasound-stimulated drug release from polymer micro and nanoparticles. Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials, 2(1), 3–10. https://doi.org/10.1680/bbn.12.00024

Fan, C.-H., Wu, N., & Yeh, C.-K. (2023). Enhanced sonodynamic therapy by carbon dots-shelled microbubbles with focused ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 94, 106342. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106342

Feng, X., Wu, C., Yang, W., Wu, J., & Wang, P. (2022). Mechanism-Based Sonodynamic–Chemo Combinations against Triple-Negative Breast Cancer. International Journal of Molecular Sciences, 23(14), 7981. https://doi.org/10.3390/ijms23147981

González-González, R. B., González, L. T., Madou, M., Leyva-Porras, C., Martinez-Chapa, S. O., & Mendoza, A. (2022). Synthesis, Purification, and Characterization of Carbon Dots from Non-Activated and Activated Pyrolytic Carbon Black. Nanomaterials, 12(3), 298. https://doi.org/10.3390/nano12030298

Ji, B., Wei, M., & Yang, B. (2022). Recent advances in nanomedicines for photodynamic therapy (PDT)-driven cancer immunotherapy. Theranostics, 12(1), 434–458. https://doi.org/10.7150/thno.67300

Kenchegowda, M., Rahamathulla, M., Hani, U., Begum, M. Y., Guruswamy, S., Osmani, R. A. M., … Gowda, D. V. (2021). Smart Nanocarriers as an Emerging Platform for Cancer Therapy: A Review. Molecules, 27(1), 146. https://doi.org/10.3390/molecules27010146

Li, Y., Xie, J., Um, W., You, D. G., Kwon, S., Zhang, L., … Park, J. H. (2021). Sono/Photodynamic Nanomedicine-Elicited Cancer Immunotherapy. Advanced Functional Materials, 31(12), 2008061. https://doi.org/10.1002/adfm.202008061

Lim, E. J., Oak, C.-H., Heo, J., & Kim, Y.-H. (2013). Methylene blue-mediated photodynamic therapy enhances apoptosis in lung cancer cells. Oncology Reports, 30(2), 856–862. https://doi.org/10.3892/or.2013.2494

Lin, S., Zhu, L., Li, Z., Yue, S., Wang, Z., Xu, Y., … Geng, J. (2023). Ultrasound-responsive glycopolymer micelles for targeted dual drug delivery in cancer therapy. Biomaterials Science, 11(18), 6149–6159. https://doi.org/10.1039/D3BM01101A

Nohooji, S. A., Ghadami, A., Pourmadadi, M., Yazdian, F., Kazemi, A., Mirshafiei, M., & Bastami, S. H. (2025). Chitosan/Carbon quantum dots/Polyvinylpyrrolidone nanocarrier for enhanced anticancer efficacy of doxorubicin. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 11, 100883. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100883

Ren, J., Weber, F., Weigert, F., Wang, Y., Choudhury, S., Xiao, J., … Petit, T. (2019). Influence of surface chemistry on optical, chemical and electronic properties of blue luminescent carbon dots. Nanoscale, 11(4), 2056–2064. https://doi.org/10.1039/C8NR08595A

Rengeng, L., Qianyu, Z., Yuehong, L., Zhongzhong, P., & Libo, L. (2017). Sonodynamic therapy, a treatment developing from photodynamic therapy. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 19, 159–166. https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.06.003

Rostami, E., Kashanian, S., & Askari, M. (2013). The Effect of Ultrasound Wave on Levothyroxine Release from Chitosan Nanoparticles. Advanced Materials Research, 829, 284–288. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.829.284

Saneja, A., Kumar, R., Arora, D., Kumar, S., Panda, A. K., & Jaglan, S. (2018). Recent advances in near-infrared light-responsive nanocarriers for cancer therapy. Drug Discovery Today, 23(5), 1115–1125. https://doi.org/10.1016/j.drudis.2018.02.005

Sengupta, S., Bhattacharjee, A., Basu, B., Kar, S., & Moulik, S. (2026). Ultrasound-Mediated Nanocarrier-Based Drug Delivery in Breast Cancer Therapy: Innovations and Outlook. Journal of Ultrasound in Medicine, 45(4), 735–752. https://doi.org/10.1002/jum.70117

Sreekumar, S., Goycoolea, F. M., Moerschbacher, B. M., & Rivera-Rodriguez, G. R. (2018). Parameters influencing the size of chitosan-TPP nano- and microparticles. Scientific Reports, 8(1), 4695. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23064-4

Sultan, M. H., Moni, S. S., Alqahtani, S. S., Ali Bakkari, M., Alshammari, A., Almoshari, Y., … Mohan, S. (2023). Design, physicochemical characterisation, and in vitro cytotoxicity of cisplatin-loaded PEGylated chitosan injectable nano / sub-micron crystals. Saudi Pharmaceutical Journal, 31(6), 861–873. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.04.005

Szewczyk, G., & Mokrzyński, K. (2025). Concentration-Dependent Photoproduction of Singlet Oxygen by Common Photosensitizers. Molecules, 30(5), 1130. https://doi.org/10.3390/molecules30051130

Tang, E. S. K., Huang, M., & Lim, L. Y. (2003). Ultrasonication of chitosan and chitosan nanoparticles. International Journal of Pharmaceutics, 265(1–2), 103–114. https://doi.org/10.1016/S0378-5173(03)00408-3

Tharkar, P., Varanasi, R., Wong, W. S. F., Jin, C. T., & Chrzanowski, W. (2019). Nano-Enhanced Drug Delivery and Therapeutic Ultrasound for Cancer Treatment and Beyond. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 7, 324. https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00324

Wang, T., Du, M., & Chen, Z. (2025). Sonosensitizers for Sonodynamic Therapy: Current Progress and Future Perspectives. Ultrasound in Medicine & Biology, 51(5), 727–734. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2025.01.011

Wu, J., Li, R., Ding, H., Sun, S., Ding, X., Li, Z., & Wang, Q. (2025). pH-sensitive hyaluronic acid nanomicelles for co-delivery of capsaicin and doxorubicin enhance the treatment of anaplastic thyroid carcinoma. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 254, 114827. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2025.114827

Xia, W., Tao, Z., Zhu, B., Zhang, W., Liu, C., Chen, S., & Song, M. (2021a). Targeted Delivery of Drugs and Genes Using Polymer Nanocarriers for Cancer Therapy. International Journal of Molecular Sciences, 22(17), 9118. https://doi.org/10.3390/ijms22179118

Xia, W., Tao, Z., Zhu, B., Zhang, W., Liu, C., Chen, S., & Song, M. (2021b). Targeted Delivery of Drugs and Genes Using Polymer Nanocarriers for Cancer Therapy. International Journal of Molecular Sciences, 22(17), 9118. https://doi.org/10.3390/ijms22179118

Xu, Q., Hashimoto, M., Dang, T. T., Hoare, T., Kohane, D. S., Whitesides, G. M., … Anderson, D. G. (2009). Preparation of Monodisperse Biodegradable Polymer Microparticles Using a Microfluidic Flow-Focusing Device for Controlled Drug Delivery. Small, 5(13), 1575–1581. https://doi.org/10.1002/smll.200801855

Xu, X.-X., Chen, S.-Y., Yi, N.-B., Li, X., Chen, S.-L., Lei, Z., … Sun, T. (2022). Research progress on tumor hypoxia-associative nanomedicine. Journal of Controlled Release, 350, 829–840. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.09.003

Xu, Z., Zeng, Y., Kang, M., Zhang, Z., Yang, Z., Fan, M., … Tang, B. Z. (2026). Dual-Enhanced Sonodynamic Therapy: Synergizing Cavitation Amplification and Efficient Sonoluminescence-to-ROS Conversion for Orthotopic Breast Cancer Treatment. Advanced Materials, 38(8), e16803. https://doi.org/10.1002/adma.202516803

Yang, J., Dahlström, C., Edlund, H., Lindman, B., & Norgren, M. (2019). pH-responsive cellulose–chitosan nanocomposite films with slow release of chitosan. Cellulose, 26(6), 3763–3776. https://doi.org/10.1007/s10570-019-02357-5

Zhu, Y., Marin, L. M., Xiao, Y., Gillies, E. R., & Siqueira, W. L. (2021). pH-Sensitive Chitosan Nanoparticles for Salivary Protein Delivery. Nanomaterials, 11(4), 1028. https://doi.org/10.3390/nano11041028

Gemi Scrubber Sistemlerinde Aksiyal Fan Entegrasyonunun Egzoz Geri Basıncına Etkisinin Sayısal İncelenmesi

İbrahim ARSLAN[1], Kaan ÜNLÜGENÇOĞLU[2], Ahmet YURTSEVEN[3]

[1]E-mail: ibrahim.arslan2@std.yildiz.edu.tr; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye.
[2]E-mail: kunlu@yildiz.edu.tr ; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,İstanbul / Türkiye.
[3]E-mail: ahmety@yildiz.edu.tr; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,İstanbul / Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, gemi egzoz gazı temizleme sistemlerinde kullanılan scrubberların oluşturduğu aerodinamik direncin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisi ve bu etkinin aksiyal fan entegrasyonu ile azaltılma potansiyeli sayısal olarak incelenmiştir. Analizler Siemens STAR-CCM+ yazılımında üç boyutlu ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Scrubber girişinden 25 kg/s kütlesel debide ve 538 K sıcaklıkta egzoz gazı verilmiştir. Egzoz gazı N_2, CO_2, H_2O ve O_2 bileşenlerinden oluşan çok bileşenli gaz karışımı olarak tanımlanmış, yoğunluk değişimleri Ideal Gas modeli ile hesaplanmış ve türbülans Realizable k-ε Two-Layer modeli ile modellenmiştir. Packing ve demister elemanlarının toplam aerodinamik direnci DarcyForchheimer yaklaşımına dayalı eşdeğer porous media bölgesi ile temsil edilmiştir. Fansız referans durumda giriş geri basıncı 1444 Pa iken, fanın porous media ile birlikte çalışması sonucunda bu değer 750, 1000 ve 1500 rpm için sırasıyla 1350, 1150 ve 815 Pa olarak elde edilmiştir. Buna göre 1500 rpm çalışma koşulunda referans duruma göre yaklaşık %43,6 geri basınç azalması sağlanmıştır. Sonuçlar, aksiyal fan entegrasyonunun scrubber kaynaklı aerodinamik direncin motor tarafındaki etkisini azaltmada etkili bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aksiyal fan, Egzoz geri basıncı, Gemi scrubber sistemi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Porous media.

Abstract

In this study, the effect of the aerodynamic resistance generated by scrubbers used in marine exhaust gas cleaning systems on exhaust back pressure at the engine side, and the potential for reducing this effect through axial fan integration, were numerically investigated. The analyses were carried out in three dimensions and under transient conditions using Siemens STAR-CCM+ software. Exhaust gas was supplied at the scrubber inlet with a mass flow rate of 25 kg/s and a temperature of 538 K. The exhaust gas was defined as a multicomponent gas mixture consisting of N_2, CO_2, H_2O, and O_2, density variations were calculated using the Ideal Gas model, and turbulence was modeled using the Realizable k-ε Two-Layer model. The total aerodynamic resistance of the packing and demister elements was represented by an equivalent porous media region based on the Darcy–Forchheimer approach. In the reference case without a fan, the inlet back pressure was 1444 Pa, whereas when the fan operated together with the porous media, this value was obtained as 1350, 1150, and 815 Pa at

750, 1000, and 1500 rpm, respectively. Accordingly, at the operating condition of 1500 rpm, an approximately 43.6% reduction in back pressure was achieved compared with the reference case. The results indicate that axial fan integration may be an effective approach for reducing the effect of scrubber-induced aerodynamic resistance on the engine-side exhaust back pressure.

Keywords: Axial fan, Exhaust back pressure, Marine scrubber system, Computational Fluid Dynamics (CFD), Porous media..

GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, küresel ticaretin önemli bir bölümünü oluşturmakla birlikte, gemilerde kullanılan fosil yakıtların yanması sonucunda atmosfere salınan kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x), partikül maddeler ve diğer hava kirleticiler çevresel açıdan önemli bir sorun oluşturmaktadır. Gemilerden kaynaklanan hava emisyonlarının azaltılması amacıyla Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization [IMO]) tarafından MARPOL Ek VI kapsamında çeşitli düzenlemeler yürürlüğe konulmuştur. MARPOL Ek VI Kural 14 ile gemilerde kullanılan yakıtların kükürt içeriğine ilişkin sınırlar belirlenirken, Kural 4 ile aynı düzeyde veya daha yüksek emisyon azaltımı sağlayabilen eşdeğer uyum yöntemlerinin kullanılmasına izin verilmektedir. Bu kapsamda Egzoz Gazı Temizleme Sistemleri (Exhaust Gas Cleaning Systems [EGCS]), özellikle kükürt oksit emisyonlarının azaltılmasında kullanılan başlıca teknik çözümlerden biri haline gelmiştir. IMO tarafından yayımlanan *2021 Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems* dokümanı da bu sistemlerin test, izleme, doğrulama ve sertifikasyon esaslarını ortaya koymaktadır (International Maritime Organization [IMO], 2021).

Egzoz gazı temizleme sistemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan scrubberlar, egzoz gazının çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçlerden geçirilerek içerisindeki kirletici bileşenlerin azaltılmasını amaçlamaktadır. Denizcilik uygulamalarında scrubber teknolojileri, özellikle yüksek kükürt içerikli yakıtların kullanıldığı durumlarda SO_2 emisyonlarının azaltılmasına yönelik etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Deniz suyu veya farklı kimyasal absorbanların kullanıldığı sistemler üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, scrubber teknolojilerinin kükürt oksitlerinin giderilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Andreasen & Mayer, 2007; Zhu et al., 2016). Bununla birlikte scrubber sistemlerinin değerlendirilmesinde yalnızca kirletici giderim performansının dikkate alınması yeterli değildir. Sistemin egzoz hattına getirdiği ilave aerodinamik direnç de motor ve egzoz sisteminin çalışma koşullarını doğrudan etkileyebilecek önemli bir tasarım parametresidir.

Deniz dizel motorlarında egzoz geri basıncının motor performansı üzerindeki etkilerini araştıran deneysel ve sayısal çalışmalar bulunmaktadır. Sapra, Godjevac, Visser, Stapersma ve Dijkstra (2017), deniz dizel motorlarının farklı statik egzoz geri basıncı koşullarındaki davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiş ve geri basınç değişimlerinin motor çalışma karakteristikleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Egzoz hattındaki ilave direncin artması, egzoz gazlarının silindirlerden uzaklaştırılması için gerekli pompalama işini etkileyebilmekte ve turboşarj sistemi ile motor arasındaki çalışma dengesini değiştirebilmektedir. Bu nedenle scrubber sistemlerinin gemi egzoz hatlarına entegrasyonunda, sistemin oluşturduğu basınç kaybının motor üreticisinin izin verdiği geri basınç sınırları içerisinde tutulması önemli bir mühendislik gerekliliğidir.

Scrubber içerisindeki toplam basınç kaybının önemli bir bölümü packing ve demister gibi iç elemanlardan kaynaklanabilmektedir. Bu bileşenler gaz ile temas yüzeyini artırmak ve sıvı damlacıklarının taşınmasını sınırlandırmak açısından önemli görevler üstlenirken aynı zamanda gaz akışına karşı direnç oluşturmaktadır. Karmaşık geometrilere sahip bu yapıların akış üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Guo, Zhou, Shreka ve Feng (2020), bir marine De-SOx scrubber içerisindeki düzensiz akış yapısını üç boyutlu HAD yöntemiyle incelemiş ve scrubber içerisindeki packing bölgesinin sistem akışı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışma, scrubber içerisindeki akış dağılımının ve iç dirençlerin sistem performansının değerlendirilmesinde önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürdeki çalışmaların önemli bir bölümü scrubber sistemlerinin emisyon azaltım performansı, akış dağılımı, packing yapısı veya sistem içerisindeki basınç kayıpları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte, scrubber tarafından oluşturulan aerodinamik direncin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisinin doğrudan azaltılmasına yönelik yardımcı bir aksiyal fan uygulamasının değerlendirilmesi farklı bir mühendislik yaklaşımı sunmaktadır. Scrubber çıkış veya baca hattına yerleştirilecek bir fanın egzoz gazına ilave enerji aktarması, motorun scrubber direncini aşmak için sağlaması gereken net basınç farkının bir bölümünün fan tarafından karşılanmasına olanak sağlayabilir. Böylece scrubber kaynaklı aerodinamik yükün tamamının motor tarafından karşılanması yerine, yükün belirli bir kısmının yardımcı bir akış makinesine aktarılması mümkün olabilir.

Ancak aksiyal fanın sisteme eklenmesi tek başına geri basıncın ortadan kalkacağı anlamına gelmemektedir. Fan tarafından sağlanan basınç desteği; fan devri, fan geometrisi, egzoz debisi, scrubberın toplam aerodinamik direnci ve fan ile scrubber içerisindeki akış alanı arasındaki etkileşim gibi birçok parametreye bağlıdır. Özellikle fanın oluşturduğu hız alanı, scrubber içerisindeki akış dağılımını değiştirebilirken, scrubberın oluşturduğu direnç de fan girişindeki akış koşullarını etkileyebilir. Bu nedenle fan ile scrubberın birbirinden tamamen bağımsız iki eleman olarak değerlendirilmesi yerine, aynı egzoz sistemi içerisindeki etkileşimlerinin birlikte incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel araştırma problemi, bir gemi egzoz gazı temizleme sisteminde scrubberdan kaynaklanan aerodinamik direncin motor tarafında oluşturduğu egzoz geri basıncının, baca hattına entegre edilen aksiyal fan yardımıyla ne ölçüde azaltılabileceğinin belirlenmesidir. Bu kapsamda yaklaşık 10 MW sınıfındaki bir deniz dizel motorunun egzoz hattına bağlı scrubber sistemi ele alınmış ve sistem içerisine yerleştirilen Ø2050 mm çapındaki aksiyal fanın geri basınç üzerindeki etkisi incelenmiştir. Fanın farklı çalışma devirlerinde sisteme sağlayabileceği basınç desteğinin belirlenmesi ve scrubberın oluşturduğu aerodinamik yük üzerindeki etkisinin ortaya konulması çalışmanın temel odağını oluşturmaktadır.

Çalışmanın amacı, scrubber kaynaklı aerodinamik direncin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisini sayısal olarak ortaya koymak ve aksiyal fan entegrasyonunun bu geri basıncı azaltmadaki potansiyelini değerlendirmektir. Bu doğrultuda farklı fan çalışma hızlarının sistem geri basıncı üzerindeki etkileri karşılaştırılarak fan desteği ile elde edilebilecek geri basınç azalmasının nicel olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ayrıca fanın yalnızca bağımsız bir akış elemanı olarak

değil, scrubber direnciyle birlikte çalışan bütünleşik sistemin bir parçası olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, gemi egzoz gazı temizleme sisteminde kullanılan scrubberın oluşturduğu aerodinamik direncin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisi ve baca hattına entegre edilen aksiyal fanın bu basıncı azaltma potansiyeli üç boyutlu, zamana bağlı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemiyle incelenmiştir. Sayısal analizler Siemens STAR-CCM+ yazılımında gerçekleştirilmiştir. İnceleme birimini, yaklaşık 10 MW sınıfındaki bir deniz dizel motorunun egzoz hattına bağlı scrubber sistemi ile baca içerisine yerleştirilen Ø2050 mm çapındaki beş kanatlı aksiyal fan oluşturmaktadır. Scrubber geometrisinde egzoz gazı Ø1800 mm çapındaki yatay giriş borusundan sisteme girmekte, genişleyen konik geçişin ardından Ø5200 mm çapındaki ana gövdeye ulaşmakta ve üst baca hattına yönelmektedir. Packing ve demister elemanları ayrıntılı geometrileriyle modellenmemiş, toplam aerodinamik etkileri eşdeğer porous-media bölgesiyle temsil edilmiştir. Fan geometrisi hesaplama alanına doğrudan dahil edilmiş ve 750, 1000 ve 1500 rpm çalışma devirleri karşılaştırılmıştır. Temel geometri ve işletme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Fan ve scrubber direncinin ayrı ve birleşik etkilerini değerlendirmek için çalışma durumları tanımlanmıştır.

Tablo 1. *Sayısal model ve işletme parametreleri*

	Geometrik özellikler	İşletme koşulları	Fan özellikleri	Akışkan ve sınır şartları
Parametre 1	Giriş borusu çapı: 1800 mm	Motor sınıfı: ≈10 MW	Fan çapı: 2050 mm	Egzoz gazı: N_2, CO_2, H_2O, O_2
Parametre 2	Scrubber kule çapı: 5200 mm	Egzoz kütlesel debisi: 25 kg/s	Kanat sayısı: 5	Çıkış basıncı: 0 Pa Gauge
Parametre 3	Fan baca hattında konumlandırılmıştır	Egzoz giriş sıcaklığı: 538 K	Fan devirleri: 750, 1000 ve 1500 rpm	Gaz modeli: Multi-Component Gas
Parametre 4	Packing ve demister eşdeğer porous media olarak tanımlanmıştır	Üç boyutlu, zamana bağlı analiz	Ø2050 mm aksiyal fan	Yoğunluk modeli: Ideal Gas

Egzoz gazı, N_2, CO_2, H_2O ve O_2 bileşenlerinden oluşan çok bileşenli bir gaz karışımı olarak tanımlanmıştır. Gaz bileşenleri STAR-CCM+ içerisinde Multi-Component Gas yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Egzoz gazının 538 K giriş sıcaklığında olması ve sistem içerisindeki basınç değişimleri nedeniyle yoğunluk sabit kabul edilmemiş, yerel sıcaklık ve basınca bağlı yoğunluk değişimlerinin hesaplanabilmesi amacıyla Ideal Gas modeli kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı scrubber ve fan arasındaki aerodinamik etkileşimin incelenmesi olduğundan su püskürtme, sıvı faz, gaz-sıvı iki fazlı akış, SO_2 absorpsiyonu, kimyasal reaksiyonlar ve gaz-sıvı kütle transferi sayısal modele dahil edilmemiştir. Böylece scrubber iç direnci ile aksiyal fanın egzoz geri basıncı üzerindeki saf aerodinamik etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Scrubber içerisindeki akış; ani kesit değişimleri, yüksek Reynolds sayısı, fanın oluşturduğu dönel akış ve olası akış ayrılmaları nedeniyle türbülanslı olarak değerlendirilmiştir. Türbülansın modellenmesinde Realizable k-ε Two-Layer modeli kullanılmıştır. Realizable k-ε modeli, türbülans viskozitesi ve Reynolds gerilmelerinin modellenmesinde geliştirilmiş gerçekleştirilebilirlik koşullarını içeren ve dönmeli, genişleyen ve ayrılmalı akışlarda kullanılabilen bir türbülans modelidir (Shih, Liou, Shabbir, Yang, & Zhu, 1995). Duvar yakınındaki akış Two-Layer yaklaşımı ile ele alınmış ve duvar y+ değerleri ağ çözünürlüğünün izlenmesinde dikkate alınmıştır.

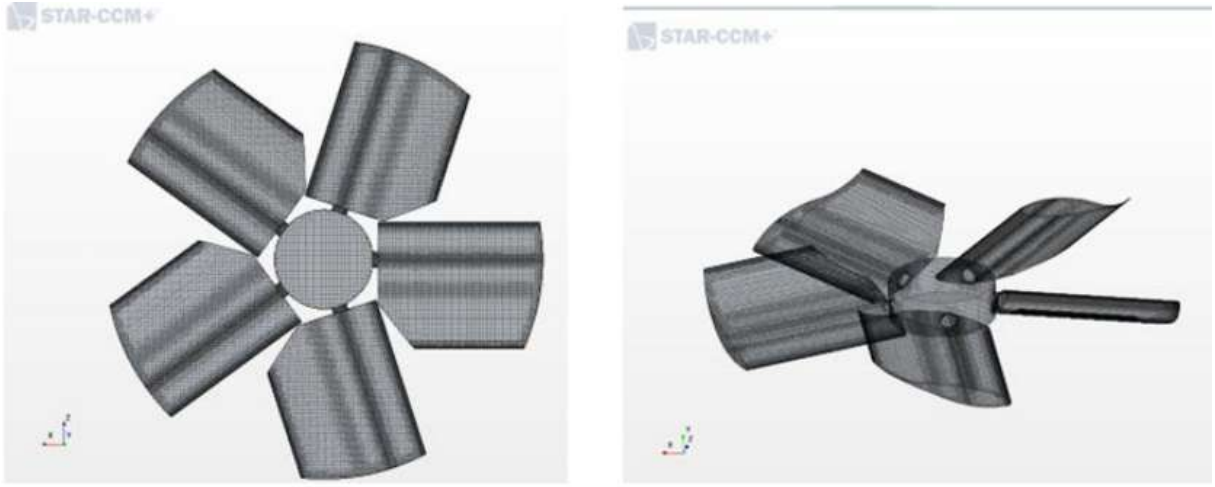
Packing ve demister elemanlarının gerçek geometrilerinin doğrudan modellenmesi yerine bu bileşenlerin toplam aerodinamik direnci eşdeğer bir porous-media bölgesi ile temsil edilmiştir. Bu yaklaşım, karmaşık iç geometrilerin oluşturacağı yüksek hücre sayısını azaltırken sistem ölçeğindeki basınç kaybının sayısal modele dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Porous bölgedeki momentum kaybı Darcy-Forchheimer yaklaşımına dayalı yönsel direnç bağıntısı kullanılarak tanımlanmıştır. Genel basınç kaybı ilişkisi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\Delta P / L = (\mu / K) \cdot V + \rho \cdot C_F \cdot V^2$$

- **ΔP**: Basınç kaybı
- **L**: Porous bölge uzunluğu
- **μ (mu)**: Dinamik viskozite
- **K**: Geçirgenlik
- **V**: Akış hızı
- **ρ (rho)**: Yoğunluk
- **C_F**: Forchheimer / ataletsel direnç katsayısı

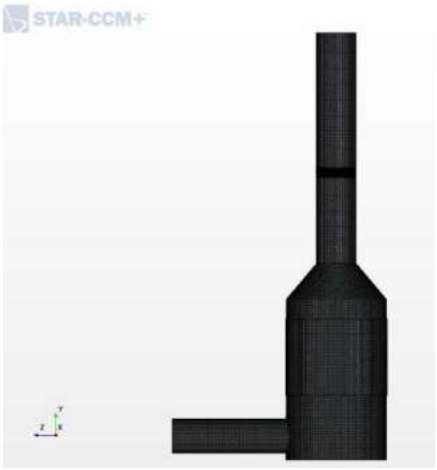
Burada ΔP porous bölge boyunca oluşan basınç kaybını, L porous bölgenin uzunluğunu, μ dinamik viskoziteyi, K geçirgenliği, ρ gaz yoğunluğunu, V karakteristik akış hızını ve (C_F) ataletsel direnç katsayısını ifade etmektedir. Bağıntının ilk terimi viskoz direnci, hızın karesiyle değişen ikinci terimi ise ataletsel basınç kaybını temsil etmektedir. Bu çalışmada amaç packing ve demister elemanlarının iç geometrisini ayrı ayrı çözmek yerine, bu bileşenlerin toplam aerodinamik etkisini sistem basınç dengesine dahil etmektir.

Kullanılacak aksiyal fan geometrisi şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. *Ø2050 mm aksiyal fan geometrisi ve STAR-CCM+ yüzey ağı*

Bu aksiyel fan hesaplama alanına doğrudan dahil edilmiş ve fan için 750, 1000 ve 1500 rpm dönme hızları uygulanmıştır. Fanın sistem üzerindeki etkisinin yalnızca scrubber giriş basıncındaki değişim üzerinden değerlendirilmemesi amacıyla fanın hemen alt ve üst bölgelerinde ayrı basınç ölçüm düzlemleri tanımlanmıştır. Böylece motor tarafındaki toplam egzoz geri basıncı ile fanın kendi oluşturduğu basınç artışının birbirinden ayrılması hedeflenmiştir. Fanın gerçek aerodinamik basınç artışı, fan giriş ve çıkış düzlemlerindeki toplam basınç farkı üzerinden tanımlanmıştır. Kullanılacak scrubber geometresi şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. *Scrubber geometrisi ve STAR-CCM+ yüzey ağ*

Scrubber girişinde Mass Flow Inlet sınır şartı uygulanmış ve egzoz gazının kütlesel debisi 25 kg/s, giriş sıcaklığı ise 538 K olarak tanımlanmıştır. Sistem çıkışında Pressure Outlet sınır şartı kullanılmış ve çıkış basıncı 0 Pa Gauge olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle scrubber girişindeki gauge statik basınç, çıkış basıncına göre motor tarafında oluşan toplam geri basıncın göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Sistem boyunca basınç değişiminin ayrıntılı olarak izlenebilmesi amacıyla altı karakteristik ölçüm düzlemi oluşturulmuştur. P_1 scrubber girişini, P_2 ve P_3 porous-media bölgesinin giriş ve çıkışını, P_4 ve P_5 fan giriş ve çıkışını, P_6 ise sistem çıkışını temsil etmektedir.

P_6 değeri tüm analizlerde 0 Pa Gauge olarak tanımlandığından, P_1 basıncı mevcut çalışma koşullarında sayısal olarak toplam sistem geri basıncına karşılık gelmektedir. Bununla birlikte P_1 değerindeki değişim, fanın tüm sistem üzerindeki net etkisini göstermekte; fanın bağımsız aerodinamik basınç artışının belirlenmesinde ise P_5-P_4 basınç farkı esas alınmaktadır.

Çalışmanın örneklemini oluşturan sayısal analiz durumları, fan ile scrubber direncinin etkilerini birbirinden ayırabilecek şekilde üç temel grupta oluşturulmuştur. Birinci durumda fan devre dışı bırakılmış ve porous media aktif tutularak fansız referans sistem incelenmiştir. İkinci durumda porous media devre dışı bırakılmış ve fan 750, 1000 ve 1500 rpm devirlerinde çalıştırılarak fanın sistem üzerindeki bağımsız aerodinamik etkisi değerlendirilmiştir. Üçüncü durumda ise hem porous media hem de fan aktif hale getirilmiş ve fan 750, 1000 ve 1500 rpm devirlerinde çalıştırılarak birleşik sistem davranışı incelenmiştir.

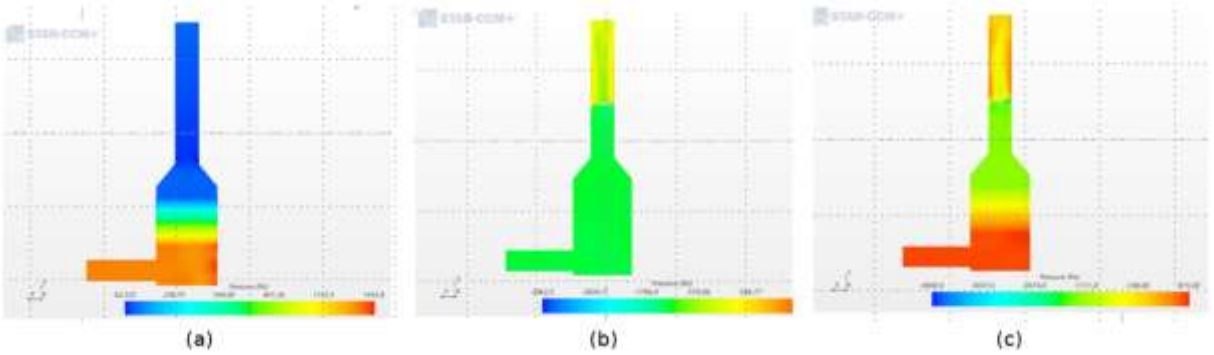
Verilerin analizinde fansız ve porous-media aktif durum referans çalışma koşulu olarak kabul edilmiş, fan ile porous medianın birlikte çalıştığı 750, 1000 ve 1500 rpm koşullarında elde edilen geri basınç değerleri bu referans durumla karşılaştırılmıştır. Fanın motor tarafındaki geri basıncı azaltma oranı, referans geri basıncı ile fanlı durumda elde edilen geri basınç arasındaki farkın referans geri basıncına oranlanmasıyla hesaplanmıştır:

$$\eta_{BP} = \frac{P_{back,ref} - P_{back,fan}}{P_{back,ref}} \times 100$$

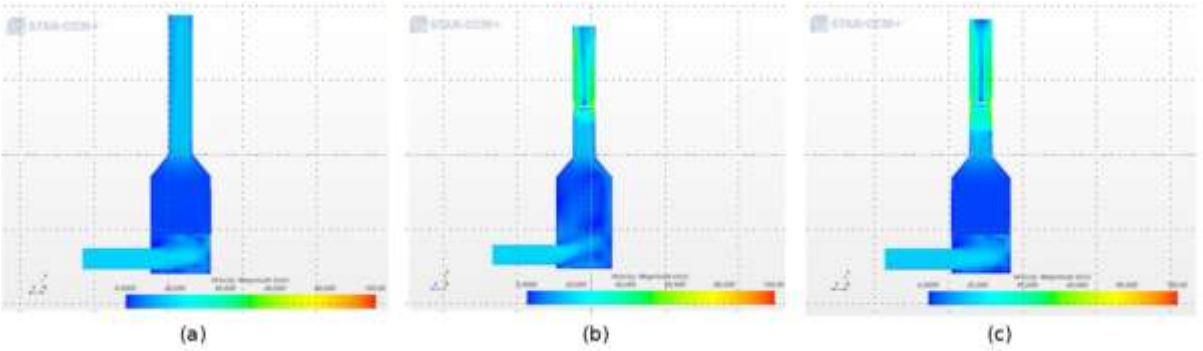
- **η_BP** = Geri basınç azalma oranı (%)
- **P_back,ref** = Fansız referans durumdaki geri basınç
- **P_back,fan** = Fan çalışırken oluşan geri basınç

Bu yöntemle farklı fan devirlerinin scrubber kaynaklı toplam aerodinamik direncin motor tarafındaki etkisini ne ölçüde azalttığı nicel olarak karşılaştırılmıştır.

BULGULAR .



Şekil 3. *Statik basınç dağılımları: (a) fansız + porous media, (b) 1500 rpm fan + porous media yok, (c) 1500 rpm fan + porous media*



Şekil 4. *Hız büyüklüğü dağılımları: (a) fansız + porous media, (b) 1500 rpm fan + porous media yok, (c) 1500 rpm fan + porous media*

Tablo 2. *Fan devrinin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisi*

Çalışma durumu	Geri basınç, P_1	Referansa göre azalma	Azalma oranı
Fansız + porous media	1444 Pa	–	–
750 rpm + porous media	1350 Pa	94 Pa	%6,5
1000 rpm + porous media	1150 Pa	294 Pa	%20,4
1500 rpm + porous media	815 Pa	629 Pa	%43,6
1500 rpm fan, porous media yok	-815 Pa	–	–

Geri basınç azalma oranı aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\eta_{BP} = \frac{P_{back,ref} - P_{back,fan}}{P_{back,ref}} \times 100$$

1500 rpm çalışma koşulu için değerler formülde yerine konulduğunda:

$$\eta_{BP} = \frac{1444 - 815}{1444} \times 100$$

Önce basınç farkı hesaplanır: 1444 − 815 = 629 Pa.

$$\eta_{BP} = \frac{629}{1444} \times 100 = 43{,}56\% \approx 43{,}6\%$$

1500 rpm çalışma koşulunda, fansız referans duruma göre egzoz geri basıncı yaklaşık %43,6 azalmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, gemi egzoz gazı temizleme sisteminde kullanılan scrubberın oluşturduğu aerodinamik direncin motor tarafındaki egzoz geri basıncına etkisi ile baca hattına entegre edilen aksiyal fanın bu geri basıncı azaltma potansiyeli sayısal olarak incelenmiştir. Bulgular, packing ve demister elemanlarını temsil eden porous-media bölgesinin önemli bir direnç oluşturarak motor tarafında pozitif egzoz geri basıncı meydana getirdiğini göstermiştir. Fansız ve porous media aktif referans durumda toplam geri basınç 1444 Pa olarak hesaplanmıştır.

Aksiyal fanın porous media ile birlikte çalıştırıldığı analizlerde fan devri arttıkça egzoz geri basıncının azaldığı belirlenmiştir. Fanın 750 rpm'de çalıştırıldığı durumda geri basınç 1350 Pa, 1000 rpm'de 1150 Pa ve 1500 rpm'de 815 Pa olarak elde edilmiştir. Buna göre geri basınç azalması sırasıyla 94 Pa, 294 Pa ve 629 Pa olmuştur. Bu değerler yaklaşık %6,5, %20,4 ve %43,6 oranında azalmaya karşılık gelmektedir.

Sonuçlar, fan devrinin artırılmasının scrubberın oluşturduğu aerodinamik direncin motor tarafındaki etkisini azaltabildiğini göstermektedir. Özellikle 1500 rpm çalışma koşulunda elde edilen %43,6 oranındaki azalma, aksiyal fan desteğinin geri basınç üzerinde belirgin bir iyileştirme sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte fanın scrubber içerisindeki fiziksel basınç kayıplarını ortadan kaldırmadığı, motorun karşılaması gereken net basınç farkının bir bölümünü üstlendiği dikkate alınmalıdır.

Porous media devre dışı bırakılarak fanın 1500 rpm'de çalıştırıldığı durumda scrubber girişinde -815 Pa Gauge basınç elde edilmiştir. Bu sonuç, fanın oluşturduğu emiş etkisinin sistem girişine kadar yayıldığını göstermektedir. Ancak bu değer fanın doğrudan basınç artışı değildir. Fanın gerçek aerodinamik basınç artışının belirlenebilmesi için fan giriş ve çıkış kesitlerindeki toplam basınç farkının dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle sistem giriş basıncı ile fanın kendi basınç artışının ayrı değerlendirilmesi önemlidir.

Basınç ve hız dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, fanın sistem içerisindeki akış yapısını değiştirdiği görülmüştür. Fansız durumda scrubber girişinden ana gövdeye geçişte kesit alanının artması nedeniyle ortalama akış hızı azalırken, fanın devreye alınmasıyla özellikle üst baca bölgesinde belirgin bir hız artışı meydana gelmiştir. Porous media aktif durumda akış, fan bölgesine ulaşmadan önce ek momentum kaybına uğramasına rağmen fan baca içerisindeki akışı hızlandırmış ve motor tarafında gerekli pozitif basınç seviyesinin azalmasına katkı sağlamıştır.

Mühendislik açısından aksiyal fan entegrasyonu, scrubber eklenmesi sonucu artan geri basıncın azaltılmasında yardımcı bir çözüm olabilir. Bununla birlikte 1500 rpm'nin geri basınç azaltımı açısından en etkili çalışma noktası olması, enerji tüketimi açısından da optimum olduğu anlamına gelmemektedir. Fan devri yükseldikçe şaft gücü ve elektriksel tüketimin artması beklendiğinden sistem yalnızca geri basınç değerleri üzerinden değerlendirilmemelidir.

Gelecek çalışmalarda fan giriş ve çıkışındaki toplam basınç farklarının raporlanması, fan şaft gücü ve elektriksel enerji tüketiminin analize dahil edilmesi önerilmektedir. Ayrıca porous-media direnç katsayılarının deneysel veya üretici verileriyle doğrulanması, farklı egzoz debilerinin incelenmesi ve gerçek wet scrubber koşullarını temsil edecek su püskürtme, gaz-sıvı iki fazlı akış ve damlacık taşınımı etkilerinin modele eklenmesi faydalı olacaktır. Böylece geri basınç azalması ile yardımcı enerji tüketimi birlikte değerlendirilerek daha uygun bir çalışma aralığı belirlenebilir.

KAYNAKÇA

Andreasen, A., & Mayer, S. (2007). Use of seawater scrubbing for SO_2 removal from marine engine exhaust gas. *Energy & Fuels, 21*(6), 3274–3279. doi:10.1021/ef700359w

Guo, H., Zhou, S., Shreka, M., & Feng, Y. (2020). A numerical investigation on the optimization of uneven flow in a marine De-SOx scrubber. *Processes, 8*(7), 862. doi:10.3390/pr8070862

International Maritime Organization. (2021). *2021 guidelines for exhaust gas cleaning systems* (Resolution MEPC.340(77)). London, England: Author.

Sapra, H., Godjevac, M., Visser, K., Stapersma, D., & Dijkstra, C. (2017). Experimental and simulation-based investigations of marine diesel engine performance against static back pressure. *Applied Energy, 204*, 78–92. doi:10.1016/j.apenergy.2017.06.111

Shih, T.-H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., & Zhu, J. (1995). A new k-ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids, 24*(3), 227–238. doi:10.1016/0045-7930(94)00032-T

Zhu, Y., Tang, X., Li, T., Ji, Y., Liu, Q., Guo, L., & Zhao, J. (2016). Shipboard trials of magnesium-based exhaust gas cleaning system. *Ocean Engineering, 128*, 124–131. doi:10.1016/j.oceaneng.2016.10.004

RAG-XAI: A Retrieval-Augmented Generation (RAG) Framework for Explainable Decision-Making in L2/L3 Autonomous Vehicles

Cem Tolga Münyas[1], Hüseyin Can Öncel [2]

[1]E-mail: cem.tolgamunyas@tofas.com.tr; TOFAS, R&D İzmir Branch, İzmir / Türkiye
[2]E-mail: huseyin.canoncel@tofas.com.tr; TOFAS, R&D İzmir Branch, İzmir / Türkiye

Özet

Otonom Sürüş Seviyesi 2'den Seviye 3'e geçiş, özellikle Sürücüye Direksiyonun Devri (Take-Over Request, TOR) anlarında sürücü güveni ve şeffaflık açısından kritik sorunlar doğurmaktadır. Mevcut otonom sürüş yığınları şeffaf olmayan derin öğrenme modellerine dayanmakta; geleneksel Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemleri ise son kullanıcıya yönelik doğal dil gerekçeleri yerine mühendis odaklı görsel öznitelik haritaları üretmektedir. Büyük Dil Modelleri (LLM) doğal dilde açıklama üretebilse de, gerçek verilere dayandırılmadıklarında halüsinasyon riski taşır. Bu çalışma, otonom sürüşte XAI üzerine bir literatür taraması sunmakta ve Bilgi Getirimiyle Zenginleştirilmiş Üretim (RAG) temelli modüler bir açıklama katmanı olan RAG-XAI'yi önermektedir. Çerçeve; trafik mevzuatı, güvenlik protokolleri ve konum tabanlı açıklamalardan oluşan statik bilgi ile algılama çıktıları, ego-araç durumu ve planlama kayıtlarını içeren dinamik telemetriyi birleştiren hibrit bir bilgi tabanı kullanır. Kritik bir olayda sistem, ilgili kuralları ve telemetriyi getirerek insan tarafından okunabilir bir gerekçe üretir. Böylece halüsinasyonlar azaltılmakta, kontrol devri sırasında durumsal farkındalık artırılmakta ve denetlenebilir bir karar izi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI), Bilgi Getirimiyle Zenginleştirilmiş Üretim (RAG), Büyük Dil Modelleri (LLMs), Direksiyon Devir Talebi, Otonom Sürüş

Abstract

The transition from Level 2 to Level 3 automation raises critical concerns about driver trust and transparency during Take-Over Requests (TOR). Current autonomous driving stacks rely on opaque deep learning models, while conventional Explainable AI (XAI) methods produce engineer-oriented visual attributions rather than justifications intelligible to end-users. Large Language Models (LLMs) can generate natural language explanations but risk hallucination when ungrounded. This paper presents a literature review on XAI for autonomous driving and proposes RAG-XAI, a modular explanation layer based on Retrieval-Augmented Generation (RAG). The framework maintains a hybrid knowledge base combining static sources — traffic regulations, safety protocols, location-based annotations — with dynamic telemetry: perception outputs, ego-vehicle state and planning logs. Upon a critical event, the system retrieves relevant rules and telemetry and synthesizes a grounded, human-readable justification. By anchoring generation in verifiable data, RAG-XAI mitigates hallucination, improves situational awareness during control transitions, and yields an auditable decision trail.

Keywords: Explainable Artificial Intelligence (XAI), Retrieval-Augmented Generation (RAG), Autonomous Driving, Take-Over Request, Large Language Models (LLMs)

INTRODUCTION

Autonomous driving has advanced from driver-assistance features to systems capable of sustained, unsupervised operation within a defined Operational Design Domain (ODD). The taxonomy defined in SAE J3016 (SAE International, 2021) separates Level 2 (L2), in which the human driver must continuously supervise the automated features, from Level 3 (L3), in which the driver is permitted to disengage from the driving task but must remain available to resume control when the system issues a Take-Over Request (TOR). This shift in responsibility is not merely regulatory; it fundamentally changes the informational relationship between the vehicle and the person inside it. An L2 driver observes the road continuously and therefore builds situational awareness independently of the system. An L3 driver, by design, does not.

The perception, prediction and motion planning modules that produce these decisions are dominated by deep neural architectures whose internal reasoning is not directly inspectable. When the vehicle executes a sudden deceleration, an evasive manoeuvre, or issues a TOR, it behaves as a black box from the occupant's perspective. The driver receives the instruction but not its cause: whether a sensor was occluded, a pedestrian behaved unpredictably, a lane marking was lost, or a statutory constraint was violated. Empirical work on human–automation interaction indicates that this gap is consequential rather than cosmetic. Take-over performance degrades sharply when the driver must first reconstruct the scene before acting (Zhang, de Winter, Varotto, Happee & Martens, 2019), and explanations delivered before a manoeuvre have been shown to increase trust and acceptance relative to unexplained behaviour (Koo et al., 2015).

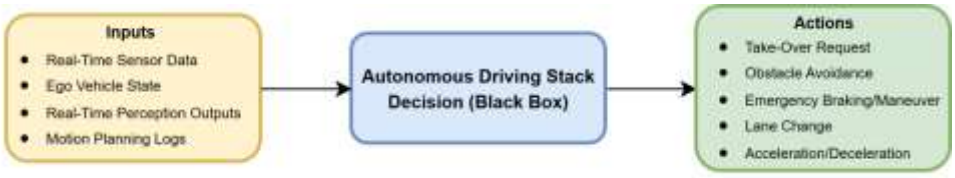


Figure 1. AD Stack Behavior in Traditional Autonomous Vehicles

Explainable Artificial Intelligence (XAI) research in autonomous driving has responded to this problem. While traditional Explainable AI (XAI) methods exist, they most focus on visual feature attribution (e.g., saliency maps) intended for system engineers rather than natural-language justifications for end-users. Furthermore, while Large Language Models (LLMs) offer strong natural language generation capabilities, deploying them directly in autonomous driving contexts risks "hallucination". Without deterministic grounding in real-time sensor telemetry and local traffic regulations, generative models cannot be trusted to provide accurate, legally and contextually sound explanations during critical driving scenarios. There is significant gap in the literature for a real-time, rule-grounded explanation layer that bridges raw vehicle data and human cognitive understanding.

This paper proposes a novel Explainable AI (XAI) framework utilizing Retrieval-Augmented Generation (RAG) to translate complex autonomous driving decisions into grounded, natural-language explanations. The proposed architecture functions as an independent, modular explanatory layer operating alongside the vehicle's primary autonomous driving stack.

METHODOLOGY

RAG offers a principled remedy by conditioning generation on passages retrieved from an external corpus at inference time rather than on parametric memory alone (Lewis et al., 2020; Gao et al., 2023). Recent driving-explanation systems have adopted this idea (Yuan et al., 2024; Zhang, Yang, Wang, Yao, Petiushko & Li, 2025). Their retrieval targets, however, are past driving episodes — the system asks what was done in similar situations before. Normative sources that determine whether an action was permissible at all, such as highway codes, manufacturer-declared ODD limits and certification documents, are not retrieved at the moment of decision.

This study addresses that shortfall. Its purpose is twofold: to review the current literature on LLM- and RAG-based explainability for autonomous driving, and to propose, on the basis of the gaps identified, an architecture that grounds explanations in rules rather than in experience. The study is guided by three research questions:

1. **RQ1.** On which knowledge sources do existing LLM-based driving-explanation systems ground their outputs, and what failure modes follow from that choice?
2. **RQ2.** To what extent does the current literature address explanation specifically at L2/L3 control transitions, as opposed to nominal driving flow?
3. **RQ3.** What architectural properties must an explanation layer possess in order to produce justifications that are simultaneously rule-grounded, telemetry-accurate and auditable?

The significance of the work lies in its architectural stance. Rather than embedding a language model inside the decision loop, the proposed RAG-XAI framework places it strictly outside it, as a read-only explanatory layer that consumes the deterministic stack's own outputs and a fixed, verifiable rule corpus. The core of the solution is a hybrid knowledge base and retrieval system. The corpus continuously ingests and vectorizes two streams of data.

- **Static Knowledge:** Local traffic regulations, predefined L2/L3 safety protocols, location-based knowledge (vectoral annotations), highway codes, etc.

- **Dynamic Telemetry**: Real-time perception outputs (e.g., detected and classified object's bounding boxes, vehicle trajectories, etc.), ego-vehicle state, motion planning logs, etc.

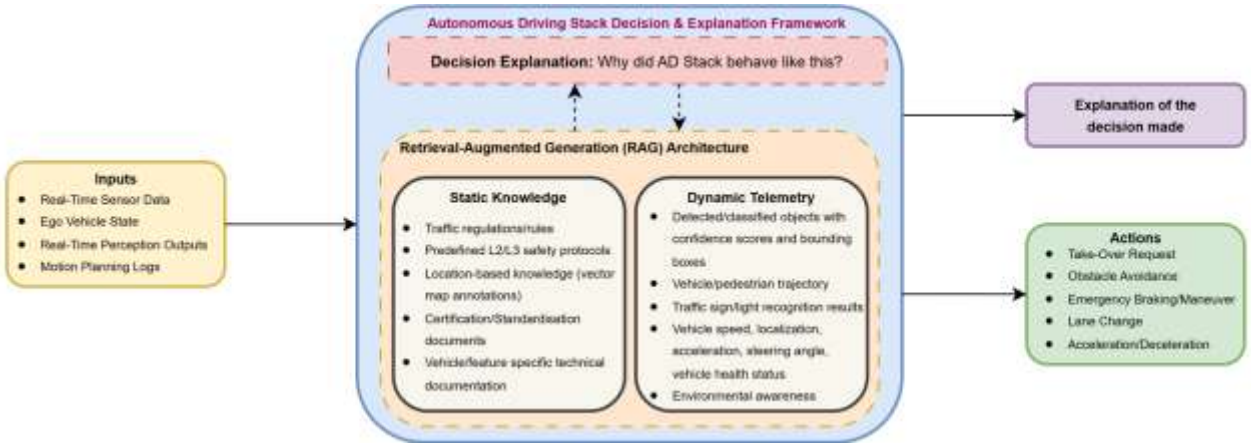


Figure 2. RAG-Based Explainable AI Architecture (Simplified)

The following section reviews foundational research, datasets, and general approaches in the literature; identifies the limitations of existing studies, and highlights the research gaps that the proposed RAG-XAI architecture aims to fill.

LLM4Drive: A Survey of Large Language Models for Autonomous Driving (Yang et al. 2023) – This comprehensive survey classifies the integration of LLMs into autonomous driving based on planning, perception, question-answering (QA), and scenario generation. The study demonstrates how the reasoning capabilities of LLMs can improve decision-making processes (common-sense decisions) in autonomous driving. However, it also identifies fundamental obstacles in the field, highlighting latency issues during real-time operation on edge devices and the risk of hallucinations.

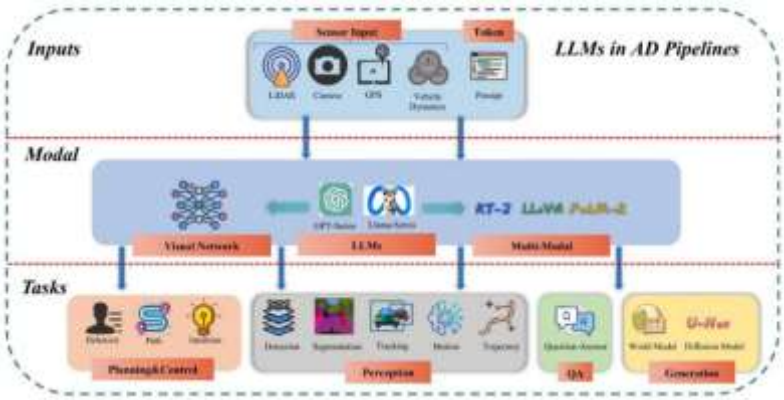


Figure 3. LLM4Drive System Diagram

DriveLM: Driving with Graph Visual Question Answering (Sima et al., 2023) – DriveLM is a pioneering study that adapts the concept of "Graph Visual Question Answering" (GVQA) to autonomous driving. It models the human driver's decision-making process (Perception → Prediction → Planning) with interconnected question-answering (QA) pairs in a logical graph structure. This approach allows the system to explain its decision steps by establishing a logical chain. However since the explanations here rely solely on the system's internal (parametric) visual and linguisticc knowledge, they are not directly supported by external legislation or strict rule sets.

Figure 4. DriveLM System Diagram

DriveGPT4: Interpretable End-to-End Autonomous Driving via Large Language Model (Xu et al., 2024) – DriveGPT4 is one of the foundational studies utilizing Multimodal Large Language Models (MLLMs) for interpretable end-to-end autonomous driving. It processes multiple video frames and text queries to explain the vehicle's actions, answer questions, and generate control signals (speed, steering angle, etc.) for the next step. Its major shortcomings is that the system generates its explanations entirely from the model's parametric weights (a black-box approach), occasionally ignoring domain-specific safety rules, which paves the way for hallucinations.

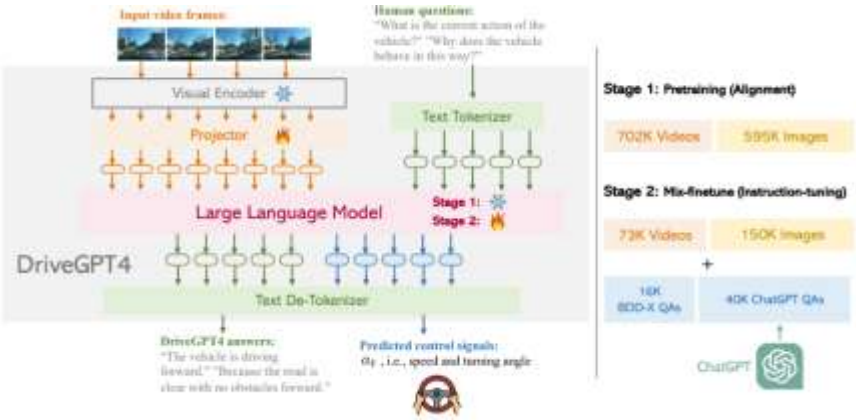


Figure 5. DriveGPT4 System Diagram

RAG-Driver: Generalisable Driving Explanations with Retrieval-Augmented in Context Learning (Yuan et al., 2024) – RAG Driver uses a Retrieval Augmented Generation (RAG) architecture to produce driving action explanations and represents one of the most recent approaches in the field. However, in this study, the RAG mechanism is used to guide the model (in-context learning) by retrieving past driving scenarios (expert demonstrations) similar to the current situation from the database, rather than retrieving specific rules. Consequently, it does not perform a logical "legal/rule" inquiry centered on deterministic traffic rules or Operational Design Domain (ODD) restrictions.

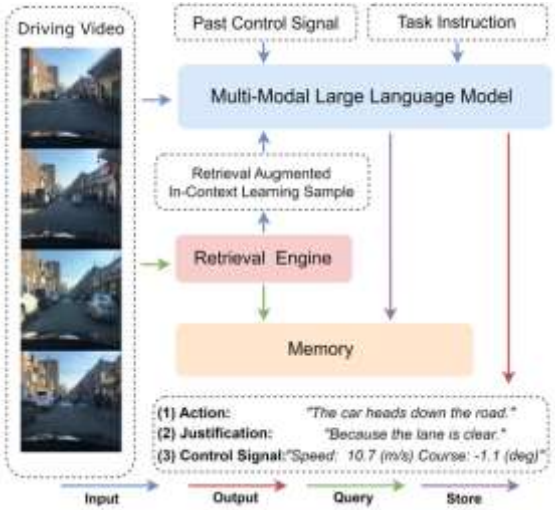


Figure 6. RAG-Driver System Diagram

LanguageMPC: Large Language Models as Decision Makers for Autonomous Driving (Sha et al., 2023) – This study positions LLMs directly as "decision makers" and integrates them with Model Predictive Control (MPC) algorithms. The system utilizes a "fast-slow" architecture: the LLM processes high-level logical instructions (slow system), while the low-level MPC agent ensures real-time physical vehicle control (fast system). Although it is strong at bridging the gap between the LLM and the controller, it does not offer a direct external data or rule retrieval (RAG) mechanism to convey the *explainability* of actions during emergency situations to the user.

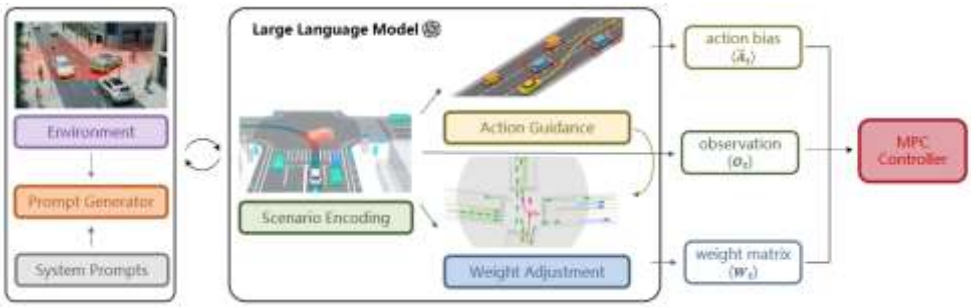


Figure 7. LanguageMPC System Diagram

Here is the comparative matrix of the reviewed studies and systems in the literature.

Study	Knowledge Source	Intended Audience	Coupling to Driving Stack	Critical Event Coverage
BDD-X	Annotated observation	Developer	Dataset-level	Not addressed
DriveLM	Parametric (VLM)	Developer	Tightly coupled	Not addressed
DriveGPT4	Parametric (MLLM)	Mixed	End-to-end, shared weights	Not addressed
LanguageMPC	Parametric + MPC state	Developer	In decision path	Partially (manoeuvre level)
RAG-Driver	Retrieved past episodes	Mixed	Tightly coupled	Not addressed
SafeAuto	Past episodes + FOL rules	Developer	In decision path	Rule verification only
RAG-XAI (proposed)	**Retrieved rules + live telemetry**	**Occupant + auditor**	**Decoupled, read-only**	**Explicit trigger set**

Table 1. Comparative Matrix of the Literature Review Studies

FINDINGS

The proposed framework is deliberately designed as an autonomous-driving-stack-agnostic explanation layer rather than an architecture coupled to a particular perception, planning or control implementation. This is its principal departure from the reviewed pipelines, which are typically presented as tightly integrated end-to-end systems in which perception, planning and explanation share model weights or a common simulation environment. Here the underlying stack is treated as an isolated component exposing a well-defined interface of numerical and symbolic signals. The explanation layer consumes that interface and never writes back to it: it has no actuation authority and cannot influence control, planning or perception. *Figure 2* situates the framework relative to the driving stack.

The value of grounding is clearest when contrasted with what a naive retrieval design produces. *Figure 8* shows a conventional RAG pipeline in which only the static corpus is indexed and no live telemetry reaches the generator. Two characteristic failure modes follow. The first is pure rule recitation: the model returns the relevant highway code article but says nothing about the vehicle's actual situation, leaving the occupant no better informed. The second, more dangerous, is hallucination of vehicle state — the model invents a plausible reason for the manoeuvre, drawn from general driving knowledge rather than from anything the sensors observed.

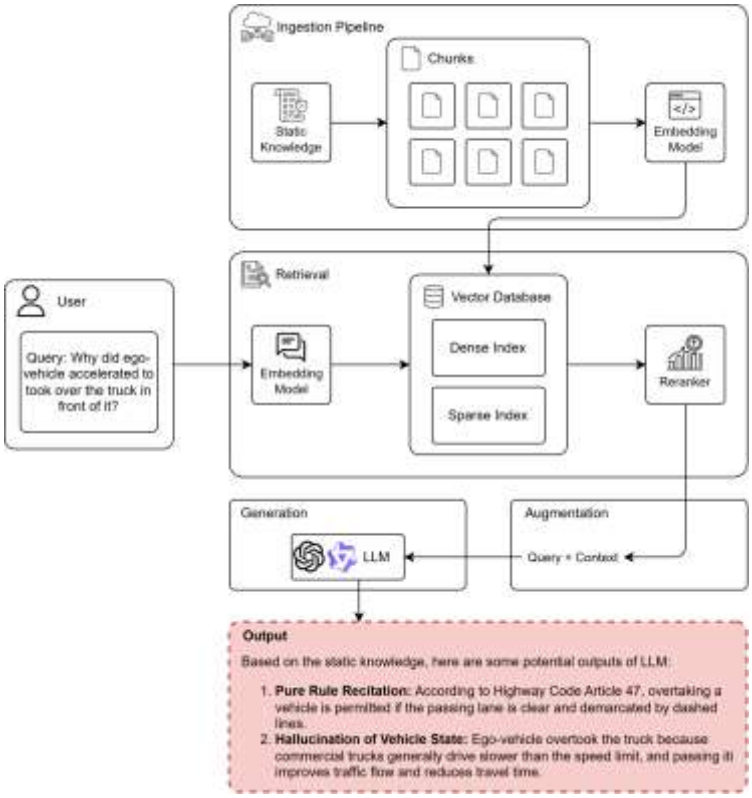


Figure 8. Baseline RAG Pipeline and its two characteristic failure mode

The proposed architecture, shown in *Figure 9*, resolves both failure modes by introducing a second, non-retrieval evidence path. It comprises five cooperating modules, described in turn below.

Ingestion pipeline (offline): The static knowledge base is built independently of any live driving session. Source documents — regulatory texts, safety standards, HD map annotations, manufacturer-specific ADAS limits and historical scenario records — are decomposed into chunks, embedded and written to the vector database that retrieval later queries. The offline/online separation is intentional: the corpus can be revised, extended or re-indexed without touching the live telemetry path, keeping the two concerns independent — what the rules are, and what is happening right now.

Dynamic telemetry stream and state constructor (online): In parallel, this module continuously reads the driving stack's already-computed outputs and compresses them into a compact scene descriptor. The descriptor is the only channel through which live context enters the framework, which is what makes the architecture portable: any stack able to expose these fields via logs, a middleware topic or an API is compatible, regardless of its internal implementation. The descriptor carries a perception summary

(bounding boxes, class labels, confidence scores, predicted trajectories of surrounding agents); a planning summary (the selected trajectory and the dominant cost term behind that selection); the ego-vehicle state (position, velocity, heading, acceleration, active driving mode); and system confidence and ODD flags such as undetected lane markings or localisation uncertainty.

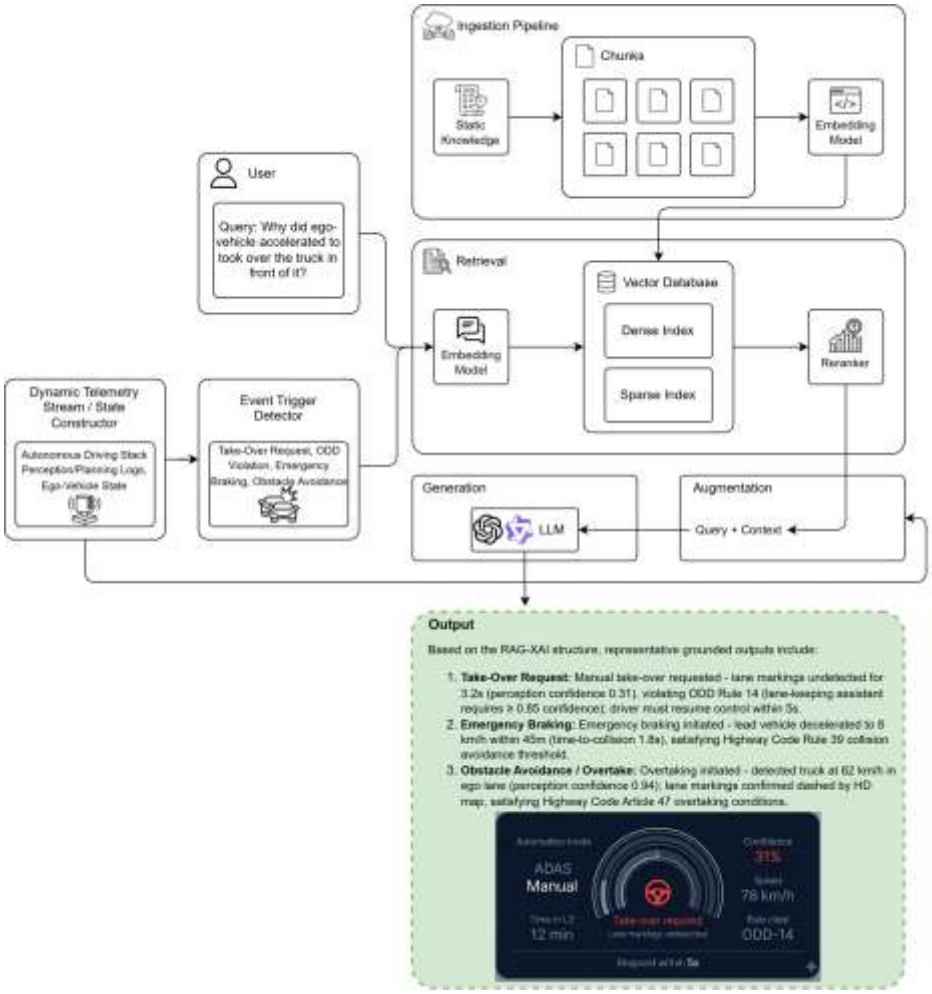


Figure 9. Proposed RAG-XAI Architecture

Event trigger detector: The descriptor is monitored continuously for a fixed set of justification-worthy conditions: take-over request, ODD violation, emergency braking and obstacle avoidance. On detection, the module auto-formulates a structured query in the same representation a spoken user query would take. Because a user may also pose a natural-language question directly, retrieval has two entry points converging on a single embedding model. This dual-path design means the explanation layer is never purely reactive.

Hybrid retrieval: Whichever path produces the query, the vector database maintains both a dense index (semantic similarity, suited to conceptual matches such as reduced visibility retrieving fog-related ODD clauses) and a sparse index (lexical matching, suited to exact citations such as a specific highway code article number). Candidates from both are merged and reordered by a reranker before the top-k passages proceed to augmentation. The hybrid design is a deliberate choice over the single-index retrieval used

in prior driving-explanation systems: regulatory text benefits disproportionately from exact lexical matching on rule numbers and article references, which purely dense retrieval tends to miss.

Augmentation and generation: This stage is where the core contribution becomes concrete. Three inputs are merged into the final prompt: the original query, the reranked rule passages, and a live telemetry snapshot injected directly from the state constructor through a dedicated bypass that never touches the retrieval index. That bypass is the specific mechanism preventing the second failure mode of *Figure 8*. Because the model is given the actual current speed, distance and confidence values as hard context, it is never left to infer plausible values from general driving knowledge. Static rules and dynamic facts thus remain two structurally distinct evidence sources that the model must reconcile, rather than being pre-mixed into a single corpus. *Table 2* illustrates the resulting output for three representative trigger events.

Event	Retrieved rule	Generated explanation
Take-over request	ODD Rule 14 — lane-keeping assistant requires ≥ 0.85 perception confidence	Manual take-over requested: lane markings undetected for 3.2 s (perception confidence 0.31), violating ODD Rule 14; driver must resume control within 5 s.
Emergency braking	Highway Code Rule 39 — collision avoidance threshold	Emergency braking initiated: lead vehicle decelerated to 8 km/h within 45 m (time-to-collision 1.8 s), satisfying the Rule 39 collision-avoidance threshold.
Overtake / obstacle avoidance	Highway Code Article 47 — overtaking conditions	Overtaking initiated: truck detected at 62 km/h in ego lane (perception confidence 0.94); lane markings confirmed dashed by HD map, satisfying Article 47 overtaking conditions.

Table 2. Representative Grounded Outputs

CONCLUSION AND DISCUSSION

This paper started from a single observation: as automation moves from Level 2 to Level 3, the vehicle gains the right to act without supervision at precisely the moment the occupant loses the continuous awareness needed to interpret those actions. The review presented here found that explanation research has advanced rapidly in fluency and far less in grounding. Whether the evidence comes from a model's internal weights or from retrieved past episodes, the resulting justification is linguistically well formed and factually unverifiable, which is a hazardous combination when the person receiving it has no independent view of the road.

RAG-XAI answers this with three architectural commitments that, taken together, distinguish it from every configuration surveyed in this study.

Separation. The explanation layer sits strictly outside the decision loop. It reads the deterministic stack's outputs and never writes back to them, so the language model holds no actuation authority and has nothing to rationalise. The most common path from a perception error to a confident false explanation is removed by construction rather than filtered after the fact.

From precedent to norm. Retrieval-augmented driving systems have so far asked what was done in similar situations before. RAG-XAI instead asks under which provision the present action is permitted, retrieving traffic regulations, manufacturer-declared ODD limits and certification texts at the moment of the event. Precedent can describe what is typical; only a normative corpus can establish what is lawful,

and an explanation that cites the governing rule is qualitatively different from one that cites a resemblance.

The telemetry bypass. Live vehicle state enters the prompt directly and never through the retrieval index, so the numerical content of an explanation originates in measurement rather than in inference. This is the specific mechanism that closes both failure modes of a naive pipeline: the model can neither recite a rule in the abstract nor invent a vehicle state that was never observed.

The consequence is an output in which every clause decomposes into two independently checkable parts, a measured value and a cited provision. That decomposability is the real contribution of the framework.

REFERENCES

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., & Wang, H. (2023). *Retrieval-augmented generation for large language models: A survey* (arXiv:2312.10997). arXiv.

Kim, J., Rohrbach, A., Darrell, T., Canny, J., & Akata, Z. (2018). Textual explanations for self-driving vehicles. In V. Ferrari, M. Hebert, C. Sminchisescu & Y. Weiss (Eds.), *Computer vision – ECCV 2018* (pp. 563–578). Cham, Switzerland: Springer.

Koo, J., Kwac, J., Ju, W., Steinert, M., Leifer, L., & Nass, C. (2015). Why did my car just do that? Explaining semi-autonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 9*(4), 269–275.

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., … Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. In H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. F. Balcan & H. Lin (Eds.), *Advances in neural information processing systems 33* (pp. 9459–9474). Red Hook, NY: Curran Associates.

SAE International. (2021). *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles* (Standard No. J3016_202104). Warrendale, PA: SAE International.

Sha, H., Mu, Y., Jiang, Y., Chen, L., Xu, C., Luo, P., … Ding, M. (2023). *LanguageMPC: Large language models as decision makers for autonomous driving* (arXiv:2310.03026). arXiv.

Sima, C., Renz, K., Chitta, K., Chen, L., Zhang, H., Xie, C., … Li, H. (2024). DriveLM: Driving with graph visual question answering. In A. Leonardis, E. Ricci, S. Roth, O. Russakovsky, T. Sattler & G. Varol (Eds.), *Computer vision – ECCV 2024* (pp. 256–274). Cham, Switzerland: Springer.

Xu, Z., Zhang, Y., Xie, E., Zhao, Z., Guo, Y., Wong, K.-Y. K., … Zhao, H. (2024). DriveGPT4: Interpretable end-to-end autonomous driving via large language model. *IEEE Robotics and Automation Letters, 9*(10), 8186–8193.

Yang, Z., Jia, X., Li, H., & Yan, J. (2023). *LLM4Drive: A survey of large language models for autonomous driving* (arXiv:2311.01043). arXiv.

Yuan, J., Sun, S., Omeiza, D., Zhao, B., Newman, P., Kunze, L., & Gadd, M. (2024). *RAG-Driver: Generalisable driving explanations with retrieval-augmented in-context learning in multi-modal large language model* (arXiv:2402.10828). arXiv.

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 64*, 285–307.

Comparative Analysis of Automotive SPICE (ASPICE) Versions 3.1 and 4.0: Structural, Conceptual, and Procedural Changes

Arda KABACA

[1]E-mail: arda.kabaca@tofas.com.tr TOFAŞ A.Ş, Otomotiv Yazılımları Departmanı, İzmir / Türkiye.

Özet

Bu çalışma, Automotive SPICE (ASPICE) 3.1 ve 4.0 sürümleri arasındaki yapısal, kavramsal ve prosedürel farklılıkların karşılaştırmalı bir analizidir. Araştırma, resmi süreç değerlendirme modeli dokümanları, hakemli akademik yayınlar ve sektör raporlarına dayanan nitel doküman analizi yöntemiyle yürütülmüştür. Bulgular, ASPICE 4.0'ın Donanım Mühendisliği (HWE) ve Makine Öğrenmesi Mühendisliği (MLE) süreç gruplarını ekleyerek kapsamını genişlettiğini, toplam temel pratik (BP) sayısını azalttığını, "iş ürünü" kavramını "bilgi öğesi" ile değiştirdiğini ve yetkinlik değerlendirme yapısını ISO/IEC 33020 standardı ile hizaladığını göstermektedir. Bu değişiklikler netliği artırmayı, tekrarları azaltmayı ve modern otomotiv geliştirme ihtiyaçlarıyla uyumu iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma ayrıca yeniden eğitim gereksinimleri ve platform tabanlı geliştirme ortamlarına uyarlama dahil olmak üzere geçiş sürecindeki olası zorlukları ele almaktadır.

Anahtar Kelimeler: ASPICE 3.1, ASPICE 4.0, otomotiv yazılımı, süreç değerlendirme, yetkinlik seviyeleri

Abstract

This paper presents a comparative analysis of Automotive SPICE (ASPICE) versions 3.1 and 4.0, focusing on the structural, conceptual, and procedural changes introduced in the latest model revision. The research was conducted using a qualitative document analysis method, examining official process assessment model documents, peer reviewed academic papers, and industry reports. Key findings indicate that ASPICE 4.0 expands its scope through the addition of Hardware Engineering (HWE) and Machine Learning Engineering (MLE) process groups, reduces the total number of base practices, replaces "work products" with "information items", and aligns its capability assessment framework with ISO/IEC 33020. These changes aim to improve model clarity, reduce redundancy, and enhance applicability to modern automotive development challenges. The paper also discusses potential implementation challenges, including retraining needs and adaptation for platform based development environments.

Keywords: ASPICE 3.1, ASPICE 4.0, automotive software, capability levels, process assessment

GİRİŞ

Over the last few years, the demands on automotive development have stacked higher and higher: functional safety, cybersecurity, machine learning integration, and increasingly complex mechatronic systems. Each one on its own is challenging; together, they weave a system landscape that is anything but straightforward. In practice, the old process assessment models started to show their age. They worked well for a certain kind of project environment, but they were not built to keep pace with this level of interdisciplinarity. Change was not just advisable; it was inevitable.

That change arrived in 2023, when the VDA Quality Management Center introduced Automotive SPICE (ASPICE) version 4.0. It is not a routine revision; it is a considered, targeted reshaping of how the industry measures and improves process capability. The influence of lessons learned from years of assessments is evident, as is a clear response to how modern development environments actually operate. For ease of reading, Annex A in this paper collects all abbreviations and acronyms in one place.

From a structural and conceptual standpoint, version 4.0 steps beyond 3.1 (the baseline since 2017) in a few key ways. It introduces entirely new process groups, Hardware Engineering (HWE) and Machine Learning Engineering (MLE), reflecting areas that were previously underserved. Some legacy processes have been merged or retired, and the number of Base Practices has been pared down (Ekert et al., 2024).

Then there is a change that might look small on paper but has big implications: *work products* have been redefined as *information items*. This is more than a rename. It is an acknowledgment that evidence in modern development is not always a static document; it might be a live dashboard, a simulation model, or a set of configuration parameters (Srinivas, Sahany & Somannaiah, 2024).

Another significant shift is the alignment of the capability assessment framework with ISO/IEC 33020. This brings tighter consistency to evaluation criteria, while a round of terminology cleanup resolves long standing points of confusion in 3.1 (VDA QMC, 2023). Taken together, these refinements are designed to make ASPICE fit comfortably into agile, DevOps, and even AI driven engineering contexts, environments where static plans and rigid artifacts can quickly become liabilities.

In this paper, these changes are examined in detail, looking at their practical impact across the Management (MAN), Software Engineering (SWE), System Engineering (SYS), and Support (SUP) process groups, as well as other stages of the V-Model lifecycle. The goal is not just to compare 3.1 to 4.0 side by side, but to explore how the updates influence real world capability assessments and day to day execution. Ultimately, what emerges is a shift in ASPICE's identity from a static compliance checkpoint to an adaptive, embedded partner in sustaining process maturity for the realities of today's automotive software engineering.

YÖNTEM

To understand the differences between ASPICE 3.1 and 4.0, the work was approached as a qualitative, comparative study: not just an academic exercise, but a practical mapping of what changes mean inside the V-Model lifecycle. The focus was on the four process categories where the revisions hit hardest: Management (MAN), Software Engineering (SWE), System Engineering (SYS), and Support (SUP). The intent was to pinpoint the structural, conceptual, and procedural shifts in each group, then

interpret what those shifts look like in actual project conditions. For reference, every acronym and abbreviation used is listed in Annex A.

The source base leans heavily on the official ASPICE 3.1 and 4.0 Process Assessment Models (PAMs), which remain the bedrock of any credible comparison. To that were added academic analyses from the EuroSPI 2024 conference, peer reviewed journal articles offering true side by side breakdowns, and industry publications written by experienced practitioners. Each source earned its place for one of two reasons: it was either directly tied to the 4.0 release, or it had the authority to shape how that release would be interpreted in the field.

The data gathering process was structured. It started with targeted keyword searches in Google Scholar and ResearchRabbit, using phrases such as "ASPICE 3.1 vs. 4.0", "Automotive SPICE V-Model process changes", and "ASPICE MAN SWE SYS SUP comparison". The material was filtered for English language publications from 2017 through 2024 to capture both the historical context of 3.1 and the current thinking around 4.0.

One important note: no insights from internal organizational assessments are included here. Confidentiality agreements and proprietary concerns make them off limits. By design, this paper rests solely on publicly accessible, academically verifiable material, the kind that can be examined, cited, and challenged in open discussion.

BULGULAR

Looking across the V-Model scope, Management (MAN), Software Engineering (SWE), System Engineering (SYS), and Support (SUP), the differences between 3.1 and 4.0 are not subtle. The list is long: fewer Base Practices, overlapping activities folded together, more freedom in how evidence is presented, and terminology that finally lines up without the old grey areas. On paper these might look like tidy structural edits, but in practice they smooth the friction points that repeatedly surface in 3.1 assessments. They also push the model closer to the way development actually works today, instead of the way it was expected to work seven or eight years ago.

The Management processes are a good place to start because that is where the tone of 4.0 really shows. It is less about ticking off pre set milestones and more about staying in sync with a moving target. MAN.5 is the clearest example: in 3.1, risk reviews could feel static; they were documented, filed, and left behind. In 4.0, the explicit requirement for periodic or event driven reassessment changes the game. Conditions can shift quickly: a semiconductor shortage can derail an integration plan, a regulation can change mid release, or a customer can reframe priorities halfway through a sprint. Now the process does not just allow for that volatility; it expects teams to plan for it.

1. Management Processes (MAN)

The Management process group is where the shift from 3.1 to 4.0 is perhaps the most immediately tangible in day to day project life. These processes are the backbone of how objectives are set, tracked, and adjusted, and they often dictate the pace at which the rest of the V-Model can move. In 3.1, management activities leaned toward structured planning and periodic review, effective in stable

contexts, but sometimes too rigid when market conditions, supply chains, or regulations changed mid project.

With 4.0, the emphasis moves toward adaptability without losing traceability. The terminology has been updated to allow for more modern evidence formats, risk governance has been reshaped into a continuous rather than episodic activity, and redundant steps have been collapsed so that monitoring, review, and adjustment happen as part of the same operational flow. In the following sections, two core processes in this group, MAN.3 (Project Management) and MAN.5 (Risk Management), are examined to see how their structure, intent, and practical application have evolved in 4.0.

Tablo 1. *ASPICE 3.1 ve 4.0 arasinda MAN.3 ve MAN.5 icin BP karsilastirmasi*

Process	Version	BP Count	Key Changes
MAN.3	3.1	8	Progress monitored against plans
MAN.3	4.0	6	Progress monitored against plans and objectives; "project plan" replaced with "project planning information item"; resource tracking and reviews integrated into monitoring
MAN.5	3.1	7	No periodic reassessment BP
MAN.5	4.0	5	Periodic or event driven reassessment added; probability, severity, and mitigation monitoring consolidated

1.1. MAN.3 Project Management

ASPICE 3.1 BPs *(VDA QMC, 2017)*

1. Define the project objectives.
2. Develop and maintain the project plan.
3. Assign responsibilities and authorities for the project.
4. Monitor the project progress and performance against the project plan.
5. Review the project risks and implement risk mitigation actions.
6. Manage the interfaces to other projects and organizational units.
7. Manage project resources.
8. Conduct project reviews at planned intervals.

ASPICE 4.0 BPs *(VDA QMC, 2023)*

1. Define the project objectives.
2. Develop and maintain the project planning information item.
3. Assign responsibilities and authorities for the project.
4. Monitor the project progress and performance against the planning information item.
5. Monitor and update risks, and implement risk mitigation actions.

6. Manage the interfaces to other projects and organizational units.

Changes Highlighted

- BP2, BP4: "project plan" replaced with *project planning information item*.
- BP5: risk review and mitigation merged into a single BP.
- BP7 and BP8 removed; resource tracking and review responsibilities integrated into monitoring activities.

Motivation

Reflects a need for flexibility in evidence formats (e.g., dashboards or Agile boards), reduces duplication, and aligns with the ISO/IEC 33020 measurement framework.

Example: In a connected vehicle cockpit ECU project, the team historically managed both an MS Project Gantt chart (for assessments) and live Jira Kanban workflows (for daily operations). With ASPICE 4.0, the Jira Kanban board, with project objectives, sprint milestones, and risk indicators, is accepted as the *project planning information item*. The Gantt chart is archived but not required, reducing maintenance by approximately 30 hours per month while enhancing alignment between actual progress and assessment artifacts.

1.2. MAN.5 Risk Management

ASPICE 3.1 BPs *(VDA QMC, 2017)*

1. Identify risks that could impact the project objectives.
2. Determine the probability of occurrence for each identified risk.
3. Determine the severity of the impact for each identified risk.
4. Assess the risks based on probability and severity.
5. Develop risk mitigation plans.
6. Monitor the status of risks and the effectiveness of risk mitigation actions.
7. Communicate risk status to relevant stakeholders.

ASPICE 4.0 BPs *(VDA QMC, 2023)*

1. Identify risks that could impact the project objectives.
2. Assess risks, considering *probability and severity of occurrence*.
3. Develop risk mitigation plans.
4. Monitor and update risks, and assess the effectiveness of risk mitigation actions.
5. Communicate risk status to relevant stakeholders.

Changes Highlighted

- BPs 2 to 4 in 3.1 consolidated into BP2 and BP4 in 4.0.
- The distinct steps of probability, severity, and mitigation monitoring are merged to reduce redundancy.

Motivation

Supports real time risk dashboards, avoids repeated re evaluation cycles, and embraces modern tooling and automation.

Example: In an ADAS project, previously maintained as a static Excel risk register, the team now uses a Power BI dashboard synced with Jira "risk" issue types. Risk probability and severity are dynamically updated, and mitigation status auto calculates residual risk. This approach removes manual re entry (previously needed twice per risk) and aligns real project risk posture seamlessly with assessment evidence, fully accepted under ASPICE 4.0.

2. System Engineering Processes (SYS)

System Engineering changes focus on early feasibility checks through the new "appropriateness" criterion and advancement of verification timelines via simulation and virtual integration. This allows for earlier detection of performance mismatches and integration issues, reducing rework during physical prototype phases.

Tablo 2. *ASPICE 3.1 ve 4.0 arasinda SYS.2 ile SYS.5 icin BP karsilastirmasi*

Process	Version	BP Count	Key Changes
SYS.2	3.1	7	Completeness only
SYS.2	4.0	6	Added "appropriateness"; review BP removed
SYS.3	3.1	6	Completeness only
SYS.3	4.0	5	Added "appropriateness"; review BP removed
SYS.4	3.1	7	Physical integration focus
SYS.4	4.0	7	Allows early virtual and digital twin integration
SYS.5	3.1	6	"Conduct testing" wording
SYS.5	4.0	6	"Verify system" includes analysis and reviews

2.1. SYS.2 System Requirements Analysis

ASPICE 3.1 BPs *(VDA QMC, 2017)*

1. Derive system requirements from customer requirements and other sources.
2. Define system requirements to a level of detail necessary for design.
3. Ensure bidirectional traceability between system requirements and higher level requirements.
4. Ensure bidirectional traceability between system requirements and system architectural design.

5. Ensure consistency and completeness of system requirements.
6. Validate system requirements against customer requirements.

ASPICE 4.0 BPs *(VDA QMC, 2023)*

1. Derive system requirements from customer requirements and other sources.
2. Define system requirements to a level of detail necessary for design.
3. Ensure bidirectional traceability between system requirements and higher level requirements.
4. Ensure bidirectional traceability between system requirements and system architectural design.
5. Ensure *consistency, completeness, and appropriateness* of system requirements.
6. Validate system requirements against customer requirements.

Key Changes

• BP5: added *appropriateness* to the quality criteria for requirements, making stakeholder suitability part of the requirement assessment.

Motivation

• Address cases where requirements are formally correct but technically infeasible or misaligned with user needs.

• Increase early detection of impractical or overly complex requirements before the architecture phase.

Example: In an electric vehicle **thermal management system** project, a system requirement stated: "Battery temperature must be maintained at 25°C ± 1°C under all ambient conditions." While consistent and complete in 3.1 terms, it was not *appropriate* due to physical limits in extreme climates. Under 4.0, the appropriateness clause in BP5 would require an engineering feasibility check at the requirement level, leading to an adjusted requirement that specified a broader range in cold weather, reducing cost and complexity.

2.2. SYS.3 System Architectural Design

ASPICE 3.1 BPs *(VDA QMC, 2017)*

1. Develop system architectural design based on system requirements.
2. Allocate system requirements to hardware, software, and other system elements.
3. Define and document interfaces between system elements.
4. Ensure bidirectional traceability between system architectural design and system requirements.
5. Ensure consistency and completeness of system architectural design.
6. Review system architectural design.

ASPICE 4.0 BPs *(VDA QMC, 2023)*

1. Develop system architectural design based on system requirements.
2. Allocate system requirements to hardware, software, and other system elements.

3. Define and document interfaces between system elements.

4. Ensure bidirectional traceability between system architectural design and system requirements.

5. Ensure *consistency, completeness, and appropriateness* of system architectural design.

Key Changes

• BP5: added *appropriateness* for architecture, ensuring design choices are technically and economically justified, not just traceable and consistent.

• Review BP removed; review is considered part of ensuring appropriateness.

Motivation

• Avoid over engineered or impractical architectures that technically meet requirements but fail in manufacturability, cost, or integration.

Example: In an **autonomous parking ECU** project, the architecture included a redundant triple camera setup to meet safety requirements. Under 3.1, this would pass as consistent and complete. Under 4.0, the appropriateness check would reveal that two cameras plus radar could achieve the same safety goal at lower cost and power consumption, leading to a revised architecture.

2.3. SYS.4 System Integration and Integration Test

Key Changes: No wording changes in the BP text, but the supporting notes are updated to clarify that "verification" includes analysis, inspection, and simulation in addition to physical testing.

Motivation: Reflect industry adoption of model based and virtual integration before physical prototypes.

Example: In a **domain controller project** integrating ADAS and infotainment, early integration testing was conducted entirely in a hardware in the loop (HiL) setup, without waiting for production ECUs. Under 3.1, such simulation might be seen as partial verification; under 4.0, it is explicitly valid as integration verification evidence.

2.4. SYS.5 System Qualification Testing

Key Changes: No BP wording changes, but the notes are updated to allow qualification by analysis, simulation, or inspection in justified cases.

Motivation: Support virtual testing for complex functions where physical testing is resource intensive or unsafe.

Example: In an electric power steering (EPS) program, full failure mode testing for certain steering lock conditions was simulated in a virtual environment due to safety constraints. ASPICE 4.0 explicitly allows this to count as valid qualification evidence, reducing dependency on costly and risky track tests.

3. Software Engineering Processes (SWE)

The Software Engineering process group shows a consolidation of traceability and review requirements, integration of "appropriateness" checks, and an expanded definition of verification that

supports non testing methods. This aligns with agile, DevOps, and continuous integration practices, allowing verification activities to run in parallel with development.

Tablo 3. *ASPICE 3.1 ve 4.0 arasinda SWE.1 ile SWE.6 icin BP karsilastirmasi*

Process	Version	BP Count	Key Changes
SWE.1	3.1	7	Completeness only
SWE.1	4.0	6	Added “appropriateness”; merged review BP
SWE.2	3.1	6	Completeness only
SWE.2	4.0	5	Added “appropriateness”; merged review BP
SWE.3	3.1	6	Completeness only
SWE.3	4.0	5	Added “appropriateness”; merged review BP
SWE.4	3.1	6	Testing focus
SWE.4	4.0	6	Broadened verification methods
SWE.5	3.1	7	Physical integration only
SWE.5	4.0	7	Virtual integration allowed
SWE.6	3.1	6	“Conduct testing” wording
SWE.6	4.0	6	“Verify software” includes reviews and analysis

3.1. SWE.1 Software Requirements Analysis

ASPICE 3.1 BPs *(VDA QMC, 2017)*

1. Derive software requirements from system requirements and other sources.
2. Define software requirements to a level of detail necessary for design.
3. Ensure bidirectional traceability between software requirements and system requirements.
4. Ensure bidirectional traceability between software requirements and software architectural design.
5. Ensure consistency and completeness of software requirements.
6. Validate software requirements against system requirements.
7. Review software requirements.

ASPICE 4.0 BPs *(VDA QMC, 2023)*

1. Derive software requirements from system requirements and other sources.
2. Define software requirements to a level of detail necessary for design.

3. Ensure bidirectional traceability between software requirements and system requirements.
4. Ensure bidirectional traceability between software requirements and software architectural design.
5. Ensure *consistency, completeness, and appropriateness* of software requirements.
6. Validate software requirements against system requirements.

Key Changes

- BP5: added *appropriateness*.
- BP7 removed; review activity now implied under validation and appropriateness.

Motivation

- Ensure not just correctness but practical implementability.
- Avoid double counting review activities.

Example: In a **battery management system (BMS)** project, a requirement stated: "Voltage balancing shall be achieved within 1 second of imbalance detection." While technically consistent and complete, it was impractical given cell chemistry. Under 4.0, appropriateness prompts early feasibility analysis, leading to an updated requirement of 5 seconds and saving redesign cost.

3.2. SWE.2 Software Architectural Design

Key Changes: BP5 extended with *appropriateness*; the separate review BP is removed, since review is considered part of ensuring appropriateness.

Motivation: Encourage architectures that are not only correct but optimized for resource, cost, and maintainability constraints.

Example: In an **ADAS perception stack** project, the initial architecture allocated AI model execution to CPU cores only. Under 4.0, the appropriateness review led to migration of AI workloads to a GPU/DSP pipeline, reducing latency by 35%.

3.3. SWE.3 Software Detailed Design and Unit Construction

Key Changes: BP5 expanded to include *appropriateness*; the implementation BP is removed, with implementation now implied in the design to construction transition.

Motivation: Allow more flexible agile build approaches where unit implementation may start before all designs are finalized.

Example: In a **powertrain ECU** project, unit code for torque management functions was started while the design of diagnostic units was still ongoing. Under 4.0, this is acceptable if appropriateness ensures that partial designs are still technically viable.

3.4. SWE.4 Software Unit Verification

Key Changes: BP4 simplified; "according to the plan" removed, allowing adaptive approaches such as test driven development.

Motivation: Support agile, continuous integration based verification.

Example: In an **infotainment system**, unit tests for media player modules were executed automatically in the CI pipeline without following a fixed static plan, adapting tests as the code evolved.

3.5. SWE.5 Software Integration and Integration Test

Key Changes: No wording changes, but guidance notes now allow virtual integration environments to count as valid evidence.

Example: In a **domain controller**, integration of the Ethernet gateway stack with security modules was tested in a simulated network before the physical hardware was ready, avoiding a three week delay.

3.6. SWE.6 Software Qualification Testing

Key Changes: BP4 broadened from "Conduct software qualification testing" to *"Verify software against requirements"*, which allows reviews, analysis, and simulation as qualification evidence.

Motivation: Reduce test only bias; support agile DevOps and continuous delivery.

Example: In an over the air (OTA) update feature rollout, certain compliance verifications (e.g., memory consumption, encryption compliance) were done entirely through static analysis and penetration testing instead of full physical test cycles.

4. Supporting Processes (SUP)

Support processes now reflect modern toolchains and automation trends in quality, configuration, and change management. SUP.1 expands QA to all applicable standards, SUP.8 accepts distributed and cloud based configuration management, while SUP.9 and SUP.10 integrate AI and automation to manage high volume, fast paced change environments.

Tablo 4. *ASPICE 3.1 ve 4.0 arasinda SUP surecleri icin BP karsilastirmasi*

Process	Version	BP Count	Key Changes
SUP.1	3.1	7	Plan term only
SUP.1	4.0	7	"Planning information item"; includes applicable requirements
SUP.8	3.1	6	No cloud CM guidance
SUP.8	4.0	6	Cloud and distributed CM tools allowed
SUP.9	3.1	7	Manual classification
SUP.9	4.0	7	AI assisted classification allowed
SUP.10	3.1	6	Human origin CRs only
SUP.10	4.0	6	Automated CR triggers allowed

4.1. SUP.1 Quality Assurance

Changes: "Quality assurance plan" replaced with *quality assurance planning information item* (BP2). BP4 and BP5: *applicable requirements* added to extend compliance checks beyond internal standards to external regulations, customer specific requirements, and legal frameworks.

Motivation: Ensure QA is aligned with external compliance needs (e.g., ISO 26262, UNECE R155) without duplicating audits, and allow non document based QA planning formats such as QA task boards.

Example: In a **cybersecurity ECU** project, QA no longer reviews only against the internal development process and coding guidelines but also explicitly checks work products against ISO/SAE 21434 cybersecurity requirements, avoiding late non compliance findings during customer audits.

4.2. SUP.8 Configuration Management

Changes: No wording changes to BPs, but the notes are updated to explicitly allow distributed and cloud hosted CM tools (e.g., GitLab, Azure DevOps) as valid evidence sources, provided integrity controls are in place.

Motivation: Reflect modern DevOps practices where configuration data may live in multiple systems rather than a single repository.

Example: In an **electric drive control software** project, software is stored in GitHub, calibration data in Vector vCDM, and test configurations in Azure DevOps. Under 4.0, all are acceptable as long as traceability and integrity are ensured, eliminating the need to centralize all artifacts into one legacy CM system.

4.3. SUP.9 Problem Resolution Management

Changes: No wording changes, but guidance is expanded to allow AI assisted problem classification and prioritization as valid evidence, if traceable.

Motivation: Reduce mean time to resolution (MTTR) using automated triage without compromising traceability.

Example: In an **OTA software update** program, incoming defect reports are auto classified by an AI model based on historical Jira issue data, routing them to the right team immediately. Under 4.0, this AI based step is considered valid PRM evidence as long as its decisions are logged.

4.4. SUP.10 Change Request Management

Changes: No BP wording changes, but the notes are updated to clarify that change requests can originate from automated systems (e.g., CI/CD security scans) as well as humans.

Motivation: Recognize the shift toward automated change detection in DevSecOps pipelines.

Example: In a **vehicle gateway security update** project, a CI pipeline triggers a change request when an open source library vulnerability is detected. This automated CR goes through standard impact analysis and approval in Jira, fully acceptable under 4.0 without manual entry.

Across all process groups, ASPICE 4.0 introduces a shift from static, document driven evaluations toward dynamic, context aware assessments. The recurring addition of appropriateness criteria in SYS and SWE processes formalizes feasibility and suitability checks early in the lifecycle, reducing late stage design changes. Management processes now embed iterative risk reassessment and goal alignment, enabling adaptability in volatile supply chains and evolving customer needs. System and Software Engineering processes increasingly support virtualization, simulation, and broadened verification methods, aligning with agile and DevOps approaches. Support processes reflect the industry's adoption of cloud platforms, AI assisted analysis, and automated change management, ensuring that compliance and quality assurance keep pace with rapid iteration cycles.

These changes collectively indicate that ASPICE 4.0 is not a radical departure from 3.1 but an evolution toward flexibility, early validation, and modern tooling integration. The intent is to maintain process rigor while reducing redundancy, improving responsiveness to change, and supporting continuous delivery models prevalent in contemporary automotive software development.

SONUÇ VE TARTIŞMA

The comparative analysis of ASPICE 3.1 and 4.0 across the VDA scope reveals that the updates are primarily evolutionary rather than revolutionary. The introduction of appropriateness criteria in both System and Software Engineering processes strengthens early feasibility checks, allowing teams to identify and address technical and organizational constraints before they propagate into later lifecycle stages. Management processes have been refined to better align monitoring activities with both plans and evolving objectives, while integrating periodic risk reassessments to address dynamic project conditions. Support processes have been modernized to accommodate distributed collaboration, cloud based toolchains, AI driven analytics, and automated change triggers, reflecting the realities of modern automotive software development environments.

The findings indicate that these adjustments collectively enable organizations to reduce redundancy in process assessments, particularly by consolidating overlapping Base Practices, and to accelerate decision making cycles through broader definitions of verification and validation. This not only reduces unnecessary assessment scoring overhead but also supports integration with agile and DevOps methodologies without compromising process rigor. In practice, the changes encourage earlier defect detection through virtualization and simulation, more agile adaptation to evolving risks, and a more inclusive approach to compliance that considers multiple applicable standards.

From a forward looking perspective, ASPICE 4.0 sets the groundwork for more seamless integration with emerging automotive software development paradigms, such as continuous integration and continuous delivery (CI/CD) pipelines, AI assisted design verification, and cloud native configuration management. Future iterations of ASPICE could expand further into the domains of cybersecurity and functional safety integration, potentially harmonizing with ISO/SAE 21434 and ISO 26262 process models at a more granular level. Additionally, the explicit recognition of automated tools in SUP.9 and

SUP.10 may evolve toward formal criteria for evaluating the trustworthiness and transparency of AI driven processes, which will be increasingly relevant in highly automated toolchains.

Based on these results, it is recommended that organizations preparing for ASPICE 4.0 adoption undertake structured gap analyses not only at the process level but also at the tooling and cultural levels. Investment in training for appropriateness evaluation techniques, digital twin implementation for early verification, and AI assisted quality management should be prioritized. Furthermore, aligning risk reassessment practices with both project governance and technical change management will be critical to fully realize the benefits of the 4.0 framework. In essence, the transition to ASPICE 4.0 should be seen as an opportunity to embed greater agility, tool integration, and early validation into the fabric of automotive software development.

KAYNAKÇA

Automotive SPICE®. (2017). *Process Assessment Model, Version 3.1*. VDA QMC Working Group 13 / Automotive SIG. Berlin: VDA QMC.

Automotive SPICE®. (2023). *Process Assessment Model, Version 4.0*. VDA QMC Working Group 13 / Automotive SIG. Berlin: VDA QMC.

Broy, M., & Schmidt, A. (2020). Towards a more agile Automotive SPICE framework for automotive software engineering. *Journal of Systems and Software, 165*, 110570. https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110570

Kopetz, H., & Bauer, G. (2019). The impact of process model updates on safety critical automotive systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15*(7), 3876–3884. https://doi.org/10.1109/TII.2019.2891234

Petersen, K., & Wohlin, C. (2018). Contextualizing Automotive SPICE for agile and lean software development. *Information and Software Technology, 97*, 93–104. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.12.001

VDA QMC. (2023). *Guideline for the application of Automotive SPICE® v4.0 in agile development projects*. Berlin: Verband der Automobilindustrie.

Weber, R., & Klemke, R. (2021). Integrating model based systems engineering into Automotive SPICE® processes. *Proceedings of the International Conference on Model Based Systems Engineering*, 221–230.

EK A. Kısaltmalar

ADAS: Advanced Driver Assistance Systems: A set of electronic systems that assist drivers in driving and parking functions.

AI: Artificial Intelligence: Simulation of human intelligence processes by machines, especially computer systems.

ASPICE: Automotive Software Process Improvement and Capability Determination: A framework for evaluating and improving software development processes in the automotive industry.

BMS: Battery Management System: An electronic system that manages a rechargeable battery by monitoring its state and ensuring safe operation.

BP: Base Practice: Fundamental activities that must be performed to satisfy the intent of an ASPICE process.

CI/CD: Continuous Integration / Continuous Delivery: Software engineering practices to integrate code changes frequently and deliver them quickly and reliably.

CM: Configuration Management: A discipline for managing the configuration of a product and its associated documents.

CR: Change Request: A formal proposal to modify a product or system.

ECU: Electronic Control Unit: An embedded system that controls one or more electrical systems or subsystems in a vehicle.

EPS: Electric Power Steering: A steering system that uses an electric motor to assist the driver in steering the vehicle.

ISO/IEC 15504: International Standard for Process Assessment: The predecessor to ASPICE, providing a framework for process assessment.

ISO/SAE 21434: Road Vehicles, Cybersecurity Engineering: Standard for managing cybersecurity risks in road vehicle systems.

ISO 26262: Road Vehicles, Functional Safety: Standard for functional safety of electrical and electronic systems in production automobiles.

MAN: Management Processes: ASPICE process group covering project management and risk management activities.

SUP: Support Processes: ASPICE process group providing supporting functions like quality assurance, configuration management, problem resolution, and change request management.

SWE: Software Engineering Processes: ASPICE process group covering software requirements, design, implementation, integration, and testing.

SYS: System Engineering Processes: ASPICE process group covering system level requirements, architecture, integration, and qualification.

V-Cycle: A system development lifecycle model that maps verification and validation phases in parallel with development phases.

VDA QMC: Verband der Automobilindustrie Quality Management Center: The German Automotive Industry Association's Quality Management Center, responsible for ASPICE standardization.

Evaluating DSP and Machine Learning Techniques for Automotive Chime Classification in Hardware In the Loop Test Environments

Tufan Bora KARAKÖSE [1], **Kaan KAHRAMAN** [2]

[1]E-mail: tufanbora.karakose@tofas.com.tr; TOFAS, R&D İzmir Branch, İzmir / Türkiye
[2]E-mail: Kaan.Kahraman@tofas.com.tr; TOFAS, R&D İzmir Branch, İzmir / Türkiye

Özet

Bu çalışmada, otomotiv gösterge paneli yazılım geliştirme süreçlerindeki Donanım-Döngüde test ortamları için uyarı seslerinin otomatik sınıflandırılması problemi ele alınmıştır. Bu amaçla, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü tabanlı hibrit spektral eşleştirme ile Log-Mel spektrogram özniteliklerini kullanan Çok Katmanlı Algılayıcı tabanlı makine öğrenmesi yaklaşımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yalnızca tek gerçek kayıttan üretilen çoğaltılmış verilerle yapılan deneysel testlerde, sayısal sinyal işleme yaklaşımı %93.9 genel doğruluk ve 0.933 Makro-F1 skoru elde ederek sıfır yanlış pozitif üretirken; makine öğrenmesi modeli %84.6 genel doğruluk ve 0.842 Makro-F1 skoru sergilemiştir. İki yöntemin tamamlayıcı hata profillerine sahip olduğu görülmüş; bu doğrultuda sayısal sinyal işlemin birincil algılayıcı, makine öğrenmesinin ise karar eşiği altındaki durumlar için yedek sınıflandırıcı olarak görev yaptığı hibrit bir dağıtım stratejisi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gösterge Paneli, Makine Öğrenmesi, Sayısal Sinyal İşleme, Uyarı Sesleri Sınıflandırması.

Abstract

This study addresses the automatic classification of warning sounds (chimes) for Hardware-in-the-Loop test environments in automotive instrument cluster software development processes. To this end, two distinct approaches were comparatively evaluated: a hybrid spectral matching method using traditional digital signal processing techniques and a data-driven machine learning model based on Multilayer Perceptron classifiers trained on Log-Mel spectrogram feature vectors. Experimental evaluations on a dataset generated from a single real recording per class showed that the digital signal processing approach achieved 93.9% overall accuracy with a 0.933 Macro-F1 score and zero false positives, whereas the machine learning model achieved 84.6% overall accuracy and a 0.842 Macro-F1 score. Since the two approaches exhibited complementary error profiles, a hybrid deployment strategy is proposed where digital signal processing acts as the primary detector and machine learning serves as a fallback classifier for detections below the decision threshold.

Keywords: Digital Signal Processing, Instrument Cluster, Machine Learning, Warning Sound Classification.

1. INRODUCTION

In modern automotive software development projects, various methods and approaches are employed during Hardware-in-the-Loop (HIL) testing. Today's Instrument Panel Cluster (IPC) hardware features numerous visual indications and the audio chimes triggered with them. Although we are generally familiar with many of these chimes, their acoustic profiles vary significantly from project to project. For instance, while the concept of a seat belt chime is universally recognized, the actual warning sound differs across various vehicle platforms. Although the activated chime is distinctly audible during the manual IPC software development phase, identifying exactly which reference audio file the emitted sound belongs to becomes a complex problem during out-of-vehicle (HIL) tests or automated external applications. In the literature, there are numerous studies utilizing traditional signal processing methods and deep learning models to detect sounds and classify which known acoustic pattern a given signal belongs to. However, despite sound detection being a thoroughly researched domain, the automotive industry where performance and cost-efficiency are highly critical demands optimal systems. Therefore, the chosen system must deliver the most reliable performance while strictly adhering to the constrained hardware environments in which it will operate. Fundamentally, sound detection and acoustic pattern recognition methods in literature can be categorized into two main parts. The first part involves traditional digital signal processing (DSP) techniques, such as Fast Fourier Transform (FFT), Short-Time Fourier Transform (STFT), and Normalized Cross-Correlation (NCC) (Ghouli, 2026; Krause, Politis, & Mesaros, 2024). These methods are deterministic and require no training data but depend on fixed thresholds that may not generalize well across varying noise conditions. The second part consists of data-driven Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) approaches, which learn patterns from labeled audio data. These methods typically extract spectral features such as Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) or Log-Mel spectrograms and train classifiers including Support Vector Machines (SVM), Multi-Layer Perceptrons (MLP), or Convolutional Neural Networks (CNN) (Chachada & Kuo, 2014; Piczak, 2015). While ML/DL approaches offer better adaptability to noise, they require sufficient training data and may produce cross-class confusions in cases where acoustic signatures are highly similar. In this study, to perform cluster chime classification within our customized Hardware-in-the-Loop (HIL) test setup, we developed two distinct methods and conducted a comprehensive performance evaluation. The first method is a spectral matching approach based on traditional DSP techniques, while the second is a data-driven ML model designed to classify these audio signals. Our primary objective is to evaluate and compare the performance of both methods in terms of classification accuracy, noise robustness, and overall reliability under real-time HIL test conditions.

2. METHODOLOGY

2.1. Spectral Matching and DSP Approach

Live acoustic stereo signals are downsampled to 22,050 Hz, converted to mono, and normalized. To handle amplitude, duration, and frequency variations in automotive Instrument Panel Clusters (IPC), a three-stage hybrid architecture is used.

Spectrogram Matching: To avoid time-domain phase sensitivity, audio is transformed via Short-Time Fourier Transform (STFT) into 25 ms frames using a Hanning window. Logarithmic spectral magnitudes are L2-normalized and matched via cosine similarity.

Narrowband Tone Classification: To separate chimes sharing a 1660 Hz base tone, Fast Fourier Transform (FFT) continuously analyzes the 1580-1740 Hz energy band. Temporal duration patterns (e.g., rhythmic or continuous tones) determine the final classification.

2.2. Mathematical Background of the DSP Algorithms

Discrete STFT for a signal x[n] using a Hanning window of length N(25 ms frame) and hop size H (10 ms) is computed as described by Oppenheim & Schafer (2010). Template matching similarity between live vector b and template t uses the dot product:

$$score_{STFT} = \frac{b \cdot t}{\|b\|_2 \|t\|_2}$$

For 1660 Hz Z-family chimes, the tone energy ratio R_{tone} within the 1580–1740 Hz band (with $\varepsilon = 10^{-9}$) must exceed 0.30, alongside Root Mean Square (RMS) energy surpassing an adaptive threshold. The real-time DSP execution pipeline processes transient clicks and sustained tones concurrently (Figure 1).

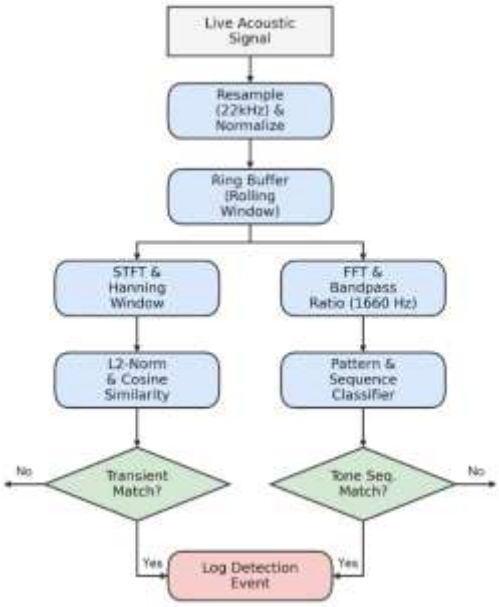


Figure 1. Block diagram of the proposed hybrid digital signal processing architecture for real time chime classification.

2.3. Log-Mel Spectrogram Feature Extraction

To capture time-frequency representations, audio signals are processed via STFT and converted to power spectrograms S(n,k). The linear frequency is mapped to the perceptual Mel scale:

$$Mel(f) = 2595\, log_{10}\left(1 + \frac{f}{700}\right)$$

Applying a 40-band Mel filter bank and logarithmic compression yields the final Log-Mel Spectrogram:

$$LM(n,m) = log\left(\sum_{k=0}^{K-1} S\,(n,k)\psi_m(k) + \varepsilon\right)$$

Each spectrogram comprises 40 Mel bands and 148 time frames, flattened into 40 x 148 = 5920 features for classification.

2.4. Random Forest

Random Forest, initially introduced by Breiman, is a widely used ensemble machine learning algorithm that develops predictive models by constructing multiple decision trees (Biau, 2012). Each tree is grown to its maximum depth without pruning using the Classification and Regression Trees (CART) algorithm (Patel & Prajapati, 2018), and node splitting is based on a randomly selected subset of features. This random subspace method is combined with Bootstrap Aggregating (bagging) to ensure that each tree is trained on a different data sample, enhancing model diversity and robustness (Belgiu &

Drăguţ, 2016). For classification, every decision tree independently predicts a class label, and the final output is determined by aggregating these outputs through a majority voting mechanism (Speiser, Miller, Tooze, & Ip, 2019; Dubath et al., 2011).

2.5. MLP

A Multi-Layer Perceptron (MLP) is a feed-forward artificial neural network consisting of an input layer, one or more hidden layers, and an output layer connected through weighted connections (Ebrahimian et al., 2022). Utilizing nonlinear activation functions and trained via the backpropagation algorithm in a supervised framework, the MLP efficiently learns complex acoustic relationships and classifies data that are not linearly separable (Ngxande, Tapamo, & Burke, 2017).

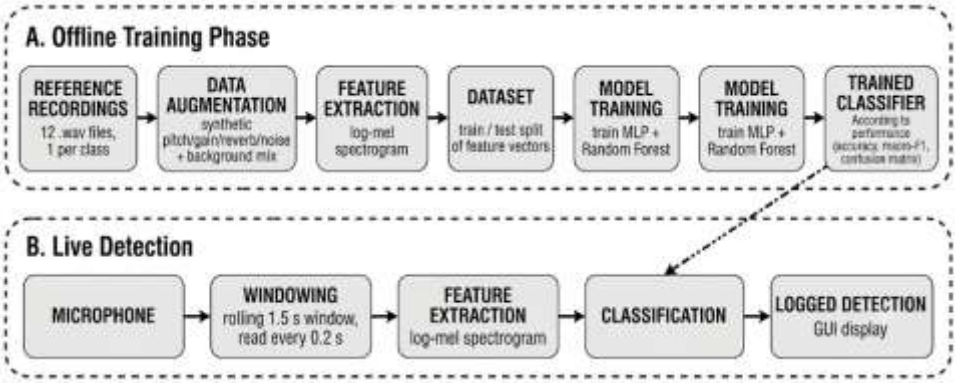


Figure 2. System diagram of the sound classification system.

Figure 2 presents the sound classification system across two key phases. Part A covers the offline training pipeline, which builds a robust ensemble classifier from augmented audio via feature extraction. Part B covers the live detection pipeline, where the trained model is deployed to process and classify microphone audio in near real time.

3. EXPERIMENT SETUP

3.1. Dataset

The dataset consists of 11 target chime classes and one background class. From a single real recording per target class, data augmentation generated 320 training and 90 test samples per class. To minimize false-positive detections, the background class was synthesized from diverse environmental sounds including broadband noise, 50/60 Hz electrical hums, quiet room ambience, short transient impulses, speech-shaped noise, ventilation fans, and microphone artifacts. This background class was oversampled by a factor of three, resulting in 4,480 training and 1,260 test samples.

3.2. Feature Extraction

Audio signals were resampled to 22,050 Hz and processed using a fixed 1.5 s analysis window to capture the complete alert sound. Features were extracted via Short-Time Fourier Transform (STFT) utilizing a 1024-point FFT, 25 ms frame size, and 10 ms hop size, followed by conversion to a 40-band log-Mel representation. After window-wise z-score normalization to reduce recording-level variations, each sample was flattened into a feature vector of $40 \times 148 = 5920$ dimensions. To simulate realistic HIL recording conditions and improve model robustness, the initial reference recordings were augmented using speed perturbation (±8%), synthetic random reflections (reverberation), 2nd-order IIR frequency response variations (random EQ), signal level gain variations (0.4×–1.6×), additive white noise (SNR 3–30 dB), and random temporal embedding within the analysis window.

3.3. Data Augmentation

Both the MLP and Random Forest (RF) classifiers were trained under identical conditions, with the final model selected based on the highest Macro-F1 score. The MLP architecture comprised two hidden layers (320 and 160 neurons) utilizing ReLU activation, with an initial learning rate and L2 regularization (alpha) both set to 1e-3. Training was configured for a maximum of 500 iterations using validation-based early stopping (15% validation fraction with a patience of 20 iterations). The baseline RF model consisted of 400 estimators with unlimited maximum tree depth, a minimum of 2 samples per leaf to reduce overfitting, and a fixed random state of 42 for reproducibility

4. TEST RESULTS

4.1. Model Selection

Both the MLPClassifier and the RandomForestClassifier were evaluated on the pre determined test set comprising 1,260 samples. The MLP achieved an overall accuracy of 84.60% and a Macro-F1 score of 0.8420, outperforming the Random Forest baseline.

4.2. Classification Performance

The classification performance of the selected MLP model across the 12 classes is grouped into three tiers for discussion, with detailed F1-scores presented later in the comparative analysis:

High-performance tier ($F1 \geq 0.92$): Seven classes achieved near perfect or perfect classification. Notably, Chime #3 and Chime #11 were classified without a single error ($F1 = 1.000$), proving their spectral signatures are highly distinct. Chimes #1 and #10 followed closely, with only one misclassified sample each.

Moderate-performance tier ($0.63 \leq F1 \leq 0.86$): This tier includes the background class, Chime #9, and Chime #4. While the model successfully identified most true background audio, it also captured false positives from weaker target signals. Chimes #4 and #9 struggled primarily due to mutual confusion and energy envelopes dropping below the detection threshold, causing them to leak into the background class.

Low-performance tier (F1 < 0.51): Chimes #7 and #8 were the hardest to classify because they sound nearly identical, differing only by a small "toc" sound at the end of Chime #8. This caused the model to frequently mix them up. Additionally, when background noise was present, that subtle difference was easily masked, causing the model to mistake both chimes as just background noise.

4.3. Confusion Matrix Analysis

The row-normalized confusion matrix of the MLP model is presented in Figure 3. The dominant diagonal confirms high separability for the majority of classes. However, several systematic confusion patterns are observed:

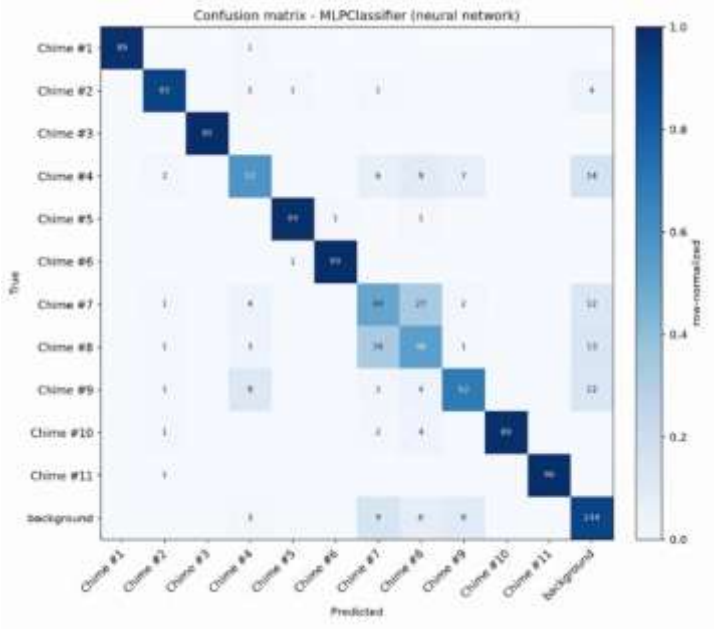


Figure 3. Confusion Matrix of the MLP model

Chime #7 and #8 confusion: This was the most common error. These chimes sound almost exactly the same, differing only by a faint sound at the end of Chime #8. When simulated noise was added to the audio, this tiny difference was completely hidden, causing the model to constantly mix them up.

Chime #4 misclassifications: Chime #4 is very short. Under heavy background noise, it often became too quiet for the model to detect, causing it to be labeled as empty "background." It was also occasionally confused with Chime #9 because their sounds share similar characteristics.

Background noise mix-ups: The "background" category absorbed many chimes that the model failed to hear clearly. On the flip side, the model incorrectly labeled 26 actual background samples as chimes (mostly #7, #8, and #10). This happened because certain random background noises, like low hums or thuds, accidentally mimic the sounds of those specific chimes.

4.4. DSP Based Classification Results

The hybrid DSP pipeline was evaluated on a synthesised test set of 990 samples (90 per class). For each of the twelve chime classes, test signals were generated under three acoustic conditions: 30 clean copies with random gain jitter (×0.85–1.0), 30 copies with additive white Gaussian noise at SNR = 20 dB, and 30 copies at heavy noise (SNR = 6 dB). The detector was configured with class-specific thresholds used in the live HIL deployment: a baseline threshold of 0.75 for the majority of the classes, 0.70 for Chimes #6 and #11, and 0.62 for Chimes #7 and #8.

Across the 990 test samples, the DSP pipeline achieved an overall accuracy of 93.9% and a Macro-F1 score of 0.933. The system demonstrated perfect robustness (100.0% accuracy across all three noise conditions) for nine of the eleven chime classes, including the waveform-matched, spectrogram-matched, and sequence-matched classes. Performance drops were isolated to specific cases: Chime #2 exhibited a lower precision (0.500, F1-score = 0.667) due to false triggers, while the tone-based Chimes #10 and #11, although perfectly detected in clean and moderate-noise audio (SNR = 20 dB), failed completely under heavy background noise (SNR = 6 dB) as the noise drowned out their specific frequencies.

Zero False Positives: Despite the missed detections in heavy noise, the system never made a false alarm. When it could not clearly hear a chime, it safely reported “No Detect” instead of guessing incorrectly, making this cautious approach ideal for automated automotive HIL testing.

4.5. Comparative Analysis: DSP vs. ML

Table 1 presents a comparison of the F1 scores achieved by the DSP pipeline and the MLP.

Table 1. *Per class F1-score comparison: DSP vs. MLP. The best score per class is shown in bold..*

Class	DSP	MLP	Best
Chime #1	1.000	0.994	DSP
Chime #2	0.667	0.921	MLP
Chime #3	1.000	1.000	Tie
Chime #4	1.000	0.634	DSP
Chime #5	1.000	0.983	DSP
Chime #6	1.000	0.989	DSP
Chime #7	1.000	0.494	DSP
Chime #8	1.000	0.505	DSP
Chime #9	1.000	0.729	DSP

Chime #10	0.800	0.994	MLP
Chime #11	0.800	1.000	MLP
Background	---	0.858	MLP
Overall Acc.	93.9%	84.6%	DSP
Macro F1	0.933	0.842	DSP

Complementary Strengths and Hybrid Deployment Strategy

The comparative analysis reveals distinct, complementary strengths between the two approaches. The DSP pipeline excels in exact template matching, perfectly separating nearly identical acoustic signatures (e.g., Chimes #7 and #8) that confused the ML model, while safely reporting "No Detect" to guarantee zero false positives. Conversely, the ML model having been trained on varied augmented noise levels demonstrates superior robustness for tone-based signals (Chimes #10 and #11) under heavy noise conditions where the rigid thresholds of the DSP approach fail. To maximize overall system accuracy and prevent false test results in automated HIL environments, a confidence-gated hybrid deployment strategy is proposed. In this architecture, the deterministic DSP system acts as the primary detector for the majority of chimes, ensuring perfect accuracy and zero false alarms. The ML model is invoked strictly as a fallback classifier; if the DSP system yields a low confidence score or encounters heavy noise targeting tone-based chimes, the audio is dynamically routed to the ML model for a secondary evaluation.

5. Conclusion

This study presented a comparative evaluation of two complementary approaches for classifying Instrument Panel Cluster (IPC) warning chimes in a Hardwarein-the-Loop (HIL) test environment: a hybrid digital signal processing (DSP) pipeline and a data-driven machine learning (ML) classifier. The DSP approach employed a three-branch architecture combining STFT-based spectrogram matching, Normalized Cross-Correlation, and FFT narrowband tone analysis with temporal pattern classification. Evaluated on a synthesized test set of 990 samples under clean, moderate noise (SNR = 20 dB), and heavy noise (SNR = 6 dB) conditions, the DSP pipeline achieved an overall accuracy of 93.9% and a Macro-F1 score of 0.933. Nine of the eleven chime classes were classified with perfect F1-scores of 1.000 across all noise conditions. Furthermore, the system produced zero false positives, ensuring that every emitted detection was entirely correct. The principal limitation of the DSP pipeline was detection failure for two tone family classes under heavy noise (Chimes #10 and #11 dropping to 0% accuracy at SNR = 6 dB). The ML approach utilized Log-Mel spectrogram features (40 × 148 = 5,920 dimensions) with an MLP classifier trained on augmented data spanning SNR levels of 3–30 dB. The MLP achieved 84.6% accuracy and a Macro-F1 of 0.842, outperforming the Random Forest baseline (83.5%, Macro-

F1 = 0.831). The MLP demonstrated superior noise robustness on the two tone-family classes where the DSP failed under heavy noise (Chime #10: F1 = 0.994; Chime #11: F1 = 1.000). However, the ML model had trouble telling the difference between Chime #7 and Chime #8 because they sound almost exactly the same. Because it kept confusing the two, it scored very low on both. In automated testing, confusing two different sounds like this is dangerous because it can cause the system to give the wrong pass/fail result. The per-class comparison revealed a clear pattern of complementary strengths. The DSP pipeline achieved perfect scores on nine classes, including the Chime #7/#8 pair that the ML model could not separate, while the ML model excelled on the two tone family classes where the DSP's fixed thresholds were insufficient under heavy noise. Neither approach alone achieved satisfactory performance across all classes. Based on these findings, we propose a hybrid deployment strategy for production HIL environments: the DSP pipeline serves as the primary detector for waveform, spectrogram, and sequence-matched classes where it guarantees perfect accuracy with zero false alarms, while the ML classifier is invoked as a fallback for tone-family classes and for any detection where the DSP confidence score falls below a class-specific threshold. This confidence gated routing mechanism combines the deterministic precision of rule-based signal processing with the noise-robust generalization of learned representations. Future work should focus on two directions. First, exploring advanced feature representations such as Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) or learnable filterbanks that may better capture the subtle transient differences between near-identical class pairs. Second, implementing and evaluating the proposed hybrid architecture in a live HIL deployment to measure its end-toend classification performance and real-time processing latency under actual test bench conditions.

References

Ghouli, Z. (2026). Passive acoustic detection and localization of drones using MEMS microphones and machine learning. Acta Acustica, 10, Article 12.

Krause, D. A., Politis, A., & Mesaros, A. (2024). Sound event detection and localization with distance estimation. In Proceedings of the 32nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 286-290).

Piczak, K. J. (2015). Environmental sound classification with convolutional neural networks. In Proceedings of the IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP) (pp. 1-6).

Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). Discrete-time signal processing (3rd ed.). Pearson.

Rabiner, L., & Juang, B. (1993). Fundamentals of speech recognition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Rabiner, L. R., & Schafer, R. W. (2010). Theory and applications of digital speech processing. Pearson.

Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 114, 24-31.

Biau, G. (2012). Analysis of a random forests model. The Journal of Machine Learning Research, 13(1), 1063-1095.

Patel, H. H., & Prajapati, P. (2018). Study and analysis of decision tree based classification algorithms. International Journal of Computer Sciences and Engineering, 6(10), 74-78.

Dubath, P., Rimoldini, L., Süveges, M., Blomme, J., López, M., Sarro, L. M., ... & Eyer, L. (2011). Random forest automated supervised classification of Hipparcos periodic variable stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *414*(3), 2602-2617.

Speiser, J. L., Miller, M. E., Tooze, J., & Ip, E. (2019). A comparison of random forest variable selection methods for classification prediction modeling. *Expert Systems with Applications, 134*, 93-101.

Ebrahimian, S., Nahvi, A., Tashakori, M., Salmanzadeh, H., Mohseni, O., & Leppänen, T. (2022). Multi-level classification of driver drowsiness by simultaneous analysis of ECG and respiration signals using deep neural networks. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(17), 10736.

Ngxande, M., Tapamo, J. R., & Burke, M. (2017). Driver drowsiness detection using behavioral measures and machine learning techniques: A review of state-of-art techniques. 2017 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics (PRASA-RobMech), 156-161.

Bridging the Sim2Real Gap: A Review of Synthetic Data Generation and Validation in Automotive Engineering

Koral SANCAK[1]

[1]koral.sancak@tofas.com.tr; Tofaş Türk Oto Fab. A.Ş, İzmir / Türkiye.

Özet

Otonom Araçlar (AV) ve İleri Sürüş Destek Sistemlerinin (ADAS) geliştirilmesi devasa veri setlerine ihtiyaç duymaktadır. Gerçek dünya veri toplama süreçlerinin maliyetli olması ve kritik uç senaryoları (corner-cases) yeterince barındırmaması nedeniyle, otomotiv endüstrisi sentetik veri üretmek için giderek daha fazla simülatörlerden (örn. SUMO, CARLA) yararlanmaktadır. Ancak, fiziksel kinematik ve görsel görünüm bağlamında ortaya çıkan "Simülasyondan Gerçekliğe" (Sim2Real) alan farkı, sentetik veri ile eğitilen modellerin gerçek dünyada uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışma, sentetik veri üretim çerçeveleri, validasyon metodolojileri ve Sim2Real adaptasyon teknikleri üzerine sistematik bir literatür taraması sunmaktadır. Çalışmada, kinematik doğrulama metrikleri (GEH ve RMSE) ile görsel alan adaptasyonu yaklaşımları (GAN ve difüzyon modelleri) değerlendirilerek, sentetik veri güvenilirliğini sağlamaya yönelik en iyi mühendislik uygulamaları belirlenmiştir. Sonuç olarak bu derleme, araştırmacıların sentetik veri setlerini etkili bir şekilde doğrulamaları ve makine öğrenmesi algoritmalarının güvenilirliğini artırmaları için kapsamlı bir rehber sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otonom Araçlar, Sentetik Veri, Sim2Real Adaptasyonu, Trafik Simülasyonu, Veri Validasyonu.

Abstract

Developing Autonomous Vehicles (AV) and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) requires massive datasets. Since real-world data collection is costly and often lacks critical corner-cases, the automotive industry increasingly utilizes simulators (e.g., SUMO, CARLA) to generate synthetic data. However, a significant "Simulation-to-Reality" (Sim2Real) domain gap exists in both physical kinematics and visual appearance, hindering the real-world deployment of models trained on synthetic data. This study presents a systematic literature review of synthetic data generation frameworks, validation methodologies, and Sim2Real adaptation techniques. By evaluating kinematic fidelity metrics (such as GEH and RMSE) alongside visual domain adaptation approaches (including Generative Adversarial Networks and diffusion models), this paper identifies best practices for ensuring synthetic data reliability. Ultimately, this review provides a comprehensive guide for

researchers to effectively validate synthetic datasets and enhance the robustness of machine learning algorithms in automotive engineering.

Keywords: Autonomous Vehicles, Synthetic Data, Sim2Real Adaptation, Traffic Simulation, Data Validation.

INTRODUCTION

The development and testing of modern automotive technologies, such as Autonomous Vehicles (AV) and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), require massive amounts of data to train deep learning algorithms. However, collecting this data in the real world is costly, time-consuming, and risky from a safety perspective (Hu et al., 2022). Furthermore, the underrepresentation of critical situations—such as accidents, adverse weather conditions, and rare, dangerous scenarios (corner-cases)—in real-world datasets severely limits the generalizability and reliability of machine learning models. To overcome this bottleneck, the automotive industry and academia are increasingly turning to microscopic traffic simulators and three-dimensional (3D) physics engines for synthetic data generation (Xu et al., 2020).

Synthetic data generation is achieved by integrating simulation environments at various levels. While microscopic traffic simulators like SUMO, VISSIM, and AIMSUN provide network-level vehicle trajectories, traffic flow, and kinematic data (Lopez et al., 2018), platforms such as CARLA, AirSim, and Unreal Engine generate pixel-perfect camera and LiDAR data for autonomous perception systems (Wen et al., 2024). The capabilities of these simulators, when combined through co-simulation architectures, allow for the creation of digital twin environments that encompass both large-scale traffic dynamics and high-fidelity sensor outputs (Lu et al., 2025). However, despite the significant advantages offered by simulation environments, a fundamental problem known as the "Simulation-to-Reality (Sim2Real) domain gap" emerges between the virtually generated data and real-world dynamics (Zhao et al., 2024). The Sim2Real domain gap occurs when simulator-generated data physically, kinematically, or visually deviates from the real world. Physical discrepancies arising from uncalibrated car-following and lane-changing models (Treiber & Kesting, 2013), as well as missing textures, lighting, and shadows in synthetic sensor data, cause algorithms trained on synthetic data to fail in real-world applications. The literature proposes various validation and verification (V&V) methods to bridge this gap and confirm synthetic data quality. While statistical metrics such as the GEH statistic and Root Mean Square Error (RMSE) are used for kinematic validation, domain adaptation techniques—including Generative Adversarial Networks (GANs) and diffusion models—are employed to resolve visual discrepancies (Pasios, 2023; Zhao et al., 2024).

This study aims to present a comprehensive literature review on synthetic data generation using simulators, data validation, and Sim2Real adaptation techniques in the automotive industry. The research problem addresses the extent to which synthetic data is reliable for machine learning algorithms

and the adequacy of existing validation metrics in measuring this reliability. In this context, the study aims to provide significant guidance to the literature by compiling best practices in synthetic data generation processes, current validation metrics, and future research directions for automotive engineering and artificial intelligence researchers.

METHODOLOGY

Since this study aims to systematically compile and evaluate the existing literature on synthetic data generation and validation in the automotive sector, a Systematic Literature Review (SLR) methodology was adopted. The research was designed to identify, select, and critically appraise relevant empirical studies, benchmark methodologies, and simulation tool developments published in peer-reviewed journals and conference proceedings. The data collection process involved systematic searches in academic databases such as IEEE Xplore, ScienceDirect, and Google Scholar using combinations of keywords including "Sim2Real adaptation", "synthetic driving data", "traffic simulation validation", "CARLA", and "SUMO calibration".

The inclusion criteria for the selected studies required them to focus on at least one of the following domains: microscopic traffic simulation, sensor data synthesis for autonomous perception, or domain adaptation techniques for bridging the Sim2Real gap. Studies lacking a clear validation methodology or empirical utility metrics for machine learning models were excluded. Consequently, a structured data extraction framework was established to systematically analyze the selected literature. To perform a comparative analysis, a customized data extraction matrix was utilized. For each reviewed study, specific parameters were extracted, including the application domain (e.g., traffic behavior, perception), validated data modalities (e.g., trajectories, RGB images, semantic maps), and the simulation tools utilized (e.g., SUMO, CARLA, AirSim). Furthermore, the methodology heavily focused on how the studies quantified the Sim2Real gap. Thus, the extracted parameters also included the statistical fidelity metrics employed (such as Fréchet Inception Distance (FID), GEH statistic, and RMSE), the domain adaptation techniques applied (e.g., GANs, diffusion models), and the ultimate utility metrics demonstrating the performance gap between models trained on synthetic versus real-world data (Train-on-Synthetic, Test-on-Real approaches). This structured framework ensured a rigorous and replicable analysis of the current state-of-the-art in synthetic automotive data validation. A comprehensive summary of the selected studies, including their simulation platforms, application domains, domain adaptation strategies, and validation metrics, is presented in Table 1.

Table 1. Summary of selected literature on synthetic data generation and validation.

Study (Author, Year)	Simulation Platform(s)	Application Domain	Sim2Real / Calibration Approach	Validation Metrics
Treiber & Kesting (2013)	Math. Physics Models	Kinematics & Car-Following	Non-linear Optimization	RMSE, MAE
Lopez et al. (2018)	SUMO	Network Traffic Flow	Cadyts, Built-in Calibrators	RMSE, GEH
Xu et al. (2020)	SUMO, VISSIM, AIMSUN	Traffic Scenario Generation	Metaheuristics (GA, TS, SA)	GEH, MAE
Hu et al. (2022)	CARLA (Simulanes)	Lane Detection & Class.	GANs (MUNIT/UNIT), UDA	Accuracy, Detection Gap
Pasios (2023)	CARLA, Unreal Engine	Autonomous Perception	Image-to-Image GANs	FID, mIoU
Zhao et al. (2024)	CARLA, Cityscapes	Semantic Segmentation	Diffusion (ControlNet), GANs	FID, BRISQUE, mIoU
Wen et al. (2024)	SUMO, AirSim, Unreal	UTM & Co-Simulation	Trajectory Synchronization	Visual / Trajectory Overlap
Lu et al. (2025)	SUMO (DTSUMO)	Real-time Traffic Monitoring	Quadratic Optimization	RMSE, MAPE

FINDINGS

The systematic review of the selected literature reveals that synthetic data generation and validation in the automotive industry are inherently bifurcated into two main domains: physical/kinematic simulation (traffic flow and driving behavior) and visual/sensor simulation (perception systems). The findings extracted from the literature are synthesized under four thematic subheadings: simulation platforms and architectures, kinematic validation metrics, visual fidelity and perception validation, and Sim2Real domain adaptation techniques. To provide a structured overview of the end-to-end pipeline, Figure 1 illustrates the proposed framework covering data generation, Sim2Real adaptation, and validation layers.

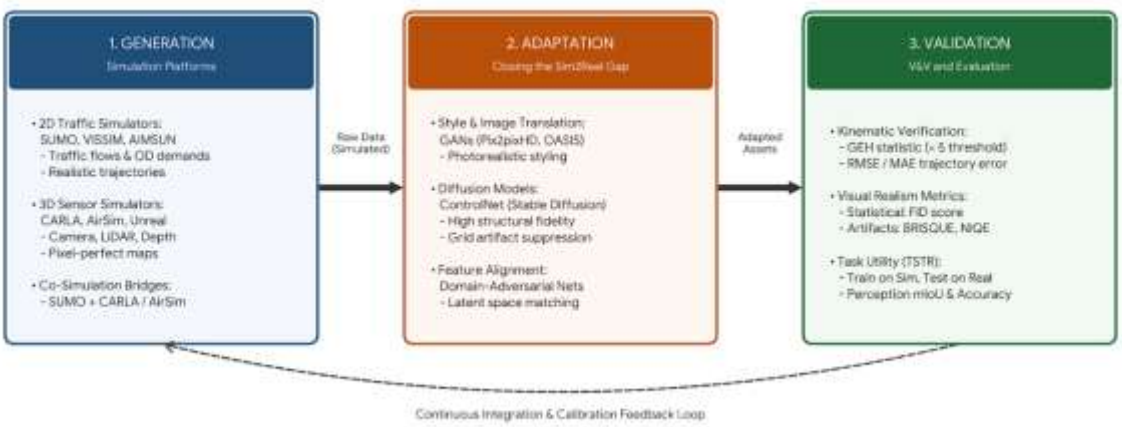


Figure 1. The proposed Sim2Real data generation, adaptation, and validation framework.

Simulation Platforms and Co-Simulation Architectures

The literature indicates a clear division of labor among simulation platforms based on the required data modality. Microscopic traffic simulators, primarily SUMO, VISSIM, and AIMSUN, dominate the generation of network-level traffic states, vehicle trajectories, and routing data. Recent advancements have focused on automating scenario generation to enhance the comparability of these simulators. For instance, tools like RealTwin automate the ingestion of raw traffic data to generate consistent, simulator-agnostic networks (Xu et al., 2020). Similarly, DTSUMO integrates real-time loop detector data to dynamically simulate traffic flows, acting as a real-time digital twin for traffic monitoring (Lu et al., 2025). On the other hand, platforms like CARLA, AirSim, and Unreal Engine are exclusively utilized for generating high-fidelity 3D spatial data and pixel-perfect sensor outputs (e.g., RGB images, semantic segmentation maps) (Zhao et al., 2024). Furthermore, studies highlight a growing trend towards co-simulation architectures. Frameworks that integrate SUMO's 2D traffic logic with AirSim/Unreal Engine's 3D physics have proven effective in creating comprehensive digital twins, particularly for complex scenarios like Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) and Advanced Air Mobility (Wen et al., 2024).

Kinematic and Traffic Flow Validation (Physical Reality)

When validating physical reality—ensuring that simulated vehicles behave like human drivers—the literature predominantly relies on non-linear optimization and error minimization metrics rather than distribution-matching statistics. Foundational studies on the calibration of car-following models (e.g., the Intelligent Driver Model) emphasize minimizing the Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) between simulated trajectories and empirical spatial gaps (Treiber & Kesting, 2013). In network-level validation, the Geoffrey E. Havers (GEH) statistic emerges as the industry standard. Tools like RealTwin utilize metaheuristic algorithms (Tabu Search, Genetic Algorithms) to calibrate turning ratios and driving behaviors, targeting a GEH statistic of less than 5 for over 85% of the network (Xu et al., 2020). Conversely, real-time digital twins focus on minimizing the Mean

Absolute Percentage Error (MAPE) against continuous sensor feeds to maintain ongoing simulation fidelity (Lu et al., 2025).

Visual Fidelity and Perception Validation (Sensor Reality)

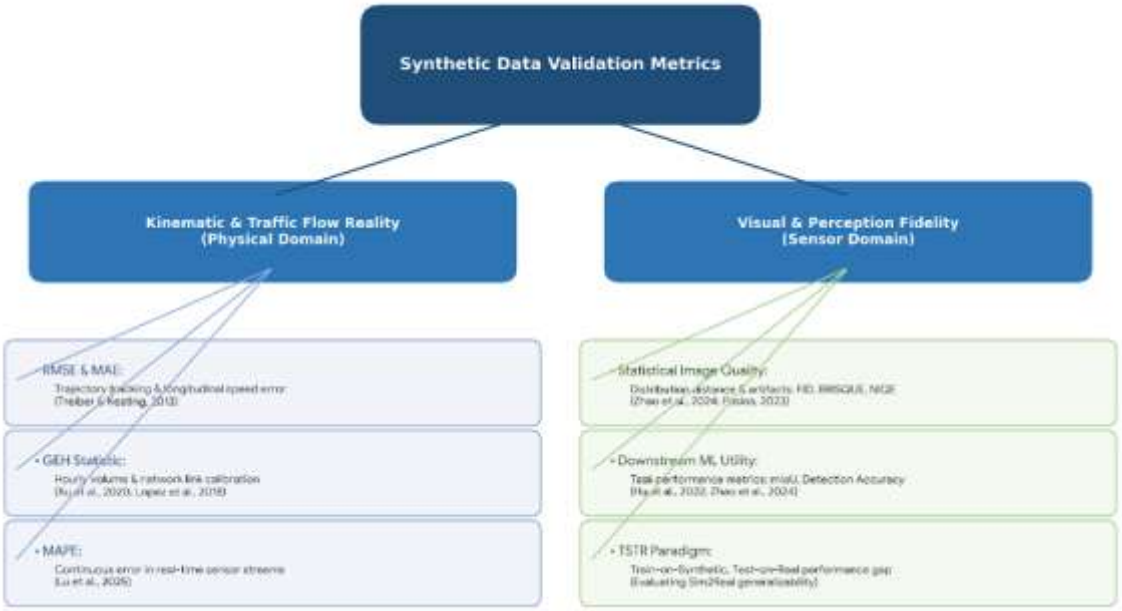


Figure 2. Taxonomy of validation metrics for synthetic automotive data.

Validating sensor data requires fundamentally different approaches than kinematic data. The findings reveal that visual realism is rarely validated through purely statistical distributions; instead, it is assessed through perceptual quality and downstream utility. Image quality metrics such as the Fréchet Inception Distance (FID), BRISQUE, and NIQE are frequently employed to quantify visual fidelity (Zhao et al., 2024). More importantly, the literature emphasizes the "Train-on-Synthetic, Test-on-Real" (TSTR) paradigm. The true realism of synthetic sensor data is measured by the performance gap of machine learning models trained on synthetic datasets when deployed on real-world datasets, using utility metrics like mean Intersection over Union (mIoU) and classification accuracy (Pasios, 2023; Hu et al., 2022). A structured taxonomy distinguishing these visual and perceptual metrics from physical kinematic criteria is depicted in Figure 2.

Sim2Real Domain Adaptation Techniques

To bridge the performance gap identified in the TSTR evaluations, recent studies heavily utilize Generative Artificial Intelligence and Unsupervised Domain Adaptation (UDA) frameworks. The literature demonstrates that raw synthetic images from engines like CARLA often fail to generalize to the real world due to missing textures, lighting artifacts, and simplified semantic boundaries. To resolve this, Image-to-Image (I2I) translation models based on Generative Adversarial Networks (GANs)—such as Pix2pixHD, OASIS, and MUNIT—are applied to stylize synthetic semantic maps into photorealistic counterparts (Zhao et al., 2024; Hu et al., 2022). Interestingly, recent comparative studies

indicate that while GANs perform adequately on human-annotated data, diffusion models (e.g., ControlNet) provide superior structural fidelity and fewer checkerboard artifacts when processing pixel-perfect simulator labels (Zhao et al., 2024). Additionally, adversarial discriminative approaches, such as feature-level alignment, have proven highly effective in improving lane detection and classification accuracy across domain shifts, demonstrating that increasing the size of the synthetic dataset correlates directly with improved real-world model accuracy (Hu et al., 2022).

CONCLUSION AND DISCUSSION

The findings of this systematic review demonstrate that synthetic data generation has evolved from a supplementary data augmentation tool into an indispensable foundation for testing, validating, and deploying intelligent vehicle technologies. As summarized across the reviewed literature, the generation of synthetic driving assets is inherently multi-layered, demanding a clear separation between physical-traffic dynamics and sensor-level visual perception. While microscopic simulators such as SUMO, VISSIM, and AIMSUN provide scalable, deterministic, and network-wide trajectory baselines, 3D graphics engines like CARLA and AirSim are uniquely suited for synthesizing photorealistic camera and perception data. The emergence of co-simulation frameworks bridging these two domains successfully reduces computational bottlenecks by projecting 3D spatial planning onto 2D road networks, paving the way for comprehensive Digital Twins in advanced mobility contexts.

However, the central challenge in operationalizing synthetic datasets remains the mitigation and quantification of the Sim2Real domain gap. The comparative analysis reveals a notable divergence in validation philosophies across domains, as conceptualized in the taxonomy (Figure 2). In the kinematic and traffic flow domain, validation has established mature, standardized statistical criteria. As demonstrated in calibration frameworks, minimizing the GEH statistic below the critical threshold of 5 for over 85% of network links, alongside classical RMSE and MAE bounds, offers an empirical guarantee of real-world operational plausibility. In contrast, visual and sensor-level validation cannot rely purely on statistical divergence due to the high-dimensional nature of image data. While non-reference quality metrics (e.g., FID, BRISQUE) provide useful indicators of visual realism, the true benchmark of synthetic sensor utility is established through the Train-on-Synthetic, Test-on-Real (TSTR) paradigm.

Regarding domain adaptation, the literature highlights a paradigm shift from traditional GAN-based image-to-image translation toward advanced generative architectures. Although GAN architectures (e.g., Pix2pixHD, OASIS, MUNIT) excel at aligning feature distributions under human-annotated conditions, they exhibit significant vulnerabilities when exposed to simulator-generated labels, frequently introducing high-frequency checkerboard artifacts and boundary distortions. Diffusion-based generative models, particularly ControlNet, demonstrate superior structural fidelity and robustness, suggesting that conditional diffusion represents a more reliable avenue for synthesizing artifact-free driving imagery from simulator layouts. Furthermore, adversarial discriminative methods that align feature spaces at the latent representation level achieve higher generalization stability than two-stage image translation pipelines, underscoring that closing the Sim2Real gap requires latent semantic alignment rather than mere surface-level visual styling.

Despite these methodological strides, several notable limitations persist in current synthetic data validation pipelines. First, most simulation frameworks assume static environmental parameters, lacking causal, closed-loop weather-injection and micro-climate modeling. Second, existing traffic digital twins predominantly rely on fixed-route allocations, failing to capture dynamic human rerouting behaviors during unexpected congestion or emergency blockages. Lastly, empirical calibration remains highly sensitive to sensor measurement noise, and excessive parameter tuning frequently risks model overfitting.

To address these open challenges, future research in automotive synthetic data generation should focus on three critical directions. First, multi-modal sensor fusion—combining roadside detector data with onboard connected vehicle (CAV) telemetry and floating car trajectories—must be integrated into real-time digital twins to ensure network-wide observability. Second, future validation frameworks should formalize hybrid V&V pipelines where physics-based battery/powertrain Functional Mock-up Units (FMUs) are co-simulated with generative diffusion models to simultaneously validate electro-thermal energy consumption and perception robustness. Finally, standardization bodies within the automotive sector should establish unified benchmarking suites and open-source Sim2Real validation protocols, ensuring that synthetic datasets can serve as certified ground-truth baselines for safety-critical autonomous driving validation.

REFERENCES

Hu, C., Hudson, S., Ethier, M., Al-Sharman, M., Rayside, D., & Melek, W. (2022). Sim-to-real domain adaptation for lane detection and classification in autonomous driving. *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 457–463.

Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., & Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2575–2582.

Lu, W., Fu, X., Liu, J., Hainen, A., Xia, F., & Chen, O. (2025). A "digital twin" traffic simulation tool for network-wide real-time traffic monitoring and management. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 1–14.

Pasios, S. (2023). CARLA2Real: A tool for reducing the sim2real appearance gap in CARLA simulator. *arXiv preprint*.

Treiber, M., & Kesting, A. (2013). Microscopic calibration and validation of car-following models – A systematic approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 80, 922–939.

Wen, Z., Zhao, J., Tsourdos, A., & Xu, Y. (2024). A co-simulation digital twin with SUMO and AirSim for testing lane-based UTM system concept. *2024 IEEE Aerospace Conference*, 1–11.

Xu, G., Saroj, A., Wang, C., & Shao, Y. (2020). Developing an automated microscopic traffic simulation scenario generation tool. *Transportation Research Record*, 1–21.

Zhao, H., Bashford-Rogers, T., Wang, Y., Donzella, V., & Debattista, K. (2024). Exploring generative AI for Sim2Real in driving data synthesis. *2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 3071–3077.

An ESP32-Based Hardware-in-the-Loop Control Unit with Physically Modeled Siren Audio for ADAS Testing in the CARLA Simulator

Alper Tunga GÜVEN[1], Hüseyin Can ÖNCEL[2]

[1]E-mail: alperguven@std.iyte.edu.tr; İzmir Institute of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir/Türkiye.
[2]E-mail: huseyin.canoncel@tofas.com.tr; TOFAŞ SW Engineer, İzmir/ Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, fiziksel bir kontrol ünitesi ile CARLA 0.9.15 otonom sürüş simülatörü arasında çift yönlü ve düşük gecikmeli bir bağlantı kuran, ESP32 tabanlı düşük maliyetli bir donanımsal döngü (Hardware-in-the-Loop, HIL) arayüzü sunulmaktadır. Joystick, potansiyometre ve butonlardan oluşan girişler ESP32 üzerinde örneklenip filtrelenmekte ve 921600 baud hızındaki seri hat üzerinden çerçevelenmiş paketlerle ana bilgisayara iletilmektedir. Hız ve titreşim geri bildirimi ise donanıma geri gönderilmektedir. Python köprü yazılımı, Stanley kontrolcüsüne dayalı şerit takip asistanını (LKA) ve sabit zaman aralığı politikalı PID tabanlı adaptif hız sabitleyiciyi (ACC) gerçeklemektedir. CARLA'nın ses desteği bulunmadığından, acil durum araçlarının sirenleri Doppler kayması, 1/r mesafe zayıflaması, atmosferik soğurma ve eşit güçlü stereo kaydırma içeren fiziksel temelli bir uzamsal ses motoruyla sentezlenmiştir. Sistem, seri giriş kaybı ve hareket halinde mod geçişi gibi sınır durumlarda ayrı ayrı denenmiştir. Tamamlanan düzenek, sürücü kumandaları döngü içinde kalacak şekilde ADAS senaryolarının çalıştırılmasına olanak vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Donanımsal Döngü Benzetimi, CARLA, ESP32, Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri, Stanley Kontrolcüsü, Uzamsal Ses

Abstract

This paper presents a low-cost ESP32-based hardware-in-the-loop (HIL) interface that establishes a bi-directional, low-latency link between a physical control unit and the CARLA 0.9.15 autonomous driving simulator. Joysticks, potentiometer and button inputs are sampled and filtered on the ESP32 and sent to the host as framed packets over a 921600-baud serial link, while speed and vibration telemetry return to the hardware. A Python bridge converts the signals into real-time vehicle commands. It implements a lane keeping assist (LKA) based on the Stanley controller, and a PID-based adaptive cruise control (ACC) that follows a constant time-gap policy using a virtual forward lidar. Since CARLA provides no audio channel, emergency vehicle sirens are synthesized by a physically based spatial audio engine with Doppler shift, 1/r distance roll-off, atmospheric absorption and equal-power stereo panning. The system was exercised on edge cases including loss of serial input and mode switching while moving, and the completed bench runs ADAS scenarios with the physical driver controls in the loop.

Keywords: Hardware-in-the-Loop, CARLA, ESP32, Advanced Driver Assistance Systems, Stanley Controller, Spatial Audio

INTRODUCTION

Road vehicles are gaining increasing levels of driving automation, classified by the six-level SAE J3016 taxonomy (SAE International, 2021), and every new function enlarges the validation burden, since safe behavior must be demonstrated over a very large set of traffic situations. Real-road testing is expensive, slow and dangerous for critical scenarios, so much of the verification effort has moved into virtual environments. Closer to the hardware this means hardware-in-the-loop (HIL) testing, in which real electronics operate against a simulated plant in real time (Isermann et al., 1999). HIL has been standard practice in automotive control unit development since the 1990s, but commercial benches are costly and controller specific. This motivates compact, inexpensive setups that still exercise real hardware.

On the simulation side, CARLA is an open-source urban driving simulator built on Unreal Engine, providing vehicle dynamics, sensor models, road networks and a Python client API (Dosovitskiy et al., 2017). CARLA offers no audio channel, so the simulated world is silent. In emergency-vehicle scenarios the siren is the primary cue that announces the vehicle before it becomes visible, and its absence limits the realism of driver-in-the-loop experiments.

This gap has recently been addressed on the simulator side by the CARLA Auditory Perception System of Priest et al. (2025), in which a forked CARLA build gains 3D positional audio through the Unreal Engine audio system. A modified ambulance blueprint emits a siren, and the captured signal is classified in real time with a support vector machine so that the autonomous vehicle pulls over. The present work approaches the same gap from the client side. The audio is synthesized in the bridge from the actor states of the standard CARLA API, so no custom simulator build is needed and the acoustic model stays explicit in code. Three emergency vehicle classes are rendered at once, and the output is aimed at the human operator of the HIL setup rather than at a classifier.

The control unit contributed here is an ESP32 board linked to CARLA through a compact framed serial protocol at 921600 baud. On the host, a Python bridge implements two Level 1/Level 2 assistance functions: a lane keeping assist built on the Stanley controller (Thrun et al., 2006; Hoffmann et al., 2007), and an adaptive cruise control following a constant time-gap policy (Rajamani, 2012). A physically based siren audio engine supplies the sound the simulator lacks, with atmospheric absorption in the ISO 9613-1 range (International Organization for Standardization [ISO], 1993). Haptic and visual telemetry are returned to the hardware so that the loop closes at the operator.

METHOD

The system consists of three layers in a closed loop, as shown in Figure 1. The physical layer contains a two-axis analog joystick for steering and throttle, potentiometers, push buttons for braking, gear direction, mode toggles and camera selection, and a 7-segment display. The embedded layer is an ESP32 microcontroller (Espressif Systems, 2023) that samples and conditions these inputs and exchanges framed packets with the host. The host layer is a Python bridge built on the CARLA client API and the pygame library (Pygame Community, n.d.). The bridge converts the signals into vehicle commands and executes the assistance functions. It also renders the camera view, synthesizes the siren audio and returns speed and vibration telemetry to the hardware.

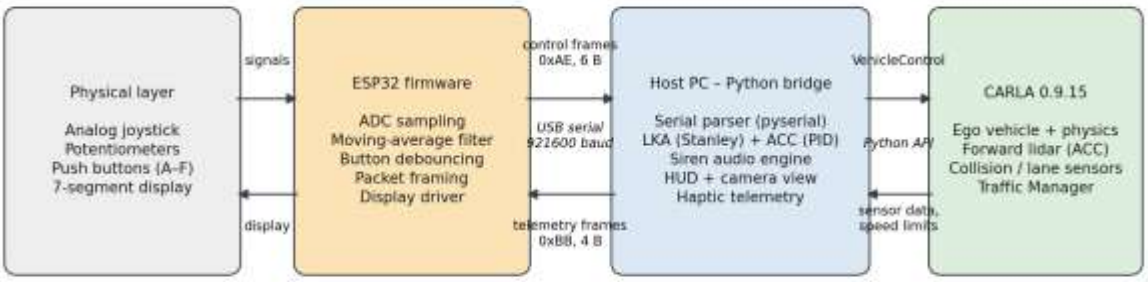


Figure 1. System architecture of the ESP32-based HIL platform

The firmware, developed in the Arduino environment, samples the analog channels with a moving-average filter, debounces the buttons and manages the protocol. A dual-core split of acquisition and communication was planned initially, but benchmarking showed that a single core met the timing budget, so the simpler deterministic build was adopted. The link uses two fixed-length frames: 6-byte control frames (a 0xAE header, two 16-bit joystick axes and one button bitfield) and 4-byte telemetry frames (a 0xBB header, the speed in km/h and a vibration intensity). At 921600 baud a control frame occupies roughly 65 µs on the wire, and a rolling receive buffer that realigns on the header byte makes corrupted frames inexpensive. On the host, joystick counts are normalized with a 3% dead zone and separate sensitivity factors. A precision mode reduces the steering sensitivity by a factor of 2.5 while restoring full throttle authority, and all buttons are edge-detected.

CARLA 0.9.15 runs in synchronous mode with a fixed step of 1/f seconds at a target rate of f frames per second (60 by default). The client clock throttles the loop to the same rate, which keeps simulated time aligned with wall-clock time. The Traffic Manager spawns autopilot vehicles, including emergency vehicles, and the ego vehicle carries collision, lane invasion, GNSS and IMU sensors in addition to the camera. A collision latches a safety state that applies full braking until a deliberate input releases it and triggers 0.5 s of full vibration. A lane crossing triggers 0.3 s at half intensity. Figure 2 summarizes the pipeline executed every frame.

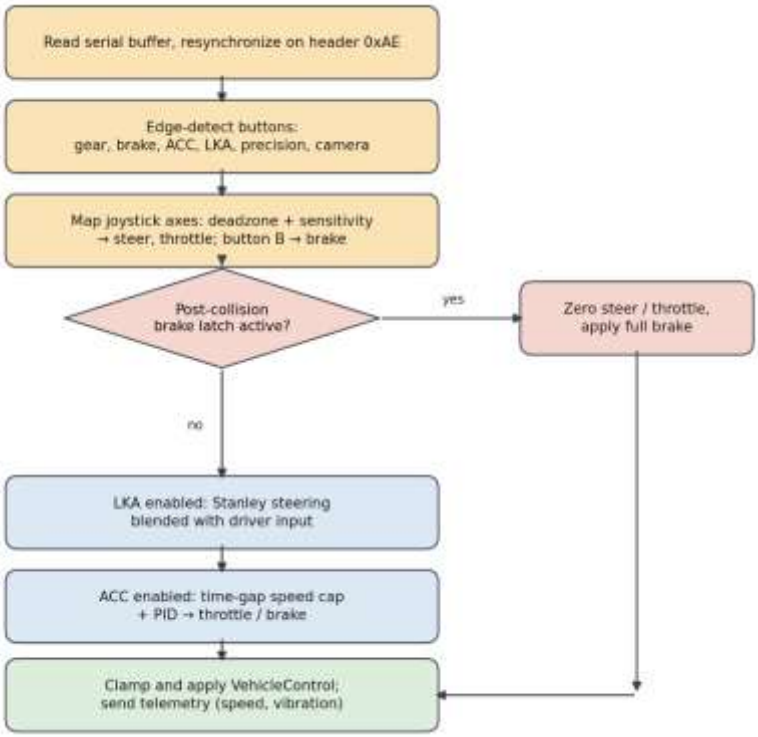


Figure 2. Per-frame control pipeline of the bridge application

The lateral function follows the Stanley control law (Thrun et al., 2006; Hoffmann et al., 2007). At each frame the lane center and direction are queried from the CARLA map. Here e is the signed cross-track error and ψ the heading error with respect to the lane direction. The commanded front-wheel angle is

$$\delta = \psi + \arctan(k \cdot e / (v + vs)) \qquad (1)$$

with k = 4.5 and a softening speed vs = 1 m/s, normalized by an assumed 0.6 rad full-lock angle. Two refinements were needed in practice. A lane hysteresis keeps tracking the previous lane until the vehicle settles within 25% of the new lane's width from its center, since the map query otherwise snaps to the neighboring lane the moment a marking is crossed. In addition, the LKA output is blended with the driver's steering by a weight that grows with the driver input, so small inputs leave the assistant in control while a deliberate command overrides it without switching the function off.

For the longitudinal function, a forward-facing ray-cast lidar (32 channels, 50 m range) is reduced each scan to the closest return inside a driving corridor that rejects ground returns and is bent along the arc implied by the current steering angle, which keeps the lead vehicle inside the detection region in curves. The measured distance is smoothed by a 60 ms first-order filter, and a lost target fades out exponentially instead of dropping instantly. The speed target is the posted limit, with a 40 km/h fallback, capped by the constant time-gap policy (Rajamani, 2012)

$$v_{gap} = (d - d0) / T \qquad (2)$$

where d is the measured gap, d0 = 5 m the standstill standoff and T = 1.5 s the desired time headway. A PID controller (Kp = 0.1, Ki = 0.008, Kd = 0.001, with anti-windup) tracks the resulting target. Positive outputs map to throttle and negative outputs to brake, and the integral state resets on every ACC toggle, so engaging or releasing ACC while moving produces no step in the command.

Because the simulator provides no sound, the siren audio is generated entirely in the bridge. Unlike the engine-side approach of Priest et al. (2025), this requires no modification of the simulator or of its vehicle blueprints. Three independent players, for ambulances, police cars and fire trucks, own dedicated mixer channels, so several sirens can sound at once. Once per second the actor list is scanned and each player binds to the nearest vehicle of its class. The Doppler shift is

$$f' = f \cdot (c + vL) / (c - vS) \qquad (3)$$

where vL and vS are the radial velocities of the listener and the source and c = 343 m/s. The ratio is clamped to [0.5, 2] and realized by resampling the looped siren clip. The amplitude follows a 1/r roll-off referenced to 10 m with an additional atmospheric absorption of 0.01 dB/m, the ISO 9613-1 (ISO, 1993) order of magnitude for the siren band. Beyond 300 m the source is muted. Direction is rendered with equal-power stereo panning that never fully silences the far ear. The audio is streamed in 8192-sample chunks, with the Doppler ratio and the per-ear gains ramped linearly across each chunk and smoothed by a first-order filter, so no parameter steps audibly while the vehicles move. A load-time crossfade hides the loop point of the clips. Figure 3 shows the processing chain.

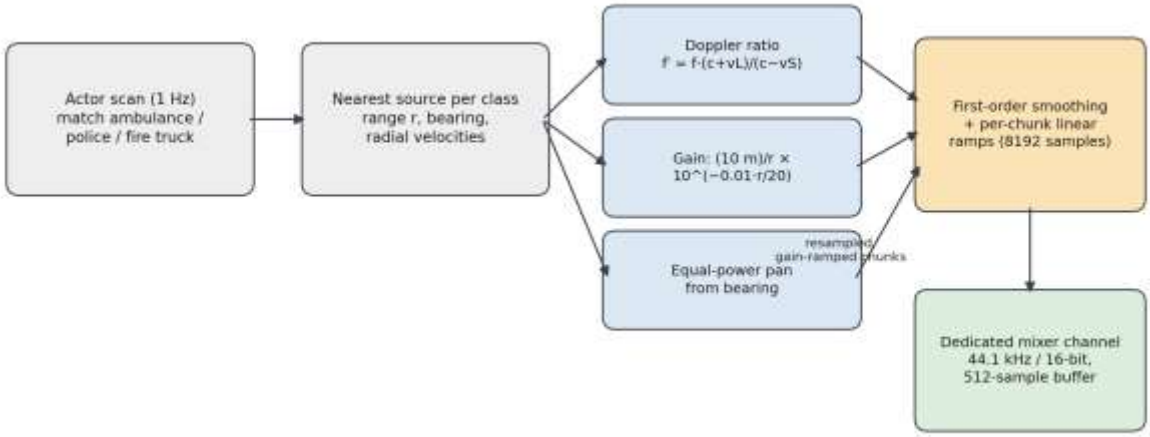


Figure 3. Processing chain of the emergency siren audio engine

FINDINGS

The completed platform provides full external control of the virtual vehicle, while the 7-segment display mirrors the simulated speed and the vibration channel signals collisions and lane crossings back to the operator. With the simulator in synchronous mode at 60 frames per second the loop advances in

fixed 16.7 ms steps. A control frame takes about 65 µs to transmit, under 0.5% of one step, so the delay from the hardware to the simulator is bounded by the step itself rather than by the link. [TO MEASURE: the end-to-end delay from a button edge to the corresponding vehicle command, reported as mean and worst case over N frames.]

The lane keeping assist held the vehicle inside its lane on straight segments and moderate curves. The hysteresis removed the oscillation that appears when the map query alternates between two lanes, and the input blending allowed deliberate lane changes without disabling the function. [TO MEASURE: cross-track error, as mean and maximum |e| over a straight segment and over a curve of known radius.] The adaptive cruise control tracked posted limits, held the 1.5 s headway and stopped behind stationary traffic at the 5 m standoff. The bent corridor retained the lead vehicle in curves where a straight corridor lost it or latched onto parked cars, and the fade-out of lost targets prevented throttle surges during brief occlusions. [TO MEASURE: steady-state headway error against the 1.5 s target, and the standstill distance behind a stopped lead vehicle.] After a collision, the safety latch stopped the vehicle and disabled both functions until the driver intervened.

The synthesized sirens behaved as the model predicts. The pitch rose for approaching and fell for receding vehicles, loudness followed distance, and several sirens sounded together on their separate channels without interfering. Ramping and interpolating the parameters across each chunk removed the clicks and warbled that per-frame jumps otherwise produce. [TO MEASURE: a listening check, such as left/right and approach/recede identification over a set of trials, or the observed pitch ratio against Equation 3 for a known pass-by speed.] Three edge cases were then exercised individually. On loss of serial input the bridge retains the last valid state. Mode switching while moving produced no jump in the command, since the PID integral resets and the LKA blending transfers authority gradually. Saturated control values are clamped to their valid ranges.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This work delivered a working ESP32-based hardware-in-the-loop control unit integrated with CARLA. The serial link carries the physical driver controls and the status display to a Python bridge that commands the virtual vehicle in real time, implements Stanley-based lane keeping and time-gap adaptive cruise control, and returns haptic telemetry. The siren engine supplies the audio channel the simulator lacks, so emergency-vehicle scenarios can be run with sound that follows the geometry of the source. The main limitations are the joystick-based operation, the USB-only transport, and the reduced rendering quality required on modest hardware.

Future work includes a steering-wheel configuration with force feedback, a dedicated scenario library, multi-user operation on a shared CARLA server, and an Ethernet link as an alternative to USB. A further step is to couple the synthesized audio channel with a machine auditory perception stage such as the siren classifier of Priest et al. (2025), so that acoustic siren detection can be exercised in the same loop. The bench needs only commodity microcontroller hardware and an open-source simulator, which brings hardware-in-the-loop development of ADAS functions within reach of a university laboratory budget.

REFERENCES

Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., López, A., & Koltun, V. (2017). CARLA: An open urban driving simulator. Proceedings of the 1st Conference on Robot Learning (CoRL), 1-16.

Espressif Systems. (2023). ESP32 series datasheet. https://www.espressif.com

Hoffmann, G. M., Tomlin, C. J., Montemerlo, M., & Thrun, S. (2007). Autonomous automobile trajectory tracking for off-road driving: Controller design, experimental validation and racing. Proceedings of the 2007 American Control Conference, 2296-2301.

International Organization for Standardization. (1993). Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere (ISO 9613-1:1993). ISO.

Isermann, R., Schaffnit, J., & Sinsel, S. (1999). Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems. Control Engineering Practice, 7(5), 643-653.

Priest, E., Cassity, A., Kang, N., & Tao, J. (2025). Auditory perception in open-source driving simulator CARLA. 2025 22nd International Conference on Ubiquitous Robots (UR), 268-273. https://github.com/taugroup/carla_auditory

Pygame Community. (n.d.). Pygame documentation. https://www.pygame.org/docs/

Rajamani, R. (2012). Vehicle dynamics and control (2nd ed.). Springer.

SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (SAE Standard J3016_202104). SAE International.

Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., ... Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. Journal of Field Robotics, 23(9), 661-692.

Accessible ADAS–HMI Design for Diverse Driver Groups: A Comparative Regulatory, Market, and Literature Review

Osman Batu DENİZ[1], **Hüseyin Can ÖNCEL**[2]

[1]E-mail: osmanbatu.deniz@std.yeditepe.edu.tr; Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, İstanbul / Türkiye.

[2]E-mail: huseyin.canoncel@tofas.com.tr; TOFAŞ SW Engineer, İzmir/ Türkiye.

Özet

Bu çalışma, farklı sürücü grupları için erişilebilir sürüşü ve Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri ile İnsan–Makine Arayüzlerinin uyarlanmasını incelemektedir. Karşılaştırmalı doküman incelemesi kapsamında Türkiye, Avrupa Birliği, Maryland ve Suudi Arabistan'daki sürücü belgelendirme koşulları değerlendirilmiş; otomotiv üreticileri, teknoloji tedarikçileri ve araç dönüşüm firmalarının çözümleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca işitsel, görsel ve dokunsal uyarılar, devralma performansı, zihinsel iş yükü ve kişiselleştirilmiş HMI tasarımıyla ilgili bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Bulgular, düzenleyici koşulların ve mevcut erişilebilirlik çözümlerinin bölgelere ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre değiştiğini göstermiştir. Çoklu modaliteli ve bağlama duyarlı uyarılar, özellikle işitme engelli, yaşlı ve deneyimsiz sürücüler için uygun yaklaşımlar olarak öne çıkmıştır. Sonuç olarak, erişilebilir ADAS–HMI tasarımında bölgesel mevzuat, fiziksel araç uyarlamaları ve sürücüye özgü bilgi sunumu birlikte ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Erişilebilir sürüş; Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri; İnsan–Makine Arayüzü; Kişiselleştirilmiş uyarılar; Sürücü grupları.

Abstract

This study examines accessible driving and the adaptation of Advanced Driver Assistance Systems and Human–Machine Interfaces for different driver groups. A comparative document review was conducted to evaluate driver-licensing requirements in Türkiye, the European Union, Maryland, and Saudi Arabia, while solutions offered by automotive manufacturers, technology suppliers, and vehicle-conversion companies were compared. Scientific studies addressing auditory, visual, and haptic warnings, take-over performance, mental workload, and personalized HMI design were also reviewed. The findings showed that regulatory conditions and available accessibility solutions vary across regions and user needs. Multimodal and context-aware warnings emerged as suitable approaches, particularly for drivers with hearing impairments, older drivers, and novice drivers. Overall, accessible ADAS–HMI design should integrate regional regulations, physical vehicle adaptations, and driver-specific information presentation.

Keywords: Accessible driving; Advanced Driver Assistance Systems; Human–Machine Interface; Personalized warnings; Driver groups.

INTRODUCTION

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and in-vehicle Human–Machine Interfaces (HMIs) communicate system status, possible hazards, and required driver actions. However, the same interface may not be equally suitable for drivers with different functional capabilities and experience levels. Personalized HMI systems can select visual, auditory, or haptic information according to the driver, vehicle state, and environmental conditions (Diederichs et al., 2020; Lilis, Zidianakis, Partarakis, Ntoa, & Stephanidis, 2019).

Interface design is particularly important during transitions between automated and manual driving. SAE Level 2 requires continuous driver supervision, whereas Level 3 allows the system to perform the driving task within its operational design domain but requires the driver to respond to a take-over request. Driver attention, mental workload, secondary-task engagement, warning timing, and HMI configuration may affect take-over performance during these transitions (SAE International, 2021; Lu et al., 2019; Müller, Fernandes-Estrela, Hetfleisch, Zecha, & Abendroth, 2021; Shi et al., 2024).

This study considers accessible driving at three connected levels: regulatory eligibility, physical interaction with the vehicle, and access to safety-related information. Drivers with hearing impairments, drivers with physical disabilities, older drivers, and novice drivers were selected because they have different needs related to warning modality, vehicle adaptations, and information presentation. The study compares regional regulations, available accessibility solutions, relevant standards, and scientific findings to develop recommendations for accessible ADAS–HMI design.

METHODS

This study employed a comparative qualitative document-review approach. The scope included drivers with hearing impairments, drivers with physical disabilities, older drivers, and novice drivers. Türkiye and the European Union were examined directly, while Maryland and Saudi Arabia were selected as case examples for the United States and the Middle East.

The review was conducted in three stages. First, official driver-licensing requirements, medical conditions, vehicle restrictions, and related regulations were examined. Second, accessibility solutions provided by automotive manufacturers, technology suppliers, and specialist vehicle conversion companies were compared. Third, scientific articles, conference papers, patent documents, and research projects related to take-over requests, mental workload, warning modality, and personalized HMI design were reviewed.

Five International Organization for Standardization (ISO) documents were also examined to evaluate auditory and visual information, driver visual behavior, safety-critical warnings, and cognitive load. The collected information was classified by driver group, region, accessibility

requirement, warning modality, and integration method. The findings were then compared to develop the recommendations for driver-group-specific recommendations.

RESULTS

Regulatory Requirements for Selected Driver Groups

The regulatory review showed different eligibility and assessment approaches across the selected regions. Private driving was generally permitted for drivers with hearing impairments, although commercial and heavy-vehicle applicants were more frequently subject to medical assessment. Türkiye applies a pure-tone hearing threshold to commercial vehicle applicants, while no specific hearing threshold was identified in the reviewed Saudi Arabian legislation. For drivers with physical disabilities, eligibility generally depends on the functional effect of the disability and the required vehicle adaptations. Restriction codes or required equipment may be recorded on the driving license or related medical documents (Bureau of Experts at the Council of Ministers, n.d.; European Parliament & Council of the European Union, 2006; Maryland Motor Vehicle Administration, n.d.a, n.d.-c; Republic of Türkiye, Ministry of Interior, 2006).

No fixed upper age limit for private drivers was identified in the examined regions, although older drivers may be subject to shorter license-validity periods, vision requirements, or medical assessments. Novice drivers may be subject to probationary periods, minimum-age requirements, passenger restrictions, or night-time-driving restrictions. The main licensing requirements are summarized in Table 1 (European Parliament & Council of the European Union, 2025; Maryland Motor Vehicle Administration, n.d.-b, n.d.-d; Republic of Türkiye, Ministry of Interior, General Directorate of Security, n.d.; Republic of Türkiye, Ministry of Transport and Infrastructure, n.d.; Saudi General Traffic Department, n.d.-a, n.d.-b).

Table 1. Summary of Licensing Requirements for the Selected Driver Groups and Regions

DRIVER GROUP	Turkey	EU	Maryland	Saudi Arabia
Drivers with hearing impairments	**Permitted.** -For Commercial Vehicles: Pure-tone average hearing threshold of 35 dB or lower in both ears.	**Permitted.** -Private driving is generally permitted. -Commercial vehicle applicants are subject to medical assessment.	**Permitted.** -Private driving: No hearing-specific restriction. -Commercial driving: Maximum 40 dB loss in the better ear.	**Not Identified** -No specific hearing threshold or mandatory hearing-aid requirement was identified.
Drivers with physical impairments	**Conditional.** -Depend on severity -Adaptive vehicle equipment can be needed.	**Conditional.** -Depend on severity -Adaptive vehicle equipment can be needed.	**Conditional.** -Depend on severity -Adaptive vehicle equipment can be needed.	**Conditional.** -Depend on severity -Adaptive vehicle equipment can be needed.
Older drivers	**Permitted.** -No fixed upper age limit applies to private drivers. Commercial drivers are subject to age-related medical requirements.	**Permitted.** -For drivers aged 65 and over, the licence validity period may be shortened from 15 to 5 years..	**Permitted.** -Drivers aged 40 and over are subject to vision requirements when renewing their licences.	**Permitted.** -No specific upper age limit was identified.
Novice drivers	**Permitted** -Classified as probationary drivers for two years -Strict rules applied.	**Permitted.** -Probationary period: At least two years. Accompanied driving from age 17.	**Permitted.** -Passenger and nighttime-driving restrictions apply to provisional licence holders, particularly those under 18.	**Permitted.** -A temporary permit may be obtained at 17, a private licence at 18, and a public or commercial licence at 21.

***Note**. The table was compiled from the official regulations and institutional sources cited in the corresponding text.*

Accessibility and Vehicle-Adaptation Solutions

The market review identified five main categories of assistive driving equipment: hand-operated accelerator and brake systems, steering aids, left-foot accelerators, transfer systems, and pedal extensions. These systems support drivers with limitations related to lower-limb movement, steering effort, pedal reach, or transfer between a wheelchair and the vehicle seat.

The manufacturer benchmark showed different accessibility strategies. Mercedes-Benz mainly presented factory-installed driving aids, while BMW offered a wider range of driving, transfer, and wheelchair-loading systems. Volkswagen organized its solutions according to independent driving and wheelchair transportation, whereas Stellantis mainly worked with specialist conversion partners. Toyota Germany focused mostly on wheelchair access. The reviewed Turkish manufacturer websites provided less technical information on specialized driving controls and focused more on tax exemptions, vehicle purchasing, and wheelchair access (BMW Group, n.d.; BMW Türkiye, n.d.; Fiat Türkiye, n.d.; Mercedes-Benz, n.d.; Mercedes-Benz Türk, n.d.; Stellantis Autonomy, n.d.-a, n.d.-b;

Toyota Deutschland, n.d.; Toyota Türkiye, n.d.; Volkswagen Deutschland, n.d.; Volkswagen Türkiye,

n.d.).

Third-party suppliers provided more specialized solutions, including ring accelerators, electronic servo clutches, secondary-control units, voice-operated systems, and pedal-assistance devices. These systems can be selected according to the driver's remaining movement, force capacity, and preferred interaction method (Fadiel Italiana, n.d.-a, n.d.-b; Guidosimplex, n.d.; Handytech, n.d.; Kivi Mobility Freedom, n.d.; Olmedo Special Vehicles, n.d.).

Representative examples of these vehicle-adaptation solutions are presented in Figure 1.

Figure 1. Representative third-party vehicle-adaptation solutions: (a) ring accelerator, (b) electronic servo clutch, and (c) cable-operated auxiliary controls.

Note. *Images adapted from Olmedo Special Vehicles (n.d.), Handytech (n.d.), and Kivi Mobility Freedom (n.d.). Full source details are provided in the reference list.*

Warning and HMI Technologies

The reviewed ISO documents covered auditory information presentation, visual-display legibility, driver visual behavior, safety-critical warning integration, and the evaluation of cognitive load (ISO, 2011, 2012, 2016, 2017, 2020).

The technologies reviewed for drivers with hearing impairments followed three main approaches: converting auditory information into visual information, detecting relevant external sounds, and providing haptic warnings. The SAM system converted instructor commands and external sounds into visual information, while HUDWAY Drive displayed navigation and vehicle information within the driver's field of view. Cerence Emergency Vehicle Detection recognized emergency-vehicle sirens, and the GM Safety Alert Seat provided directional seat vibrations for

selected warnings (Cerence, 2020; General Motors, 2015; HUDWAY, n.d.; Pimas Automotive, n.d.).

The supplier benchmark showed that Bosch and ZF mainly focused on hazard detection and warning functions, while Continental/Aumovio and Valeo also provided display and interface technologies. The reviewed systems used visual, acoustic, head-up-display, ambient-lighting, and haptic channels. Bosch used haptic feedback as an additional blind-spot warning, whereas ZF combined brake pulses and torque reduction with collision-mitigation functions when the driver did not respond (AUMOVIO, n.d.; Bosch Mobility, n.d.-a, n.d.-b; Valeo, n.d.; WABCO, 2019; ZF Commercial Vehicle Solutions,

n.d.-a, n.d.-b).

Scientific Findings on Take-Over and Adaptive HMI Design

The reviewed studies showed that driver state and engagement in non-driving-related activities affected the transition from automated to manual driving. Secondary tasks increased take-over time and their variability, whereas a monitoring request presented before a possible take-over request redirected attention to the driving environment. Steering-wheel-based haptic guidance also reduced reaction time, lateral error, and obstacle collisions. The reviewed patent supported a similar approach by activating visual, auditory, or tactile interventions when the estimated driver-readiness level fell below a defined threshold (Kim, Yoon, Kim, & Lee, 2021; Lu et al., 2019; Morales-Alvarez, Certad, Tadjine, & Olaverri-Monreal, 2022; Sekadakis, Trösterer, Moertl, & Yannis, 2025).

HMI location, warning content, and signal direction affected take-over performance. Peripheral displays produced shorter take-over times, while informative warnings that specified the required maneuver improved take-over quality. However, head-up displays showed a possible attention tunnelling risk. Directional warnings containing tactile feedback generally reduced take-over and information-processing times. Multimodal visual–auditory–haptic warnings also produced better overall results than single-modality warnings, particularly when the driver was visually occupied by a secondary task (Huang & Pitts, 2022; Shi et al., 2024; Yun & Yang, 2020).

Mental workload differed according to the task, scenario risk, available take-over time, and measurement method. No significant overall workload difference was found between visual and auditory take-over requests. Personalized HMI frameworks therefore proposed selecting warning timing, content, and modality according to the driver profile, workload, environmental conditions, and real-time monitoring information. Since additional information did not always improve driving performance, the findings support context-dependent warning prioritization instead of presenting the maximum possible amount of information (Chen, Sawaragi, & Hiraoka, 2023; Kim, Kim, Kim, Lee, & Yoon, 2020; Müller et al., 2021; Zhang, Zhang, Xiao, & Wu, 2022; Diederichs et al., 2020; Lilis et al., 2019; Zhao et al., 2024).

An example of a context-dependent multimodal handover sequence is presented in Figure 2.

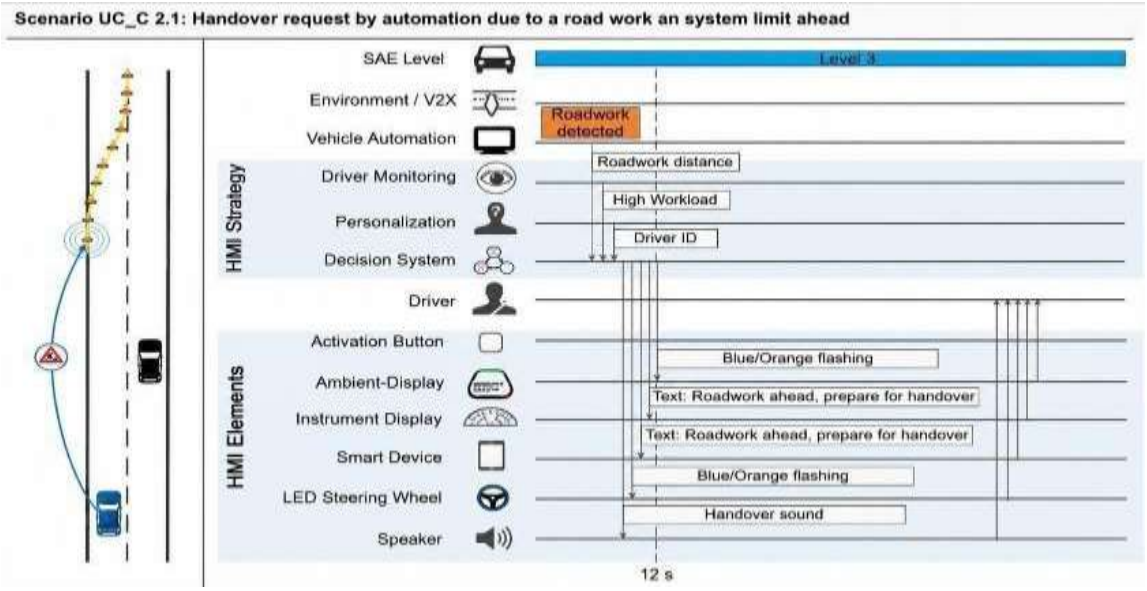


Figure 2. Adaptive multimodal handover strategy for a roadwork-related system limitation during SAE Level 3 automated driving.

Note. *Adapted from Diederichs et al. (2020).*

CONCLUSION AND DISCUSSION

The findings show that accessible driving should be considered through three connected areas: regulatory eligibility, physical interaction with the vehicle, and access to safety-related information. Although private driving was generally permitted for the selected driver groups, the reviewed regions applied different medical assessments, license restrictions, age-related conditions, and vehicle-adaptation requirements. Therefore, accessible ADAS–HMI design should consider both regional regulations and the functional needs of the driver.

The market review showed that accessibility solutions also differed according to the manufacturer and market. European manufacturers provided more information on factory-installed driving aids, wheelchair-access systems, and specialist conversion partnerships, while the reviewed Turkish websites mainly focused on vehicle purchasing and tax exemptions. Third-party suppliers provided more configurable driving and secondary-control systems. The scientific findings also showed that warning effectiveness depends on modality, location, content, timing, and driver state. Multimodal warnings generally produced better results than visual-only warnings but presenting more information did not always improve performance.

Critical warnings for drivers with hearing impairments should not depend only on auditory information; clear visual information and directional haptic feedback should also be provided. For drivers with physical disabilities, ADAS functions should be compatible with adapted primary controls and should support the operation of secondary vehicle functions. Older drivers may

benefit from simplified displays, larger visual elements, and prioritized information. Novice drivers may require earlier and more informative warnings that clearly indicate the required action. The warning strategy should therefore be selected according to the driver profile, workload, environmental conditions, and real-time monitoring information (Diederichs et al., 2020; Lilis et al., 2019).

This study is limited to a comparative document review. Maryland and Saudi Arabia were used as examples of the United States and the Middle East, and the manufacturer comparison was based on information available on selected official websites. The reviewed studies also used different experimental conditions and generally small participant groups. Future studies in Türkiye should directly include drivers with hearing impairments, physical disabilities, and age-related limitations. Adaptive Level 3 interfaces combining clear visual information with directional steering-wheel or seat vibrations should also be evaluated in realistic driving scenarios.

SOURCES

AUMOVIO. (n.d.). *AUMOVIO*. Retrieved July 16, 2026, from https://www.aumovio.com/en.html

BMW Group. (n.d.). *Material zu BMW Fahrhilfen [BMW driving aids]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.bmw.de/content/dam/bmw/marketDE/bmw_de/topics/offers-andservices/corporate-direct-sales/pdf/driving-assistance.pdf.asset.1511745885074.pdf

BMW Türkiye. (n.d.). *BMW Türkiye*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.bmw.com.tr/tr/index.html

Bosch Mobility. (n.d.-a). *Blind spot detection*. Retrieved July 17, 2026, from https://www.boschmobility.com/en/solutions/assistance-systems/blind-spot-detection/

Bosch Mobility. (n.d.-b). *Bosch Mobility*. Retrieved July 16, 2026, from https://www.boschmobility.com/en/

Bureau of Experts at the Council of Ministers. (n.d.). *Traffic law* (Art. 43). Retrieved July 1, 2026, from https://laws.boe.gov.sa/BoeLaws/Laws/LawDetails/85364e57-c01e-41ba-8defa9a700f183e9/2

Cerence. (2020, January 6). *Cerence introduces Emergency Vehicle Detection, bringing enhanced safety features to the Cerence Drive portfolio*. Retrieved from https://investors.cerence.com/_assets/_8dd0a2d653cdb182e06a1ff7e9257545/cerence/news/2020-01-06_Cerence_Introduces_Emergency_Vehicle_Detection_336.pdf

Chen, W., Sawaragi, T., & Hiraoka, T. (2023). Comparing driver reaction and mental workload of visual and auditory take-over request from the perspective of driver characteristics and eyetracking metrics. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 97*, 396– 410. doi:10.1016/j.trf.2023.07.012

Diederichs, F., Knauss, A., Wilbrink, M., Lilis, Y., Chrysochoou, E., Anund, A., … Bischoff, S. (2020). Adaptive transitions for automation in cars, trucks, buses and motorcycles. *IET Intelligent Transport Systems, 14*(8), 889–899. doi:10.1049/iet-its.2018.5342

European Parliament & Council of the European Union. (2006). Directive 2006/126/EC on driving licences. *Official Journal of the European Union, L 403*, 18–60. Retrieved from https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006L0126

European Parliament & Council of the European Union. (2025). Directive (EU) 2025/2205 of 22 October 2025 on driving licences. *Official Journal of the European Union, 2025/2205*. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2025/2205/oj/eng

Fadiel Italiana. (n.d.-a). *AS01 brake pedal lightening device*. Retrieved July 14, 2026, from https://www.fadiel.com/en/driving-devices/brake-brake-levers-and-acceleratorcombined/brake-pedal-lightening-device-as01.html

Fadiel Italiana. (n.d.-b). *Voice recognition device for lighting and service commands*. Retrieved July 14, 2026, from https://www.fadiel.com/en/driving-devices/control-units/voice-recognitiondevice-for-lighting-and-service-commands.html

Fiat Türkiye. (n.d.). *ÖTV muafiyetli araçlar ve engelli araç fiyatları [Tax-exempt vehicles and vehicle prices for drivers with disabilities]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.fiat.com.tr/engelsiz-otomobil

General Motors. (2015). *2015 Cadillac ELR convenience and personalization guide*. Retrieved from https://contentdelivery.ext.gm.com/content/dam/cope/en_us/public/pdf_assets/active/quick_refere nce_manuals_browse/GTK_2015_ELR_22934665_A.pdf

Guidosimplex. (n.d.). *Fiat Autonomy*. Retrieved July 9, 2026, from https://fiatautonomy.guidosimplex.it/

Handytech. (n.d.). *Handytech Autonomy*. Retrieved July 9, 2026, from http://www.handytechautonomy.it/

HUDWAY. (n.d.). *HUDWAY Drive: Heads-up display to keep your eyes on the road*. Retrieved July 8, 2026, from https://hudway.co/drive

Huang, G., & Pitts, B. J. (2022). Takeover requests for automated driving: The effects of signal direction, lead time, and modality on takeover performance. *Accident Analysis & Prevention, 165*, 106534. doi:10.1016/j.aap.2021.106534

International Organization for Standardization. (2011). *Road vehicles—Ergonomic aspects of transport information and control systems—Specifications for in-vehicle auditory presentation* (ISO 15006:2011). Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.iso.org/standard/55322.html

International Organization for Standardization. (2012). *Road vehicles—Ergonomic aspects of transport information and control systems—Introduction to integrating safety-critical and timecritical warning signals* (ISO/TR 12204:2012). Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.iso.org/standard/51275.html

International Organization for Standardization. (2016). *Road vehicles—Transport information and control systems—Detection-response task for assessing attentional effects of cognitive load in driving* (ISO 17488:2016). Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.iso.org/standard/59887.html

International Organization for Standardization. (2017). *Road vehicles—Ergonomic aspects of transport information and control systems—Specifications and test procedures for in-vehicle visual presentation* (ISO 15008:2017). Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.iso.org/standard/62784.html

International Organization for Standardization. (2020). *Road vehicles—Measurement and analysis of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems* (ISO
15007:2020). Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.iso.org/standard/63220.html

Kim, H. S., Yoon, D. S., Kim, W. J., & Lee, S. J. (2021). *Apparatus and method for estimating driver readiness and method and system for assisting driver* (U.S. Patent No. 11,027,741). Washington, DC:

U.S. Patent and Trademark Office. Retrieved from https://patents.google.com/patent/US11027741B2/en

Kim, J., Kim, H.-S., Kim, W., Lee, S.-J., & Yoon, D. (2020). Investigation on the effect of mental workload on the time-related take-over performance. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence* (pp. 1912–1917). IEEE. doi:10.1109/ICTC49870.2020.9289513

Kivi Mobility Freedom. (n.d.). *197/10 auxiliary controls by cable*. Retrieved July 14, 2026, from https://www.kivi-mobilityfreedom.com/products/auxiliary_controls_by_cable_19710

Lilis, Y., Zidianakis, E., Partarakis, N., Ntoa, S., & Stephanidis, C. (2019). A framework for personalised HMI interaction in ADAS systems. In *Proceedings of the 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems* (pp. 586–593). SCITEPRESS. doi:10.5220/0007801505860593

Lu, Z., Zhang, B., Feldhütter, A., Happee, R., Martens, M., & de Winter, J. C. F. (2019). Beyond mere take-over requests: The effects of monitoring requests on driver attention, take-over performance, and acceptance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 63*, 22–37. doi:10.1016/j.trf.2019.03.018

Maryland Motor Vehicle Administration. (n.d.-a). *Individuals with disabilities*. Retrieved July 1, 2026, from https://mva.maryland.gov/your-mva-guide/individuals-disabilities

Maryland Motor Vehicle Administration. (n.d.-b). *Provisional driver's license*. Retrieved July 3, 2026, from https://mva.maryland.gov/your-mva-guide/teens-new-drivers/provisional-license

Maryland Motor Vehicle Administration. (n.d.-c). *Reasons for driving restrictions*.

Retrieved July 2, 2026, from https://mva.maryland.gov/licenses-ids/driver-education-safety/licenserestrictions/reasons-driving-restrictions

Maryland Motor Vehicle Administration. (n.d.-d). *Vision tests and requirements*. Retrieved July 3, 2026, from https://mva.maryland.gov/your-mva-guide/medical-vision-requirements-licenses/visiontests-requirements

Mercedes-Benz. (n.d.). *Mercedes-Benz Fahrhilfen ab Werk [Mercedes-Benz driving aids from the factory]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.mercedesbenz.de/passengercars/technology/driving-aids.html

Mercedes-Benz Türk. (n.d.). *Üretim ve Ar-Ge faaliyetlerimiz [Production and R&D activities]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.mercedesbenzturk.com.tr/kurumsal/hakkimizda/uretimve-ar-ge-faaliyetlerimiz

Morales-Alvarez, W., Certad, N., Tadjine, H. H., & Olaverri-Monreal, C. (2022). Automated driving systems: Impact of haptic guidance on driving performance after a take over request. In *Proceedings of the 2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 1817–1823). IEEE. doi:10.1109/IV51971.2022.9827419

Müller, A. L., Fernandes-Estrela, N., Hetfleisch, R., Zecha, L., & Abendroth, B. (2021). Effects of non-driving-related tasks on mental workload and take-over times during conditional automated driving. *European Transport Research Review, 13*, 16. doi:10.1186/s12544-021-00475-5

Olmedo Special Vehicles. (n.d.). *Personal mobility*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.olmedospa.it/en/transport-for-disabled-people/personal-mobility/

Pimas Automotive. (n.d.). *SAM—Smart Assistant Monitor*. Retrieved July 8, 2026, from https://www.pimas-automotive.com/sam-smart-assistant-monitor/

Republic of Türkiye, Ministry of Interior. (2006, September 26). *Sürücü adayları ve sürücülerde aranacak sağlık şartları ile muayenelerine dair yönetmelik [Regulation on the health conditions and medical examinations required for driver candidates and drivers]* (Official Gazette No. 26301). Retrieved from https://www.aile.gov.tr/eyhgm/mevzuat/ulusal-mevzuat/yonetmelikler/surucuadaylari-ve-suruculerde-aranacak-saglik-sartlari-ile-muayenelerine-dair-yonetmelik/

Republic of Türkiye, Ministry of Interior, General Directorate of Security. (n.d.). *Karayolları Trafik Yönetmeliği [Highway Traffic Regulation]*. Retrieved July 3, 2026, from https://www.trafik.gov.tr/trafik-mevzuat

Republic of Türkiye, Ministry of Transport and Infrastructure. (n.d.). *Karayolu Taşıma Yönetmeliği [Road Transport Regulation]*. Retrieved July 3, 2026, from https://uhdgm.uab.gov.tr/uploads/pages/yonetmelikler/karayolu-tasima-yonetmeligi.pdf

SAE International. (2021). *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles* (SAE Standard No. J3016_202104). Warrendale, PA: Author. Retrieved from https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-relateddriving-automation-systems-road-motor-vehicles

Saudi General Traffic Department. (n.d.-a). *Driving licence issuance*. Retrieved July 3, 2026, from https://my.gov.sa/en/services/112124

Saudi General Traffic Department. (n.d.-b). *Temporary driving permission: Requirements to issue temporary driving permission*. Retrieved July 3, 2026, from https://www.moi.gov.sa/

Sekadakis, M., Trösterer, S., Moertl, P., & Yannis, G. (2025). Identifying driving profiles after take over request in automated vehicles at SAE Levels 2 and 3. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 111*, 250–263. doi:10.1016/j.trf.2025.03.007

Shi, J., Chai, C., Cai, R., Wei, H., Zhou, Y., Fan, H., … Merat, N. (2024). Effects of various invehicle human–machine interfaces on drivers' takeover performance and gaze pattern in conditionally automated vehicles. *International Journal of Human-Computer Studies, 192*, 103362. doi:10.1016/j.ijhcs.2024.103362

Stellantis Autonomy. (n.d.-a). *Accessible driving solutions*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.stellantisautonomy.com/en/driving-solutions/

Stellantis Autonomy. (n.d.-b). *Accessible transport solutions*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.stellantisautonomy.com/en/transport-solutions/

Toyota Deutschland. (n.d.). *Proace Verso Umbau—Rollstuhlgerechte Mobilität [Proace Verso conversion—Wheelchair-accessible mobility]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.toyota.de/neuwagen/proace-verso/umbauten

Toyota Türkiye. (n.d.). *Engel yok Toyota var! [Accessible mobility by Toyota]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.toyota.com.tr/engel-yok-toyota-var

Valeo. (n.d.). *Valeo*. Retrieved July 16, 2026, from https://www.valeo.com/en/

Volkswagen Deutschland. (n.d.). *Fahrzeuge für Menschen mit Behinderung [Vehicles for people with disabilities]*. Retrieved July 9, 2026, from https://www.volkswagen.de/de/angebote-undprodukte/geschaeftskunden/sonderzielgruppen/menschen-mit-handicap.html

Volkswagen Türkiye. (n.d.). *Volkswagen Türkiye passenger cars*. Retrieved July 9, 2026, from https://binekarac.vw.com.tr/tr.html

WABCO. (2019). *OnGuardACTIVE collision mitigation system: Driver tips* (Publication No. TP1658). Retrieved from https://www.zf.com/products/media/automotive/cv/literature_downloads_wna/truck_solutions/adas_sa les_publications driver_tips/SP1658_web.pdf

Yun, H., & Yang, J. H. (2020). Multimodal warning design for take-over request in conditionally automated driving. *European Transport Research Review, 12*, 34. doi:10.1186/s12544-020-00427-5

ZF Commercial Vehicle Solutions. (n.d.-a). *OnGuardMAX advanced driver assistance system*. Retrieved July 16, 2026, from https://www.zf.com/products/en/cv/products_72768.html?pageLink=details_divider65 8792

ZF Commercial Vehicle Solutions. (n.d.-b). *OnGuardMAX maintenance manual* (Publication No. MM24051). Retrieved July 16, 2026, from https://www.zf.com/products/media/automotive/cv/literature_downloads_wna/truck_solutions/adas_m aintenance_manuals/MM24051_OnGuardMAX_Maintenance_Manual_102025.pdf

Zhang, H., Zhang, Y., Xiao, Y., & Wu, C. (2022). Analyzing the influencing factors and workload variation of takeover behavior in semi-autonomous vehicles. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(3), 1834. doi:10.3390/ijerph19031834

Zhao, W., Gong, S., Zhao, D., Liu, F., Sze, N. N., Quddus, M., … Zhao, X. (2024). Impacts of information quantity and display formats on driving behaviors in a connected vehicle environment.
Accident Analysis & Prevention, 203, 107621. doi:10.1016/j.aap.2024.107621

Çevrimdışı Konuşmadan Metne Dönüşüm Destekli Taşınabilir LoRa Acil Haberleşme Cihazının Tasarımı ve İlk Uygulama Sonuçları

Mustafa YILDIZ[1], Onur Alp ELİKÜÇÜK[2], Enes CİRİT[3], Önem YILDIZ[4]

[1] 211804018@stu.adu.edu.tr; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aydın / Türkiye.
[2] 211804026@stu.adu.edu.tr; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aydın / Türkiye.
[3] 211804024@stu.adu.edu.tr; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aydın / Türkiye.
[4] onem.yildiz@adu.edu.tr; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aydın / Türkiye.

Özet

Afet sırasında hücresel şebeke ve internet bağlantısı kesilebilir. Bu çalışmada, Türkçe konuşmayı cihaz üzerinde metne çeviren taşınabilir bir LoRa (Long Range, uzun menzil) acil haberleşme telsizi ele alınmıştır. Prototipte tek kart bilgisayar Raspberry Pi Zero 2 W ve LoRa telsiz alıcı-vericisi RFM95W kullanılmıştır. Bas-konuş (push-to-talk, PTT) düğmesiyle kaydedilen ses, çevrimdışı konuşma tanıma yazılımı Vosk ile metne çevrilmiştir. Metin, cihaz kimliği ve Küresel Konumlama Sistemi (GPS) bilgisiyle paketlenerek 868,1 MHz LoRa bağlantısı üzerinden gönderilmiştir. Denemelerde konuşmadan üretilen metin karşı telsize ulaşmış; alınan paketler EMOLoRa merkez arayüzünde mesaj, cihaz kimliği ve konum bilgileriyle görüntülenmiştir. İki taşınabilir telsiz arasında kentsel ortamda 227 m, yarı kentsel ortamda 545 m ve kırsal ortamda 820 m mesafede bağlantı kurulmuştur. Bu bulgular, ham ses yerine kısa metin paketleri gönderen taşınabilir bir cihazın altyapıdan bağımsız acil haberleşmede kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet haberleşmesi, çevrimdışı konuşma tanıma, LoRa, taşınabilir haberleşme, uzun menzilli iletişim

Abstract

Cellular networks and Internet access may fail during a disaster. This study examines a portable LoRa (Long Range) emergency radio that converts Turkish speech to text on the device. The prototype combines a Raspberry Pi Zero 2 W with an RFM95W LoRa transceiver. Audio recorded through push-to-talk (PTT) is converted to text offline by Vosk. The device combines the text with its identifier and Global Positioning System (GPS) data and sends the packet over an 868.1 MHz LoRa link. During functional trials, the receiving radio obtained the text, while EMOLoRa displayed the message, device identifier, and location. Direct communication between two radios was established at 227 m in an urban setting, 545 m in a suburban setting, and at 820 m in a rural setting. The results show that transmitting short text packets instead of raw audio can support infrastructure-independent emergency messaging.

Keywords: Disaster communication, offline speech recognition, LoRa, portable communication, long-range communication

GİRİŞ

Afet sonrasında baz istasyonları, internet erişimi ve enerji altyapısı kısmen ya da tamamen devre dışı kalabilir. Böyle bir kesinti, saha ekipleri ile afetzedeler arasındaki bilgi akışını zorlaştırır. Afetlerden sonra geleneksel iletişim altyapısı kullanılamaz duruma gelebilir, ciddi biçimde kesintiye uğrayabilir veya aşırı yüklenebilir. Bu nedenle bağlantının yeniden kurulması için hızlı, esnek ve dayanıklı biçimde devreye alınabilen ağ çözümlerine ihtiyaç vardır (Miranda, Molinaro ve Razafindralambo, 2016). Long Range (LoRa) teknolojisi düşük veri hızıyla çalışır; buna karşılık düşük güç tüketimiyle uzun mesafeye ulaşabilir. Bu özellikler, kısa acil durum mesajlarının lisanssız frekans bantlarında iletilmesine uygundur.

LoRa kullanan afet haberleşme çalışmaları farklı sistem yapıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Macaraeg, Hilario ve Ambatali (2020), düğümlerin mesajları birbirine aktararak kapsamayı genişlettiği mesh (çok atlamalı) bir LoRa ağı incelemiştir. Sciullo, Trotta ve Di Felice (2020), acil yardım isteklerini akıllı telefonlarla çalışan LOCATE sistemi üzerinden geniş bir alana iletmiştir. Höchst ve diğerleri (2020) ise kriz koşullarında LoRa ile cihazdan cihaza haberleşmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Schmidt ve diğerleri (2023), afet koşullarındaki kesintilere dayanıklı LoRa haberleşmesi için paketlerin düğümler arasında aktarılabildiği BPoL ağını önermiştir. Bu sistemlerde kullanıcı çoğunlukla kısa bir metin yazar veya haricî bir akıllı telefon kullanır.

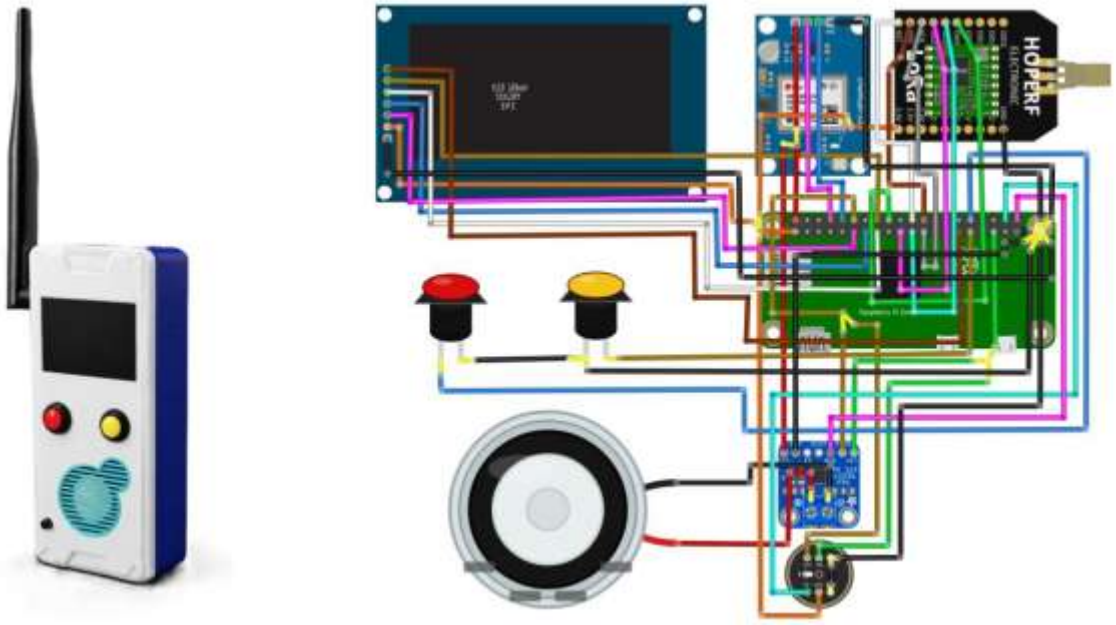
LoRa Geniş Alan Ağı (LoRa Wide Area Network, LoRaWAN) standardı yıldız topolojisi kullanır; uç cihazlar mesajlarını doğrudan bir ağ geçidine gönderir. Çok atlamalı bir ağda ise paketler aradaki düğümler üzerinden ilerler. Bu yapı kapsama, gecikme, enerji tüketimi ve ölçeklenebilirlik açısından farklı tasarım kararları gerektirir (Cotrim ve Kleinschmidt, 2020). Durand ve Booysen (2025), mesh ağlarda yönlendirme ile enerji yükünün düğümler arasında nasıl dağıldığını incelemiştir. Bu nedenle uç cihazın çalışıp çalışmadığı ile ağın bütünü üzerindeki performans ayrı aşamalarda değerlendirilmiştir.

Konuşarak mesaj oluşturmak, kullanıcının yazı yazamadığı veya ekrana odaklanamadığı bir acil durumda yararlı olabilir. Ham ses verisi LoRa üzerinden gönderildiğinde çok sayıda paket gerekir ve görev çevrimi sınırları iletişimi zorlaştırır. Uduwaka ve diğerleri (2026), LoRa tabanlı Meshtastic ağlarında konuşmayı önce cihaz üzerinde metne çevirmenin ham sesi paketlemekten daha uygun olduğunu deneysel olarak göstermiştir. Metin, aynı bilgiyi tek veya az sayıda kısa paketle taşıyabilir.

Bu çalışmada, taşınabilir LoRa acil haberleşme telsizinin uç cihaz donanımı, yazılımı ve çevrimdışı Türkçe konuşmadan metne dönüşüm akışı incelenmiştir. Araştırma sorusu, konuşmadan üretilen kısa bir acil durum mesajının internet bağlantısı olmadan iki taşınabilir LoRa cihazı arasında iletilip iletilemeyeceğidir. Değerlendirme; konuşmanın cihaz üzerinde metne dönüştürülmesini, kısa mesajın LoRa üzerinden karşı cihaza aktarılmasını, alınan paketin EMOLoRa arayüzünde izlenmesini ve doğrudan bağlantının kentsel, yarı kentsel ve kırsal ortamlardaki erişim mesafelerini kapsamaktadır.

YÖNTEM

Çalışma kapsamında üç taşınabilir telsiz üretilmiş, uç cihaz tasarımı ile iki cihaz arasındaki doğrudan bağlantı incelenmiştir. İşletim sistemi ile uygulama yazılımı, tek kart bilgisayar olan Raspberry Pi Zero 2 W üzerinde çalışır. RFM95W, 868,1 MHz bandında SF7 yayılma faktörüyle veri gönderip alan LoRa telsiz modülüdür. Modüle bağlı 5 dBi her yönlü anten, iki cihazın hücresel şebeke ya da internet olmadan haberleşmesini sağlar. Taşınabilir telsizin dış görünümü Şekil 1(a)'da, işlemci, telsiz modülü, ekran, mikrofon, hoparlör ve düğmeler arasındaki bağlantılar Şekil 1(b)'de verilmiştir. Ses aynı cihazda işlenerek kısa bir veri paketine dönüştürülür.



Şekil 1. Taşınabilir LoRa acil haberleşme telsizi: (a) cihazın dış görünümü, (b) bileşenlerin devre yerleşimi

Raspberry Pi Zero 2 W ses işleme adımlarını ve kullanıcı arayüzünü yönetir. RFM95W ise kısa mesajları düşük veri hızıyla uzun mesafeye taşır. Açık kaynaklı Vosk yazılımı, Türkçe konuşmayı internet bağlantısı olmadan metne çevirir. INMP441 dijital mikrofon, sesi entegre devreler arası sayısal ses (Inter-IC Sound, I²S) arabirimi üzerinden işlemciye aktarır. NEO-6M modülü, Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) uydularından cihazın konumunu alır. Organik ışık yayan diyot (OLED) ekran cihaz durumunu ve gelen mesajı gösterir. Kullanılan ekran 2,42 inç boyutundadır. MAX98357A, işlemciden çıkan sayısal sesi 4 Ω ve 3 W hoparlöre uygun düzeye yükseltir. Cihaz 5000 mAh taşınabilir güç kaynağıyla beslenir. Piper yazılımı da alınan metni çevrimdışı olarak seslendirir. Üretilen üç prototip Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Üretilen taşınabilir LoRa telsizlerinin arka ve ön donanım yerleşimi

Kullanıcı bas-konuş (push-to-talk, PTT) düğmesini basılı tuttuğunda INMP441 mikrofon sesi kaydeder. Vosk bu kaydı cihaz üzerinde Türkçe metne çevirir. Konuşma tanıma sırasında karşılaşılan yaygın hataları azaltmak için önceden tanımlanmış sözcük düzeltmeleri uygulanır. Ardından metin, cihaz kimliği ve GPS konumuyla <CIHAZ_ID>|<GPS_KONUM>|<MESAJ> düzenindeki pakete eklenir. Paket, 128 bit Gelişmiş Şifreleme Standardı'nın Elektronik Kod Kitabı kipi (Advanced Encryption Standard 128-bit Electronic Codebook, AES-128 ECB) ile şifrelenir. Şifreli ikili veri, telsiz paketinde metin karakterleriyle taşınabilmesi için Base64 gösterimine çevrilir. Taşıyıcıyı Dinleyen Çoklu Erişim ve Çarpışmadan Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA) yaklaşımıyla kanalın boş olduğu belirlendiğinde paket LoRa üzerinden gönderilir. Alıcı telsiz paketi çözer ve metni OLED ekranda gösterir; kullanıcı isterse Piper metni seslendirir. Kırmızı düğme konum ve cihaz kimliğini içeren hazır acil yardım (SOS) mesajını gönderir. Sarı düğme PTT işlevini, siyah düğme güç denetimini başlatır.

İki taşınabilir telsiz arasındaki doğrudan bağlantı kentsel, yarı kentsel ve kırsal alanlarda denenmiştir. Mesafe denemelerinde cihaz beş saniyede bir otomatik SOS mesajı göndermiş; her ortamda bağlantının kurulduğu konumlar ve mesafeler harita görüntüleriyle kaydedilmiştir. PTT ile oluşturulan mesajın karşı cihaza ulaşması işlev denemesinde, otomatik SOS mesajlarının alıcıya ulaşması ise mesafe denemelerinde bağlantı ölçütü olarak kullanılmıştır.

Alınan LoRa paketlerinin izlenmesi amacıyla EMOLoRa adlı yerel bir merkez arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüz, taşınabilir cihazdan alınan mesajı gönderici kimliği, çalışma frekansı, GPS konumu ve bağlantıya ilişkin RSSI ile SNR değerleriyle birlikte görüntülemektedir. Geçerli bir paket alındığında oluşturulan alındı onayı (acknowledgment, ACK) da aynı arayüz üzerinden izlenebilmektedir. Sistemin paket beklediği izleme ekranı Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3. EMOLoRa merkez arayüzünün paket bekleme ekranı.

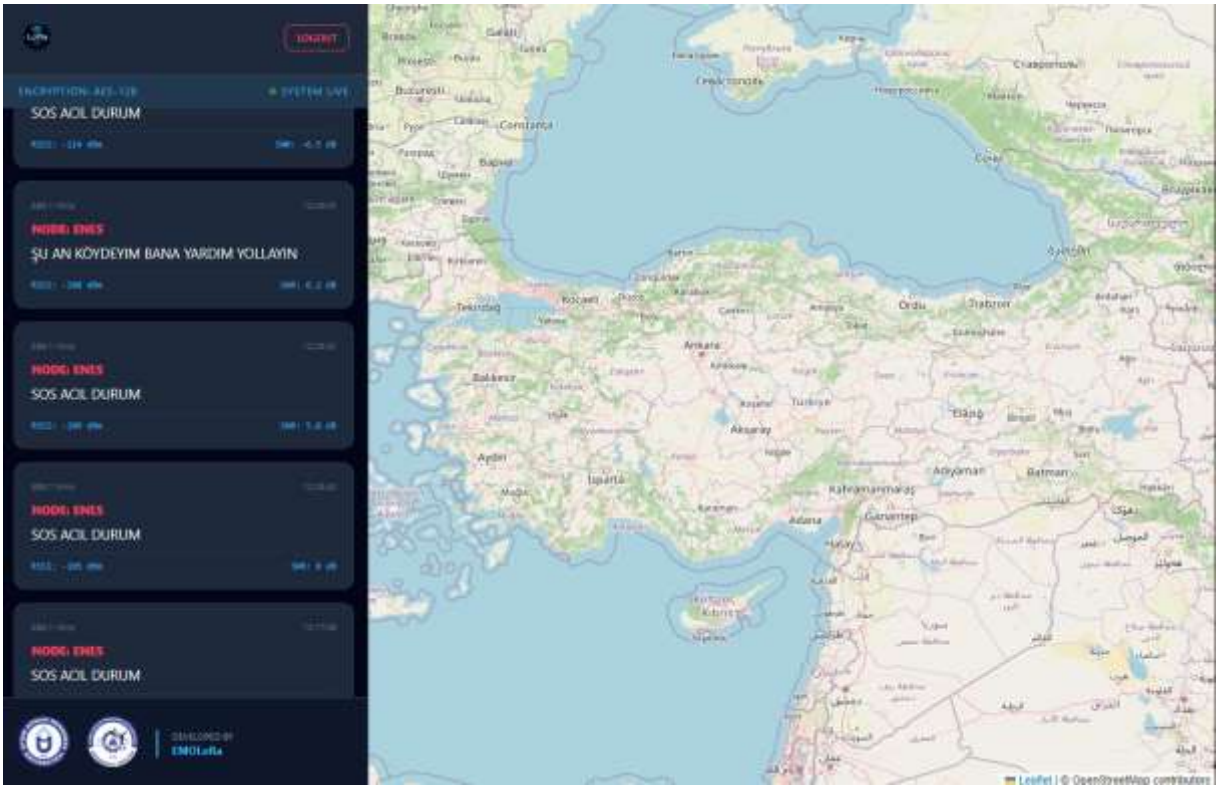
BULGULAR

İşlev denemesinde, PTT ile kaydedilen Türkçe konuşma Vosk tarafından cihaz üzerinde metne çevrilmiş ve oluşan paket LoRa üzerinden karşı telsize gönderilmiştir. Konuşma tanıma işlemi bütünüyle cihaz üzerinde, internet ve bulut hizmetlerinden bağımsız olarak yürütülmüştür. Denemede, sesli girdinin cihaz üzerinde metne dönüştürülerek telsiz paketi biçiminde karşı cihaza iletildiği doğrulanmıştır.

Şekil 4. EMOLoRa merkez arayüzünde alınan SOS mesajı, cihaz konumu ve ACK kayıtları.

EMOLoRa arayüzünün aktif izleme kaydı Şekil 4'te verilmiştir. Alınan SOS mesajı, gönderici düğümün kimliği ve ACK kayıtları bilgi panelinde, düğümün konumu ise harita üzerinde görüntülenmiştir. Bu kayıt, LoRa paketinin merkez arayüzünde çözümlenerek mesaj ve konum bilgileriyle birlikte görüntülenebildiğini göstermektedir.

Şekil 5, uzun mesafe saha denemelerinden birinde EMOLoRa arayüzüne ulaşan, konuşmadan metne dönüştürülmüş örnek bir iletiyi göstermektedir. Arayüzde "Şu an köydeyim bana yardım yollayın" iletisi; ENES düğümünün kimliği, 868,1 MHz çalışma frekansı, -108 dBm RSSI ve 6,2 dB SNR değerleriyle birlikte görüntülenmiştir. Görsel, konuşmanın cihaz üzerinde metne dönüştürülmesi, LoRa paketi olarak iletilmesi ve bağlantı bilgileriyle birlikte merkez arayüzünde görüntülenmesi iş akışının EMOLoRa arayüzüne kadar tamamlandığını göstermektedir. Gelecek çalışmada, bu kaydın da yer aldığı 4,4 km deneyine ait RSSI ve SNR veri dizisi ayrıntılı olarak değerlendirilecektir.



Şekil 5. Konuşmadan metne dönüştürülen acil durum mesajının EMOLoRa arayüzünde görüntülenmesi.

İki taşınabilir telsiz arasındaki saha gözlemleri Tablo 1'de verilmiştir. Bağlantı, kentsel yerleşimde 227 m, kampüs niteliğindeki yarı kentsel alanda 545 m ve kırsal alanda 820 m mesafede kurulmuştur.

Tablo 1. Taşınabilir telsizler arasında doğrudan bağlantının gözlendiği mesafeler

Ortam	Gözlenen mesafe	Bağlantı gözlemi
Kentsel	227 m	İki taşınabilir telsiz arasında bağlantı kuruldu.
Yarı kentsel	545 m	İki taşınabilir telsiz arasında bağlantı kuruldu.
Kırsal	820 m	İki taşınabilir telsiz arasında bağlantı kuruldu.

Yapılaşmanın az olduğu ortamlarda daha uzun bağlantı mesafeleri kaydedilmiştir. Kentsel alandan kırsal alana doğru gözlenen mesafe artışı, çevredeki yapı ve engellerin LoRa bağlantısı üzerindeki etkisiyle uyumludur. Sonuçlar, prototipin üç saha türünde bağlantı kurabildiğini ve konuşmadan üretilen kısa metinleri doğrudan LoRa bağlantısıyla iletebildiğini göstermektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Geliştirilen taşınabilir telsizde Raspberry Pi Zero 2 W, RFM95W, mikrofon, GPS, ekran ve ses çıkışı tek bir birimde birleştirilmiştir. Cihaz, PTT ile kaydedilen Türkçe konuşmayı çevrimdışı olarak metne çevirmiş ve LoRa paketi biçiminde karşı telsize iletmiştir. Alınan mesaj, gönderici ve konum bilgileri EMOLoRa merkez arayüzünde görüntülenmiştir. Doğrudan bağlantı kentsel ortamda 227 m, yarı kentsel ortamda 545 m ve kırsal ortamda 820 m mesafede kurulmuştur. Bu sonuçlar, taşınabilir telsizin temel mesajlaşma işlevinin farklı saha koşullarında çalıştığını göstermektedir.

Ham ses yerine kısa metin iletmek, LoRa üzerinden gönderilecek veri miktarını ve gerekli paket sayısını azaltmayı amaçlar. Saha gözlemlerinde, taşınabilir cihazın çevrimdışı konuşma arayüzüyle oluşturduğu kısa mesajlar farklı çevre koşullarında doğrudan iletilmiştir. EMOLoRa kayıtları, alınan mesajın cihaz kimliği ve konum bilgileriyle izlenebildiğini ve merkezin ACK üretebildiğini işlevsel olarak doğrulamıştır.

Gelecek çalışmada, röle düğümleri ve merkez birimiyle gerçekleştirilen sistem düzeyindeki denemeler ayrıntılı olarak raporlanacak; çok atlamalı aktarım, ACK başarımı, GPS destekli izleme ile 3,2-5 km aralığındaki saha sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Bu veriler, doğrudan telsiz bağlantısı ile röle ve merkez destekli ağın kapsama, güvenilirlik ve işletim özelliklerini karşılaştırmak için kullanılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2025/1 kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağladığı destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

Cotrim, J. R., & Kleinschmidt, J. H. (2020). LoRaWAN mesh networks: A review and classification of multihop communication. *Sensors*, *20*(15), 4273. https://doi.org/10.3390/s20154273

Durand, T. G., & Booysen, M. J. (2025). Performance evaluation of a mesh-topology LoRa network. *Sensors*, *25*(5), 1602. https://doi.org/10.3390/s25051602

Höchst, J., Baumgärtner, L., Kuntke, F., Penning, A., Sterz, A., & Freisleben, B. (2020). *LoRa-based device-to-device smartphone communication for crisis scenarios*. In A. L. Hughes, F. McNeill, & C. Zobel (Eds.), Proceedings of the 17th ISCRAM Conference (pp. 996-1011). https://idl.iscram.org/files/jonashochst/2020/2291_JonasHochst_etal2020.pdf

Macaraeg, K. C. V. G., Hilario, C. A. G., & Ambatali, C. D. C. (2020). LoRa-based mesh network for off-grid emergency communications. *2020 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*. https://doi.org/10.1109/GHTC46280.2020.9342944

Miranda, K., Molinaro, A., & Razafindralambo, T. (2016). A survey on rapidly deployable solutions for post-disaster networks. IEEE Communications Magazine, 54(4), 117–123.

Sciullo, L., Trotta, A., & Di Felice, M. (2020). Design and performance evaluation of a LoRa-based mobile emergency management system (LOCATE). *Ad Hoc Networks*, *96*, 101993. https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101993

Schmidt, D., Kuntke, F., Bauer, M., & Baumgärtner, L. (2023). BPoL: A disruption-tolerant LoRa network for disaster communication. *2023 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 440-447. https://doi.org/10.1109/GHTC56179.2023.10354717

Uduwaka, S., Gunawardana, W. M. T. V., Lakshan, W. D. T., Pathirana, R. P. S., Prasanna, R., Dias, D., & Gayan, S. (2026). Voice communication over Meshtastic networks. *International Conference on Technology Innovations for Crisis Management*, 47-50. https://doi.org/10.54389/OKUL8636

İmmün Trombositopenide İnterferon Baskın Tam Kan Transkriptomik İmzası: GSE5812 Veri Setinin Keşifsel Yeniden Analizi

Abdurrahman Umut TÜYEL[1]

[1]E-mail: atuyel@biruni.edu.tr ;Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye.

Özet

İmmün trombositopeni (İTP), immün aracılı trombosit yıkımıyla seyreden edinsel bir otoimmün hastalıktır. Bu çalışmada NCBI GEO veri tabanında kamuya açık GSE5812 tam kan mikrodizi veri seti (5 İTP, 5 sağlıklı kontrol) yeniden analiz edilmiştir. Welch t-istatistiğine göre sıralanan 9.145 genlik liste üzerinde, önceden belirlenmiş altı gen seti için ön sıralı GSEA (1.000 permütasyon) uygulanmış ve çoklu karşılaştırma Benjamini-Hochberg yöntemiyle düzeltilmiştir. İTP tam kanında IFN-α (NES=2,56) ve IFN-γ (NES=2,51) yanıt programları anlamlı biçimde zenginleşmiştir (her ikisi için q=0,003). Klasik interferonla indüklenen genler sıralı listenin üst bölümünde kümelenmiştir (medyan sıra 1.122/9.145; $p=2{,}2\times10^{-10}$). Buna karşılık trombosit ve hemostaz gen setlerinde anlamlı bir değişim saptanmamış, etki yönü gen seti tanımına göre tutarlılık göstermemiştir. Bulgular, İTP tam kan transkriptomunda interferon aracılı immün aktivasyonun baskın bir özellik olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: gen seti zenginleştirme analizi, immün trombositopeni, interferon yanıtı, tam kan transkriptomiği, trombosit aktivasyonu.

Title: Interferon-Dominant Whole-Blood Transcriptional Signature in Immune Thrombocytopenia: An Exploratory Reanalysis of the GSE5812 Dataset

Immune thrombocytopenia (ITP) is an acquired autoimmune disorder characterized by immune-mediated platelet destruction. In this study, the publicly available whole-blood microarray dataset GSE5812 (5 ITP patients, 5 healthy controls) from the NCBI GEO database was reanalyzed. Preranked GSEA (1,000 permutations) was applied to six pre-specified gene sets using a 9,145-gene list ranked by the Welch t-statistic, and multiple comparisons were corrected using the Benjamini-Hochberg procedure. IFN-α (NES=2.56) and IFN-γ (NES=2.51) response programs were significantly enriched in ITP whole blood (q=0.003 for both). Canonical interferon-stimulated genes clustered toward the top of the ranked list (median rank 1,122/9,145; $p=2.2\times10^{-10}$). In contrast, no significant change was detected in platelet or hemostasis gene sets, and the direction of effect was not consistent across gene set definitions. These findings indicate that interferon-mediated immune activation is a dominant feature of the ITP whole-blood transcriptome.

Keywords: gene set enrichment analysis, immune thrombocytopenia, interferon response, whole blood transcriptomics, platelet activation

GİRİŞ

İmmün trombositopeni (İTP), immünolojik mekanizmalarla trombosit yıkımının arttığı ve/veya trombosit üretiminin baskılandığı edinsel bir otoimmün hastalıktır. Anti-trombosit otoantikorlar, T hücre disregülasyonu ve sitokin dengesizlikleri hastalığın patofizyolojisinde merkezî rol oynamaktadır (Cines ve Blanchette, 2002; Neunert ve ark., 2019). Tip I ve tip II interferon (IFN) yolakları, çok sayıda otoimmün hastalıkta immün aktivasyonun belirleyici bileşenleri arasında gösterilmektedir (Trinchieri, 2010). İTP'de de interferon sinyalizasyonunun patogeneze katkısı bildirilmiştir: Sehgal ve ark. (2013), çocukluk çağı İTP'sinde monositlerin belirgin bir tip I interferon yanıt imzası taşıdığını, bu imzanın tedaviye yanıtla birlikte söndüğünü göstermiştir.

Tam kan transkriptomiği, sistemik immün durumun invazif olmayan biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Kamuya açık mikrodizi veri setlerinin yeniden analizi, özellikle küçük örneklemli pilot çalışmalar için düşük maliyetli ve hipotez üretici bir stratejidir (Barrett ve ark., 2013). Bununla birlikte, İTP'de interferon yanıt programlarının izole hücre alt gruplarında değil, doğrudan tam kan düzeyinde ve yolak temelli yöntemlerle değerlendirildiği çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Tam kan, eritrosit, lökosit ve trombosit kaynaklı transkriptlerin karışımını içerdiğinden, bu düzeydeki bir imzanın hangi programları yansıttığı ayrıca sınanmayı gerektirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, GSE5812 veri setini yeniden analiz ederek (i) İTP tam kan transkriptomunda interferon yanıt programlarının zenginleşip zenginleşmediğini ve (ii) trombosit/hemostaz ilişkili gen setlerinin aynı örneklemde nasıl davrandığını hipotez temelli bir yaklaşımla sınamaktır. Çalışma keşifsel niteliktedir ve nedensellik iddiası taşımamaktadır.

YÖNTEM

Veri kaynağı olarak NCBI GEO veri tabanından GSE5812 (GPL4302; Stanford cDNA dizisi) veri seti kullanılmıştır (Barrett ve ark., 2013). Veri seti, dördü pediatrik akut İTP ve biri yetişkin refrakter İTP olmak üzere beş hasta ile beş sağlıklı kontrolden oluşmaktadır; örneklemin klinik olarak türdeş olmaması sınırlılıklar arasında ele alınmıştır. İki renkli noktalı cDNA mikrodizi platformunda VALUE sütunundaki log2-oran (örnek/referans) değerleri doğrudan analize alınmış, ek bir log2 dönüşümü uygulanmamıştır. Veri kamuya açık ve kimliksizleştirilmiş olduğundan ayrıca etik kurul onayı gerekmemiştir.

GPL4302 platformunda gen sembolü sütunu bulunmadığından, prob anotasyonu IMAGE klon tanımlayıcıları üzerinden GPL2013 (Stanford Human 42K dizisi) platformuyla çapraz eşleştirilerek yapılmıştır. Bu yaklaşım, analize giren 42.285 probun 17.974'ünü (%42,5) bir gen sembolüne eşlemiştir. Eşlenen problar 10.041 benzersiz sembole karşılık gelmiş; çoklu/belirsiz anotasyon taşıyan (“A | B” biçimli), anotasyonsuz (“---”) ve yinelenen kayıtlar çıkarıldıktan sonra sıralı listede 9.145 gen kalmıştır. Bir gene birden çok prob karşılık geldiğinde mutlak t-istatistiği en büyük olan prob temsilci olarak seçilmiştir.

Diferansiyel ekspresyon analizi prob düzeyinde Welch t-testi ile yürütülmüş, çoklu karşılaştırma Benjamini-Hochberg (1995) yöntemiyle düzeltilmiştir. Yolak düzeyinde değerlendirme için Welch t-istatistiğine göre azalan sırada dizilmiş 9.145 genlik liste üzerinde ön sıralı GSEA uygulanmıştır

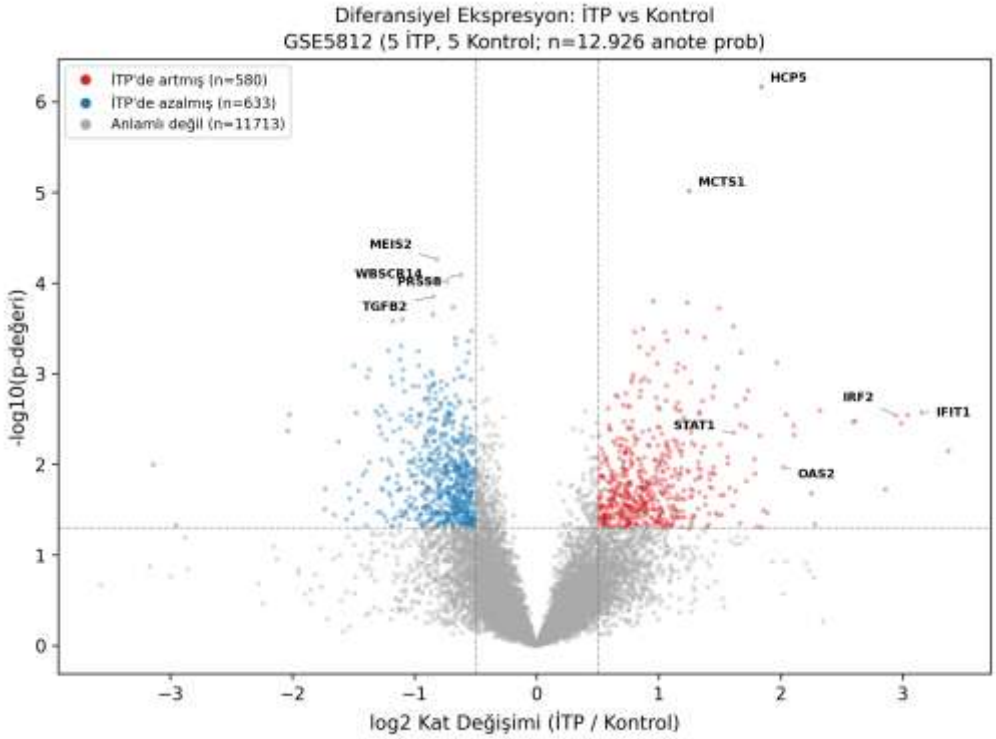
(Subramanian ve ark., 2005; gseapy v1.1, Fang ve ark., 2023; 1.000 permütasyon, gen seti boyutu 10–500, sabit rastgelelik tohumu). Önceden belirlenen altı gen seti MSigDB Hallmark (Liberzon ve ark., 2015), Reactome (Jassal ve ark., 2020) ve Gene Ontology koleksiyonlarından seçilmiştir; ikisi interferon yanıtını, dördü ise trombosit ve hemostaz programlarını temsil etmektedir (setlerin tam adları Tablo 1'de verilmiştir). Altı gen seti tek bir GSEA çalıştırmasında birlikte test edilmiş ve permütasyon p-değerlerine Benjamini-Hochberg düzeltmesi uygulanarak q değerleri elde edilmiştir; gen setleri tek tek çalıştırıldığında GSEA'nın ürettiği q değeri nominal p-değerine indirgendiğinden bu tasarım tercih edilmiştir.

İnterferon imzasının yolak seçiminden bağımsızlığını sınamak amacıyla, literatürde yerleşik 25 interferonla indüklenen genin (ISG) sıralı listedeki konumları, kalan genlerle Mann-Whitney U testi ile karşılaştırılmıştır. Tüm analizler Python 3.11 ortamında (GEOparse, pandas, SciPy, statsmodels, gseapy, matplotlib) yürütülmüş; numaralandırılmış betikler ve ara çıktılar tekrarlanabilirlik ilkesiyle saklanmıştır.

BULGULAR

Prob düzeyinde 42.285 prob test edilmiş, bunlardan yalnızca biri Benjamini-Hochberg düzeltmesini geçmiştir: MHC sınıf I bölgesinde yer alan ve interferonla indüklenen uzun kodlamayan RNA HCP5 ($\log2FC=1,84$; $p=6,85\times10^{-7}$; $q=0,029$). Bu sonuç, grup başına n=5 örneklemde çoklu test düzeltmesinin yarattığı güç kaybıyla tutarlıdır. Gen sembolüne eşlenen ve tekil sembol taşıyan 12.926 prob üzerinden nominal eşiklerle ($p<0,05$; $|\log2FC|>0,5$) yapılan değerlendirmede 580 prob artmış, 633 prob azalmış olarak sınıflanmıştır (Şekil 1A). Kat değişimi en yüksek artışlar interferon düzenleyici faktör IRF2 ($\log2FC=3,37$) ve interferonla indüklenen IFIT1 ($\log2FC=3,15$) problarında gözlenmiştir.

Bu bölümde tablo ve şekil kullanacaksanız aşağıdaki örnekleri dikkate tablo ve şekil oluşturunuz.



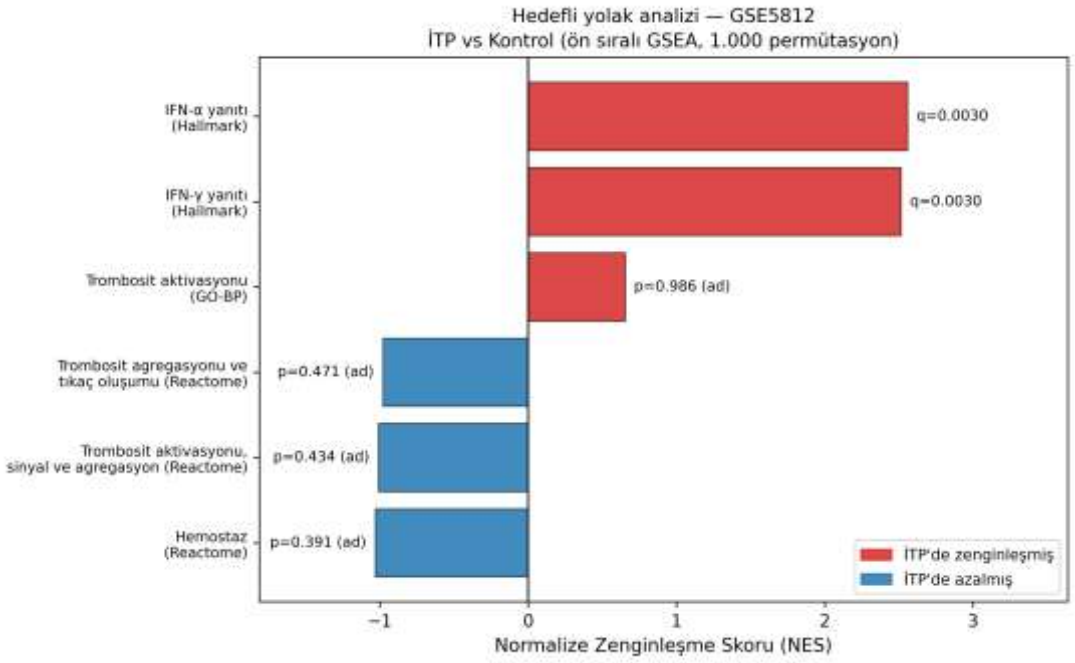
Şekil 1A. Volkan grafiği: İTP vs Kontrol diferansiyel ekspresyon analizi. Gen sembolüne eşlenen ve tekil sembol taşıyan 12.926 prob gösterilmiştir (kırmızı: İTP'de artmış, n=580; mavi: azalmış, n=633; gri: anlamlı değil, n=11.713; nominal $p<0,05$ ve $|log2FC|>0,5$).

Hedefli GSEA, İTP tam kanında her iki interferon yanıt programında güçlü ve anlamlı zenginleşme ortaya koymuştur: HALLMARK_INTERFERON_ALPHA_RESPONSE (NES=2,56; permütasyon $p<0,001$; $q=0,003$; örtüşen gen sayısı 46) ve HALLMARK_INTERFERON_GAMMA_RESPONSE (NES=2,51; $p<0,001$; $q=0,003$; 113). Buna karşılık trombosit ve hemostaz ilişkili dört gen setinin hiçbirinde anlamlı zenginleşme saptanmamıştır (tümü için $q\geq0,56$). Üstelik etki yönü gen seti tanımına göre değişmiştir: Reactome kaynaklı üç set negatif yönlü bir eğilim gösterirken (NES=−0,98 ile −1,03 arasında), Gene Ontology kaynaklı GOBP_PLATELET_ACTIVATION seti pozitif yönde ve anlamsız bir sonuç vermiştir (NES=+0,66; $p=0,986$). Reactome setlerinin birbirini kapsayan (iç içe geçmiş) yapıda olması, gözlenen yön birliğinin bağımsız bir doğrulama sayılamayacağını göstermektedir. Tüm sonuçlar Tablo 1 ve Şekil 1B'de sunulmuştur.

Tablo 1. Hedefli GSEA sonuçları (İTP vs Kontrol; ön sıralı GSEA; 1.000 permütasyon; altı gen seti tek çalıştırmada)

Gen Seti	Kaynak	n	NES	p	q (BH)	Yön
HALLMARK_INTERFERON_ALPHA_RESPONSE	Hallmark	46	2,56	<0,001	0,003	İTP'de artmış
HALLMARK_INTERFERON_GAMMA_RESPONSE	Hallmark	113	2,51	<0,001	0,003	İTP'de artmış
REACTOME_HEMOSTASIS	Reactome	351	−1,03	0,391	0,565	Anlamlı değil
REACTOME_PLATELET_ACTIVATION_SIGNALING_AND_AGGREGATION	Reactome	168	−1,01	0,434	0,565	Anlamlı değil
REACTOME_PLATELET_AGGREGATION_PLUG_FORMATION	Reactome	27	−0,98	0,471	0,565	Anlamlı değil
GOBP_PLATELET_ACTIVATION	GO-BP	75	+0,66	0,986	0,986	Anlamlı değil

n: sıralı listeyle örtüşen gen sayısı; NES: Normalize Zenginleşme Skoru; p: permütasyon temelli nominal p-değeri; q (BH): altı gen seti üzerinden Benjamini-Hochberg düzeltilmiş değer.



Şekil 1B.

Hedefli GSEA NES grafiği. Kırmızı barlar pozitif, mavi barlar negatif NES değerlerini göstermektedir. Yalnızca interferon yanıt gen setleri Benjamini-Hochberg düzeltmesi sonrasında anlamlıdır (q=0,003); trombosit/hemostaz setlerinin hiçbirinde anlamlı zenginleşme yoktur ve etki yönü set tanımına göre değişmektedir (ad: anlamlı değil).

İnterferon sinyalinin gen seti seçiminden bağımsız olduğunu sınamak üzere yapılan analizde, sıralı listede yer alan 25 klasik ISG'nin medyan sırası 9.145 gen içinde 1.122 olarak bulunmuştur (rastgele dağılımda beklenen medyan sıra 4.572); bu genlerin 11'i listenin ilk %10'luk diliminde yer almıştır. ISG'lerin t-istatistikleri kalan genlerden anlamlı biçimde yüksek olup (Mann-Whitney U, tek yönlü $p=2{,}2\times10^{-10}$), İTP'de artış yönünde en belirgin ISG'ler HCP5 (sıra 1), IFIT1 (25), IFIT5 (59), IFIT2 (73), STAT1 (104), OAS2 (201), ISG20 (316) ve CXCL10 (495) olmuştur.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu keşifsel yeniden analiz, İTP tam kan transkriptomunda hem IFN-α hem de IFN-γ yanıt programlarının güçlü biçimde aktive olduğunu ortaya koymaktadır (her ikisi için q=0,003). Bulgu, tek bir gen seti tanımına bağlı değildir: yolak analizinden bağımsız olarak, yerleşik interferonla indüklenen genler sıralı listenin üst bölümünde anlamlı biçimde kümelenmiştir ($p=2{,}2\times10^{-10}$). Diferansiyel ekspresyon düzeltmesini geçen tek probun interferonla indüklenen HCP5 olması da aynı yönü desteklemektedir.

Sonuçlar, çocukluk çağı İTP'sinde monositlerde tip I interferon yanıt imzası ve plazmasitoid dendritik hücre aktivasyonu bildiren Sehgal ve ark. (2013) çalışmasıyla uyumludur. Bu çalışmanın katkısı, aynı yönelimin izole hücre alt grubu yerine doğrudan tam kan düzeyinde ve farklı bir platformda (cDNA mikrodizi) yeniden gözlenebilmesidir; bu, imzanın belirli bir hücre fraksiyonuna veya teknolojiye özgü bir yapaylık olmadığını düşündürmektedir. Ayrıca bulgu, İTP patogenezinde T hücre aracılı sitotoksisite ve sitokin disregülasyonunu vurgulayan literatürle de biyolojik tutarlılık göstermektedir (Cines ve Blanchette, 2002; Olsson ve ark., 2003).

İnterferonların trombosit üretimi üzerindeki baskılayıcı etkisi deneysel olarak gösterilmiştir: IFN-γ, insan kemik iliği megakaryosit koloni oluşumunu doza bağımlı biçimde inhibe etmekte (Detrick ve ark., 1988), IFN-α ise megakaryositlerin sitoplazmik olgunlaşmasını ve trombosit salınımını baskılamaktadır (Yamane ve ark., 2008). Dolayısıyla gözlenen interferon imzası, kuramsal olarak hem immün aktivasyonla hem de trombositopeninin kendisiyle ilişkilendirilebilir. Ancak mevcut veri bu bağlantıyı doğrudan sınamaya elverişli değildir; ilişki bir hipotez olarak kaydedilmelidir.

Trombosit ve hemostaz gen setlerine ilişkin sonuçlar özellikle dikkatli yorumlanmalıdır. Dört setin hiçbiri anlamlı değildir ve etki yönü set tanımına göre değişmektedir; Reactome setlerinde gözlenen zayıf negatif eğilim, bu setlerin iç içe geçmiş olmasından kaynaklanan bir görünürdeki tutarlılıktır ve bağımsız bir doğrulama sayılamaz. Buna göre bu çalışma, İTP tam kanında trombosit programlarının baskılandığı yönünde bir kanıt sunmamaktadır. Böyle bir sinyalin saptanamaması beklenmedik de değildir: tam kan RNA'sı ağırlıklı olarak lökosit kaynaklıdır ve trombosit kökenli transkriptler bu karışım içinde seyrelmektedir. Bu nedenle bulgular, trombosit içi (platelet-intrinsik) moleküler mekanizmalara ilişkin bir kanıt olarak değil, tam kan düzeyindeki bir transkriptomik imza olarak değerlendirilmelidir.

Çalışmanın başlıca sınırlılıkları şunlardır: grup başına n=5 örneklem büyüklüğü ve buna bağlı düşük istatistiksel güç; çapraz platform anotasyonunun probların yalnızca %42,5'ini kapsaması ve eşlenen sembollerin önemli bir bölümünün geçici adlandırmalar (FLJ/KIAA/LOC) taşıması; bir İTP örneğinin yetişkin refrakter hastalığı temsil etmesiyle oluşan klinik heterojenlik; hasta düzeyinde trombosit sayısı, hastalık süresi ve tedavi bilgisinin bulunmaması; bağımsız bir doğrulama kohortunun olmaması ve kesitsel tasarım nedeniyle nedensellik çıkarımı yapılamaması.

Gelecek çalışmalarda, interferon imzasının daha büyük ve prospektif kohortlarda RNA dizileme ile doğrulanması; imzanın trombosit sayısı, hastalık evresi ve tedaviye yanıtla ilişkisinin izlemli olarak değerlendirilmesi; tam kan yerine ayrıştırılmış hücre alt gruplarında veya tek hücre çözünürlüğünde çalışılarak sinyalin kaynağının belirlenmesi; ve interferon yolağı ile megakaryopoez arasındaki ilişkinin

mekanistik modellerde sınanması önerilmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri kamuya açıktır (GEO: GSE5812); analiz betikleri ve ara çıktılar talep üzerine yazardan temin edilebilir.

KAYNAKÇA

Barrett, T., Wilhite, S. E., Ledoux, P., Evangelista, C., Kim, I. F., Tomashevsky, M., … Edgar, R. (2013). NCBI GEO: Archive for functional genomics data sets—update. Nucleic Acids Research, 41(D1), D991–D995.

Benjamini, Y. ve Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. Journal of the Royal Statistical Society: Series B, 57(1), 289–300.

Cines, D. B. ve Blanchette, V. S. (2002). Immune thrombocytopenic purpura. New England Journal of Medicine, 346(13), 995–1008.

Detrick, R. A., Schulman, J. C., Mamus, S. W., McEver, R. P. ve Zanjani, E. D. (1988). Role of immunocompetent cells in the regulation of human megakaryocytopoiesis in vitro. Advances in Experimental Medicine and Biology, 241, 199–215.

Fang, Z., Liu, X. ve Peltz, G. (2023). GSEApy: A comprehensive package for performing gene set enrichment analysis in Python. Bioinformatics, 39(1), btac757.

Jassal, B., Matthews, L., Viteri, G., Gong, C., Lorente, P., Fabregat, A., … D'Eustachio, P. (2020). The Reactome pathway knowledgebase. Nucleic Acids Research, 48(D1), D498–D503.

Liberzon, A., Birger, C., Thorvaldsdóttir, H., Ghandi, M., Mesirov, J. P. ve Tamayo, P. (2015). The Molecular Signatures Database (MSigDB) hallmark gene set collection. Cell Systems, 1(6), 417–425.

Neunert, C., Terrell, D. R., Arnold, D. M., Buchanan, G., Cines, D. B., Cooper, N., … Kuter, D. J. (2019). American Society of Hematology 2019 guidelines for immune thrombocytopenia. Blood Advances, 3(23), 3829–3866.

Olsson, B., Andersson, P. O., Jernås, M., Jacobsson, S., Carlsson, B., Carlsson, L. M. ve Wadenvik, H. (2003). T-cell-mediated cytotoxicity toward platelets in chronic idiopathic thrombocytopenic purpura. Nature Medicine, 9(9), 1123–1124.

Sehgal, K., Guo, X., Koduru, S., Shah, A., Lin, A., Yan, X. ve Dhodapkar, K. M. (2013). Plasmacytoid dendritic cells, interferon signaling, and FcγR contribute to pathogenesis and therapeutic response in childhood immune thrombocytopenia. Science Translational Medicine, 5(193), 193ra89.

Subramanian, A., Tamayo, P., Mootha, V. K., Mukherjee, S., Ebert, B. L., Gillette, M. A., … Mesirov, J. P. (2005). Gene set enrichment analysis: A knowledge-based approach for interpreting genome-wide expression profiles. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(43), 15545–15550.

Trinchieri, G. (2010). Type I interferon: Friend or foe? Journal of Experimental Medicine, 207(10), 2053–2063.

Yamane, A., Nakamura, T., Suzuki, H., Ito, M., Ohnishi, Y., Ikeda, Y. ve Miyakawa, Y. (2008). Interferon-alpha 2b-induced thrombocytopenia is caused by inhibition of platelet production but not proliferation and endomitosis in human megakaryocytes. Blood, 112(3), 542–550.

The Role of Generative Artificial Intelligence in Automotive Software Verification and Validation: Use Cases, Working Principles and Significance

Sebahat Çekinmez[1]

[1]E-mail: sebahat.kiziltas2@tofas.com.tr; TOFAS, R&D İzmir Branch, İzmir / Türkiye

Özet

Yazılım Tanımlı Araçlara geçiş, otomotiv yazılımının karmaşıklığını hızla artırmış ve doğrulama ve geçerleme (V&V) faaliyetlerini başlıca maliyet ve zaman kısıtı haline getirmiştir. Bu çalışma, üretken yapay zeka ve büyük dil modellerinin otomotiv yazılımı V&V süreçlerindeki rolünü yapılandırılmış bir literatür taraması ile incelemektedir. 2020–2026 döneminde yayımlanan hakemli çalışmalar, endüstriyel uygulama raporları ve ön baskılar; kullanım senaryosu, çalışma prensibi ve bildirilen katkı eksenlerinde tematik olarak çözümlenmiştir. Bulgular, üretken yapay zekanın gereksinimden test üretimi, yürütülebilir test kodu ve senaryo sentezi, hata enjeksiyonu, test sonucu analizi ve izlenebilirlik desteği olmak üzere test yaşam döngüsünün tamamına yayıldığını göstermektedir. Güvenilir uygulamalar; temellendirilmiş üretim, alt görevlere ayrıştırma ve geri bildirim güdümlü doğrulama ortak mimarisini paylaşmakta ve modelleri gerçek zamanlı donanım döngülerinin dışında tutmaktadır. Çalışma, bildirilen verimlilik ve kapsam kazanımlarının yanı sıra halüsinasyon, araç nitelendirme ve veri gizliliği kısıtlarını da değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Büyük dil modelleri, doğrulama ve geçerleme, otomotiv yazılımı, test otomasyonu, üretken yapay zeka.

Abstract

The transition to Software-Defined Vehicles has rapidly increased automotive software complexity, turning verification and validation (V&V) into a primary cost and schedule constraint. This study examines the role of generative artificial intelligence and large language models in automotive software V&V through a structured literature review. Peer-reviewed studies, industrial deployment reports and preprints published between 2020 and 2026 were thematically analysed along the axes of use case, working principle and reported contribution. The findings show that generative artificial intelligence now spans the entire testing lifecycle, including requirement-to-test generation, executable test code and scenario synthesis, fault injection, test result analysis and traceability support. Dependable deployments share a common architecture of grounded generation, decomposition into subtasks and feedback-driven verification, keeping models outside real-time hardware loops. The study also assesses reported efficiency and coverage gains alongside hallucination, tool qualification and data confidentiality constraints.

Keywords: Large language models, verification and validation, automotive software, test automation, generative artificial intelligence.

INTRODUCTION

The automotive industry is undergoing a structural transformation from mechanically dominated products towards Software Defined Vehicles (SDVs). In this transformation, customer-perceived functionality, safety behaviour and product differentiation are realised predominantly through software (Pan et al., 2025). Modern vehicles incorporate a large number of electronic control units (ECUs) and millions of lines of code distributed across powertrain, chassis, body, connectivity, infotainment and advanced driver assistance system (ADAS) domains, which rapidly increases the number of requirements that must be verified.

This growth has made verification and validation (V&V) one of the principal cost and schedule drivers of automotive software engineering. Test specification, scripting, execution and result analysis largely remain manual, repetitive processes that depend on a limited pool of domain experts. In one industrial example, verifying 837 system requirements by conventional means required approximately 820 engineering hours, corresponding to roughly one hour per test case. When the same ratio is scaled to SDV volumes, the total effort is reported to exceed 100,000 hours (Amazon Web Services, 2025).

In parallel, generative artificial intelligence, and in particular transformer-based large language models (LLMs), has demonstrated strong capabilities in natural language understanding, code synthesis and reasoning over heterogeneous documents (Wang, Huang, et al., 2024). These capabilities align directly with the artefact-centric nature of automotive V&V: the inputs to the process; requirements, interface specifications, scenario descriptions and safety analyses are expressed largely in natural language and in semi-structured documents.

However, the relevant literature is dispersed across software engineering, autonomous driving and automotive systems venues, leaving practitioners without a consolidated view. This study focuses on three questions: (i) at which stages of the automotive V&V lifecycle can generative artificial intelligence be applied, (ii) how do these approaches operate once integrated into software-in-the-loop (SIL) and hardware-in-the-loop (HIL) toolchains, and (iii) why is their adoption significant in terms of cost, quality and compliance? The aim of the study is to answer these three questions through a structured literature review, consolidating dispersed findings into an integrated framework for practitioners.

METHOD

The study employs a descriptive, structured literature review method. The search was conducted across the IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink, ScienceDirect and arXiv databases, covering publications issued between 2020 and 2026. Emphasis was placed on the 2023–2026 period, during which LLM-based testing research accelerated markedly.

Search strings were constructed from the combination of three term sets. The first set comprised V&V-related terms (“verification”, “validation”, “test generation”, “HIL”, “SIL”, “scenario-based testing”, “fault injection”), the second set generative-AI-related terms (“generative AI”, “large language model”, “multimodal”), and the third set automotive-specific qualifiers (“automotive”, “ECU”, “ADAS”, “software-defined vehicle”).

As an inclusion criterion, studies were required to present a concrete method or an empirical finding. Accordingly, peer-reviewed conference and journal publications, verifiable industrial deployment reports and high-quality preprints were considered, whereas purely conceptual opinion pieces were excluded. Complementing the keyword search, backward and forward snowballing was performed on prominent studies.

To ensure source reliability, the bibliographic record of every study considered (authors, title, publication venue, identifier) was verified against the primary source; studies whose records could not

be verified, or which were cited only through a secondary source, were excluded. The resulting corpus was thematically coded along the three axes that structure the findings section: use case, working principle and reported contribution.

FINDINGS

Use Cases of Generative Artificial Intelligence

The reviewed studies show that generative artificial intelligence applications span the entire testing lifecycle. The identified use cases are summarised in Table 1.

Table 1. *Identified generative artificial intelligence use cases in the automotive V&V lifecycle*

Use case	Core function	Sources
Requirement-to-test generation	Deriving structured test cases from natural language requirements	Wang, Yu, et al. (2025); Ayman et al. (2026)
Test code generation	Converting abstract test cases into executable scripts and code	Kirchner & Knoll (2025); Zyberaj et al. (2026)
Scenario and edge case generation	Synthesising simulation scenarios for ADAS/AD validation	Lu et al. (2025); Lebioda et al. (2025); Petrovic et al. (2024)
Fault injection	Determining fault type, location and timing from safety requirements	Abboush, Hatahet, & Rausch (2025)
Test result analysis	Anomaly detection, explainable classification and root cause diagnosis	Abboush, Ouarrad, & Rausch (2026); Ouarrad et al. (2026)
Release decision support	Interpreting distributed test evidence to inform release decisions	Khoee et al. (2025)
Compliance and traceability	Producing verifiable requirements and evidence from regulatory text	Xue et al. (2026)

The most mature use case is the derivation of test artefacts from natural language requirements. Wang, Yu, Feldt and Parthasarathy (2025) automated the testing process for in-vehicle APIs end-to-end by decomposing it into well-defined subtasks, reducing a manual test process that typically took about two hours to the order of seconds. Ayman et al. (2026), in turn, showed that by clustering semantically related requirements in projects scaling to thousands of requirements, test specifications can be generated not only at unit level but also at integration level.

The second cluster addresses the transformation of abstract test cases into executable artefacts. Empirical work in general software engineering shows that competitive coverage values are achieved in unit test generation when generation is combined with compilation feedback and iterative repair (Schäfer et al., 2024; Yuan et al., 2024). Kirchner and Knoll (2025) proposed a development lifecycle in which LLMs generate C++ code and the associated verification artefacts for an ISO 26262-conformant adaptive cruise control function, combining test-driven development, static analysis and simulation-based validation. Zyberaj, Vintonyak, Hirmer and Aiello (2026) presented an end-to-end test pipeline that generates test

code from requirements for distributed ECU topologies, combining language and vision-language models with human curation.

Scenario-based testing of ADAS and automated driving functions is the most intensively researched area. Lu et al. (2025), within their OmniTester framework, generated road networks and traffic scenarios from user requests using retrieval-augmented generation and self-improvement loops. Petrovic et al. (2024) similarly examined model-driven generation of autonomous driving scenarios. By contrast, Lebioda et al. (2025) found that, when translating abstract requirements into CARLA configuration code, models can produce functional code but human intervention is still required to correct errors and omissions.

On the fault injection side, Abboush, Hatahet and Rausch (2025) developed an approach that derives fault test cases from functional safety requirements and automatically determines fault type, location and timing, reporting F1 scores of 88% for requirement classification and 97.5% for fault test case generation. On the test result analysis side, Abboush, Ouarrad and Rausch (2026) combined a denoising autoencoder trained on healthy signals with a frozen language model, achieving label-free fault detection and explainable classification on HIL recordings. Ouarrad, Abboush and Rausch (2026) extended this pipeline towards root cause analysis using knowledge-graph-guided retrieval. At process level, Khoee et al. (2025) presented a multi-agent system that supports release decisions by interpreting distributed test evidence.

Finally, generative artificial intelligence reduces the documentation and traceability burden of regulated development. Xue, Chen and Zhang (2026) proposed a framework that automates compliance test generation by converting tacit knowledge in regulatory texts into explicit, verifiable artefacts. In this role, generative artificial intelligence functions less as a test generator than as a component that accelerates the production of assurance evidence.

Working Principles and SIL/HIL Integration

Five technical patterns shared by dependable deployments emerge across the reviewed studies. The first is prompt engineering and in-context learning, in which task instructions, domain context and few-shot examples are supplied to the model in structured form (Abboush, Ouarrad, & Rausch, 2026; Lu et al., 2025). The second is retrieval-augmented generation (RAG): because automotive knowledge is proprietary and fragmented, relevant artefacts are retrieved from vector indices or knowledge graphs and injected into the context, yielding traceable output (Ouarrad et al., 2026).

The third pattern is domain adaptation and fine-tuning. Feng et al. (2026) showed that, in HIL test artefact retrieval, fine-tuned compact models achieve a superior accuracy–latency–cost trade-off compared with substantially larger general-purpose models, thereby challenging the assumption that larger models are always preferable in industrial settings. The fourth is multi-agent orchestration: dependable automation is achieved by decomposing the process into narrowly scoped, auditable subtasks rather than through monolithic prompting (Khoee et al., 2025; Wang, Yu, et al., 2025).

The fifth and decisive pattern is feedback-driven iterative refinement. Generated artefacts are validated by compilers, static analysers or simulators, and the resulting diagnostics are fed back to the model for repair (Kirchner & Knoll, 2025; Lu et al., 2025). This generate–check–refine loop is the principal mechanism by which probabilistic generators are made compatible with deterministic engineering toolchains.

The positioning of these patterns within SIL and HIL environments is shown in Figure 1. In the SIL context, execution is inexpensive and reproducible, so iterative refinement loops can be run directly there; large numbers of candidate tests are generated and filtered according to criticality criteria. In the HIL context, owing to the hard real-time execution constraint, the literature converges on an offline-

generation/online-execution pattern: models operate outside the real-time loop and only validated artefacts are transferred to the real-time platform (Abboush, Hatahet, & Rausch, 2025). At this level, human approval is retained as a standard control gate (Zyberaj et al., 2026).

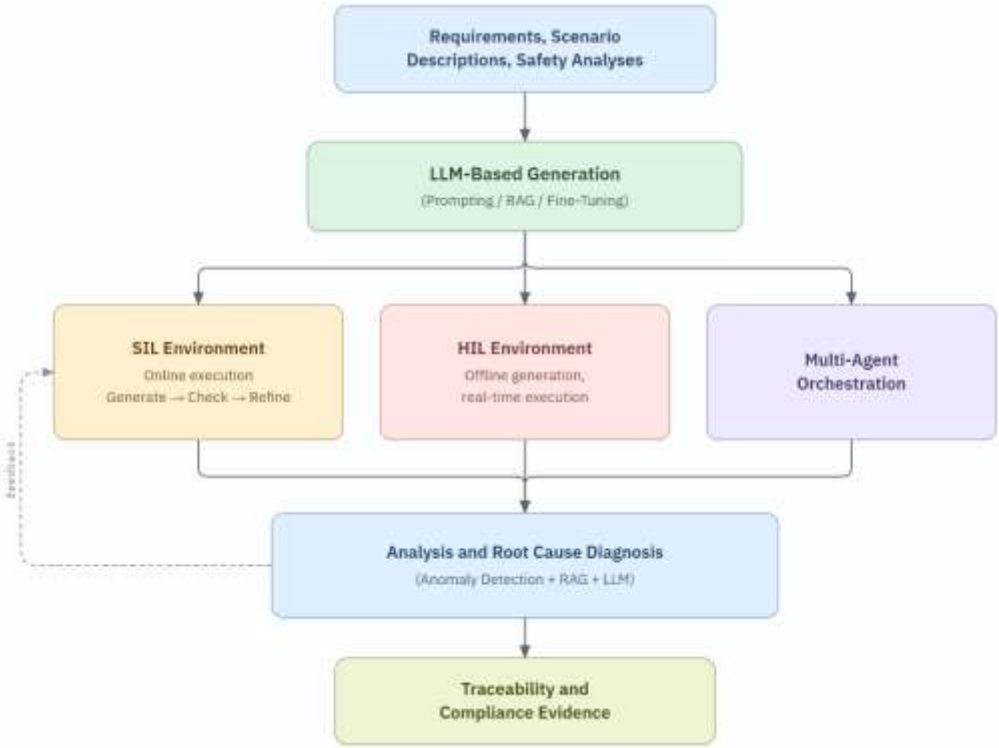


Figure 1. *Integration architecture of generative artificial intelligence into SIL and HIL toolchains*

Reported Contributions

The contributions reported by the reviewed studies fall into four dimensions, summarised in Table 2. In the efficiency dimension, requirement-to-test generation targets an effort pool measured in hundreds of thousands of engineering hours per vehicle programme; industrial deployments report approximately twofold acceleration of testing cycles (Soni, 2024) and a reduction of about 60% in testing time (Amazon Web Services, 2025).

In the coverage dimension, generative artificial intelligence extends into areas that manual processes systematically miss: rare scenarios, intelligently targeted fault spaces and integration-level tests derived from requirement clusters. Abboush, Ouarrad and Rausch (2026) reported detecting faults beyond predefined rules in HIL recordings with F1 scores in the range of 0.97–0.98.

In the quality dimension, generating artefacts from a single grounded context reduces the inconsistent test phrasing and requirement–test mapping errors that arise in multi-author manual processes. Explanation-generating analysis systems additionally improve the reviewability of verdicts and thereby support engineer trust (Ouarrad et al., 2026). In the compliance dimension, automated traceability and documentation generation shorten the path to demonstrating conformance with ISO 26262 and Automotive SPICE expectations (International Organization for Standardization, 2018; Verband der Automobilindustrie, 2023; Xue et al., 2026). It should be emphasised that current standards presume human-verifiable evidence; generative artificial intelligence therefore shortens the time required to reach assurance obligations rather than replacing them.

Table 2. *Summary of reported contributions across four dimensions*

Dimension	Reported finding	Source
Efficiency	Approximately twofold acceleration of testing cycles; about 60% reduction in testing time	Soni (2024); Amazon Web Services (2025)
Coverage	Detection of faults beyond predefined rules in HIL recordings at 0.97–0.98 F1	Abboush, Ouarrad, & Rausch (2026)
Quality	Improved consistency and reviewability through generation from a single grounded context	Ouarrad et al. (2026)
Compliance	Acceleration of traceability and audit evidence production	Xue et al. (2026)

CONCLUSION AND DISCUSSION

This study examined the role of generative artificial intelligence in automotive software verification and validation through a structured literature review. The findings show that applications are no longer a point tool but span the entire testing lifecycle: the range of use extends from requirement analysis to test code and scenario synthesis, from fault injection to result analysis and traceability support.

Technically, dependable deployments are seen to share a common architecture: grounded generation through prompting, retrieval or fine-tuning; decomposition of the process into auditable subtasks; and feedback-driven refinement against deterministic infrastructure. The distinguishing feature of this architecture is that a probabilistic generator is embedded within a deterministic engineering chain by means of control gates. Keeping models outside real-time loops in HIL environments is a direct consequence of the same logic.

Although the reported contributions are substantial, the limitations are equally clear. Generated code and scenarios still contain errors and omissions that require human repair (Lebioda et al., 2025). Probabilistic outputs complicate the reproducibility that is central to regulated V&V. The qualification of AI-based tools for safety-related development (tool confidence and ISO 26262 tool classification) remains largely unresolved. Furthermore, data confidentiality constrains the use of cloud-hosted models on proprietary vehicle data and brings domain-adapted compact models deployed on-premise to the fore (Feng et al., 2026).

This study itself carries certain limitations. The search was restricted to English-language publications and to specific databases; as the field is developing rapidly, the findings reflect a current snapshot. In addition, the performance values reported from industrial sources have not been independently reproduced and may reflect differing measurement conditions.

In the light of these results, the following recommendations can be made to practitioners: generative AI components should be positioned together with automated control gates that validate their output; they should be kept outside real-time and safety-critical loops; and where proprietary data is involved, domain-adapted compact models that can be deployed on-premise should be preferred. For researchers, the construction of standardised benchmark sets for automotive test generation, the development of hybrid approaches combined with formal methods, and the study of human–AI collaboration models that formalise rather than eliminate the reviewer role appear to be priority research directions.

REFERENCES

Abboush, M., Hatahet, A., & Rausch, A. (2025). LLMs-powered real-time fault injection: An approach toward intelligent fault test cases generation [Preprint]. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2511.19132

Abboush, M., Ouarrad, H., & Rausch, A. (2026). Fault detection and explainable classification in automotive HIL validation via denoising autoencoders and in-context large language models. In Proceedings of the 53rd International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE53). Retrieved from https://arxiv.org/abs/2607.03734

Amazon Web Services. (2024). Using generative AI to create test cases for software requirements [Blog post]. Retrieved from https://aws.amazon.com/blogs/industries/using-generative-ai-to-create-test-cases-for-software-requirements/

Amazon Web Services. (2025). How Schaeffler uses generative AI to accelerate automotive software testing [Blog post]. Retrieved from https://aws.amazon.com/blogs/industries/how-schaeffler-uses-generative-ai-to-accelerate-automotive-software-testing

Ayman, H., Sedik, M., Mostafa, K., Soliman, M., Saber, S., & Habib, I. (2026). Cluster-aware dual-level test specification generation for large-scale automotive software requirements [Preprint]. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2606.17197

Feng, C., Liu, Z., Gupta, S., Cui, G., von der Assen, J., & Stiller, B. (2026). Smarter, not bigger: Fine-tuned RAG-enhanced LLMs for automotive hardware-in-the-loop testing. In Proceedings of the 64th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Industry Track). Stroudsburg, PA: Association for Computational Linguistics.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 26262: Road vehicles Functional safety. Geneva, Switzerland: Author.

Khoee, A. G., Yu, Y., Feldt, R., Freimanis, A., Rhodin, P. A., & Parthasarathy, D. (2025). GoNoGo: An efficient LLM-based multi-agent system for streamlining automotive software release decision-making. In Testing software and systems: Lecture notes in computer science (Vol. 15383, pp. 30–45). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-031-80889-0_3

Kirchner, S., & Knoll, A. C. (2025). Generating automotive code: Large language models for software development and verification in safety-critical systems. In Proceedings of the 36th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 813–820). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/IV64158.2025.11097503

Lebioda, K., Petrovic, N., Pan, F., Zolfaghari, V., Schamschurko, A., & Knoll, A. (2025). Are requirements really all you need? A case study of LLM-driven configuration code generation for automotive simulations [Preprint]. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2505.13263

Lu, Q., Wang, X., Jiang, Y., Zhao, G., Ma, M., & Feng, S. (2025). OmniTester: Multimodal large language model driven scenario testing for autonomous vehicles. Automotive Innovation, 8, 838–852. doi:10.1007/s42154-025-00364-w

Ouarrad, H., Abboush, M., & Rausch, A. (2026). Knowledge-graph-guided retrieval-augmented LLMs for explainable root cause analysis in automotive HiL validation. In Proceedings of the 10th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS). Retrieved from https://arxiv.org/abs/2608.11277

Pan, F., Song, Y., Wen, L., Petrovic, N., Lebioda, K., & Knoll, A. (2025). Automating automotive software development: A synergy of generative AI and model-based methods [Preprint]. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2505.02500

Petrovic, N., Lebioda, K., Zolfaghari, V., Schamschurko, A., Kirchner, S., Purschke, N., . . . Knoll, A. (2024). LLM-driven testing for autonomous driving scenarios. In Proceedings of the 2nd International Conference on Foundation and Large Language Models (FLLM) (pp. 173–178). Piscataway, NJ: IEEE.

Schäfer, M., Nadi, S., Eghbali, A., & Tip, F. (2024). An empirical evaluation of using large language models for automated unit test generation. IEEE Transactions on Software Engineering, 50(1), 85–105.

Soni, R. (2024). Spotlight: TCS increases automotive software testing speeds by 2x using NVIDIA generative AI [Blog post]. Retrieved from https://developer.nvidia.com/blog/spotlight-tcs-increases-automotive-software-testing-speeds-by-2x-using-nvidia-generative-ai

Verband der Automobilindustrie. (2023). Automotive SPICE process assessment and reference model (Version 4.0). Berlin, Germany: VDA QMC.

Wang, J., Huang, Y., Chen, C., Liu, Z., Wang, S., & Wang, Q. (2024). Software testing with large language models: Survey, landscape, and vision. IEEE Transactions on Software Engineering, 50(4), 911–936.

Wang, S., Yu, Y., Feldt, R., & Parthasarathy, D. (2025). Automating a complete software test process using LLMs: An automotive case study. In Proceedings of the IEEE/ACM 47th International Conference on Software Engineering (ICSE) (pp. 373–384). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/ICSE55347.2025.00211

Xue, Z., Chen, X., & Zhang, M. (2026). Explicating tacit regulatory knowledge from LLMs to auto-formalize requirements for compliance test case generation [Preprint]. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2601.09762

Yuan, Z., Liu, M., Ding, S., Wang, K., Chen, Y., Peng, X., & Lou, Y. (2024). Evaluating and improving ChatGPT for unit test generation. Proceedings of the ACM on Software Engineering, 1(FSE), 1703–1726.

Zyberaj, D., Vintonyak, R., Hirmer, P., & Aiello, M. (2026). A fully automated, deployment-aware testing pipeline for IoT-based automotive applications. In Proceedings of the International Conference on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDS). Retrieved from https://arxiv.org/abs/2608.19752

Otomotiv Endüstrisinde Kuantum Hesaplama: Mevcut Uygulamalar, Fırsatlar ve Gelecek Vizyonu

Melek Tuğçe ÇÜÇEN İLGÜY[1]

[1]E-posta: melek.tugcecucen@tofas.com.tr; TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., R&D, İzmir / Türkiye

Özet

Otomotiv sektörü elektrikli araçlar, otonom sürüş ve bağlantılı araç teknolojileriyle hızlı bir değişim içindedir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi, devasa veri kümelerinin analizini ve bataryalar için moleküler ölçekte karmaşık kimyasal problemlerin çözülmesini gerektirmektedir. Klasik yüksek başarımlı hesaplama sistemleri, üstel biçimde büyüyen bu problemler karşısında giderek yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma, kuantum hesaplamanın otomotiv sektöründeki güncel uygulamalarını bir derleme yaklaşımıyla incelemekte; batarya simülasyonu, gerçek zamanlı trafik optimizasyonu, üretim/tasarım süreçleri ve bağlantılı araç siber güvenliği olmak üzere dört ana alana odaklanmaktadır. Volkswagen'in Lizbon'da dokuz otobüsü gerçek zamanlı yönlendirdiği trafik pilotu ile Ford Otosan'ın üretim hattında kullandığı hibrit-kuantum uygulaması saha örneği olarak incelenmiştir. NIST'in 2024'te yayımladığı kuantum sonrası kriptografi standartları ve araçlarda bu geçişin önündeki engeller de tartışılmıştır. Bulgular, bugünkü faydanın hibrit yöntemlerde toplandığını, daha büyük kazanımların ise hata düzeltmeli donanımı beklediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Batarya simülasyonu, hibrit mimari, kuantum hesaplama, kuantum sonrası kriptografi, otomotiv endüstrisi

Abstract

The automotive sector is undergoing rapid change with electric vehicles, autonomous driving, and connected vehicle technologies. Developing these technologies requires analyzing very large datasets and solving complex chemical problems at the molecular scale for batteries. Classical high-performance computing systems are increasingly insufficient in the face of these exponentially growing problems. This study reviews the current applications of quantum computing in the automotive sector, focusing on four main areas: battery simulation, real-time traffic optimization, manufacturing and design processes, and connected-vehicle cybersecurity. Volkswagen's traffic pilot in Lisbon, which routed nine buses in real time, and Ford Otosan's hybrid-quantum application on the production line are examined as field cases. The post-quantum cryptography standards published by NIST in 2024 and the barriers to this migration in vehicles are also discussed. The findings show that today's benefit is concentrated in hybrid methods, while larger gains await error-corrected hardware.

Keywords: Automotive industry, battery simulation, hybrid architecture, post-quantum cryptography, quantum computing

KISALTMALAR

Kısaltma	Açıklama
CASE	Connected, Autonomous, Shared, Electric – Bağlantılı, Otonom, Paylaşımlı ve Elektrikli araç dönüşümü
EV	Electric Vehicle – Elektrikli Araç
BEV	Battery Electric Vehicle – Bataryalı Elektrikli Araç
HPC	High-Performance Computing – Yüksek Başarımlı Hesaplama
NISQ	Noisy Intermediate-Scale Quantum – Gürültülü Orta Ölçekli Kuantum
Kübit	Quantum Bit – Kuantum bilgisayarların temel bilgi birimi
QPU	Quantum Processing Unit – Kuantum İşlem Birimi
CPU	Central Processing Unit – Merkezi İşlem Birimi
GPU	Graphics Processing Unit – Grafik İşlem Birimi
VQE	Variational Quantum Eigensolver – Değişimsel Kuantum Özdeğer Çözücü
QAOA	Quantum Approximate Optimization Algorithm – Kuantum Yaklaşık Optimizasyon Algoritması
QUBO	Quadratic Unconstrained Binary Optimization – Kısıtsız İkili Kuadratik Optimizasyon
QEC	Quantum Error Correction – Kuantum Hata Düzeltme
TSP	Traveling Salesperson Problem – Gezgin Satıcı Problemi
CFD	Computational Fluid Dynamics – Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
V2X	Vehicle-to-Everything – Araçtan Her Şeye (araç-araç/altyapı haberleşmesi)
OTA	Over-the-Air – Uzaktan/Kablosuz Yazılım Güncellemesi
ECU	Electronic Control Unit – Elektronik Kontrol Ünitesi
RSA	Rivest–Shamir–Adleman – Asimetrik şifreleme algoritması
ECC	Elliptic Curve Cryptography – Eliptik Eğri Kriptografisi

Kısaltma	Açıklama
PQC	Post-Quantum Cryptography – Kuantum Sonrası Kriptografi
CAGR	Compound Annual Growth Rate – Bileşik Yıllık Büyüme Oranı
OEM	Original Equipment Manufacturer – Orijinal Ekipman Üreticisi (ana araç üreticileri)
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme (İng. R&D)
AWS	Amazon Web Services – Amazon bulut bilişim platformu
TUM	Technical University of Munich – Münih Teknik Üniversitesi
GPS	Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi

GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi; elektrikli araçlar (EV), otonom sürüş sistemleri ve bağlantılı akıllı şehir ekosistemlerinin yükselişiyle tarihinin en köklü dönüşümlerinden birini yaşamaktadır. Sektörün geldiği bu aşama literatürde çoğu zaman CASE (Connected, Autonomous, Shared, Electric) kısaltmasıyla ifade edilmektedir. Araçlar bugün onlarca sensör, sürüş yardım sistemi ve yazılım katmanı taşımakta ve sürekli veri üretmektedir. Çok sayıda OEM ve birinci kademe tedarikçi, rota optimizasyonu, yakıt hücresi optimizasyonu ve malzeme dayanıklılığı gibi problemler için kuantum hesaplamayı incelemeye başlamıştır (Burkacky et al., 2020). Bu dönüşüm, beraberinde geleneksel hesaplama altyapılarının sınırlarını zorlayan devasa bir hesaplama yükü getirmektedir: yeni nesil piller için moleküler ölçekte kimyasal reaksiyonların çözülmesi, binlerce otonom aracın gerçek zamanlı rotalanması ve fabrikaların dijital ikizler üzerinde modellenmesi bunların başında gelmektedir (Gao et al., 2023).

Bu problemlerin ortak paydası, olası çözüm uzayının değişken sayısıyla birlikte üstel olarak büyümesidir. Örneğin bir molekülün elektronik yapısını klasik yöntemlerle tam olarak çözmek, sistemdeki elektron sayısı arttıkça pratikte olanaksız hâle gelmektedir; benzer şekilde çok sayıda aracın birbirini etkilediği bir trafik ağının global optimizasyonu, kombinatoryal patlama (combinatorial explosion) nedeniyle NP-zor sınıfına girmektedir. Günümüzün en güçlü klasik süper bilgisayarları (HPC) dahi bu tür problemleri makul sürelerde çözmekte yetersiz kalmaktadır; molekül davranışını klasik algoritmalarla doğru biçimde simüle etmek hesaplama açısından çok maliyetlidir (Luckow et al., 2021).

Kuantum hesaplama, belirli bir problem sınıfı için klasik süper bilgisayarlara göre işlem gücünde üstel bir hızlanma sunmaktadır. Bu üstel hızlanma, kuantum bilgisayara eklenen her bir kübitin işlem gücünü iki katına çıkardığı anlamına gelir. Oysa klasik bir süper bilgisayarda aynı artış için sistem boyutunun iki katına çıkarılması gerekir (Samsonidze, 2021). Birkaç OEM ve tedarikçi ilk pilot kullanım senaryolarına geçmiş durumdadır. McKinsey 2020'de, incelenen tüm kuantum hesaplama kullanım senaryolarının onda birinin otomotiv sektörüne fayda sağlayabileceğini ve sektörün teknolojinin başlıca değer havuzlarından biri olacağını öngörmüş; 2025'e doğru belirgin bir etki, 2030'a kadar ise 2-3 milyar

dolarlık bir ekonomik etki beklemiştir. Erken dönemdeki değerin büyük bölümünün, otonom araç navigasyon algoritmalarında öğrenmeyi hızlandırmak üzere büyük veri kümelerinin işlenmesi de dâhil olmak üzere karmaşık optimizasyon problemlerinden gelmesi beklenmiş; ilerleyen yıllarda araç rotalama ve rota optimizasyonu, malzeme ve süreç araştırmaları ile bağlantılı sürüşün güvenliği etkilenecek alanlar arasında sayılmıştır (Burkacky et al., 2020).

Bu çalışmanın amacı, kuantum hesaplamanın otomotiv sektöründeki güncel durumunu, ağır matematiksel formalizasyonlara girmeden küresel endüstri uygulamaları üzerinden derlemektir. Çalışma; batarya ve malzeme simülasyonu, gerçek zamanlı trafik/rota optimizasyonu, üretim ve tasarım süreçleri ile bağlantılı araç siber güvenliği olmak üzere dört ana odak alanını ele almaktadır. Ayrıca teknolojinin donanım gürültüsü ve hata düzeltme gibi mevcut kısıtları ile sektörün bu engelleri aşmak için benimsediği hibrit kuantum-klasik mimariler incelenerek gelecek projeksiyonu ortaya konmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımlarından derleme (state-of-the-art review) yöntemiyle yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, kuantum hesaplamanın otomotiv sektöründeki uygulamalarına ilişkin mevcut bilgi birikimini bütünsel biçimde bir araya getirmek ve sınıflandırmaktır. Bu kapsamda veri kaynağı olarak; otomotiv üreticilerinin (BMW, Volkswagen, Hyundai) yayımladığı teknik raporlar ve basın açıklamaları, kuantum donanım firmalarının (D-Wave, IonQ, QuEra) belgeleri, danışmanlık kuruluşlarının (McKinsey) sektör analizleri, pazar araştırma raporları ile hakemli akademik yayınlar kullanılmıştır.

Elde edilen kaynaklar dört tematik uygulama alanı altında çözümlenmiştir: (1) batarya ve malzeme simülasyonu, (2) trafik ve rota optimizasyonu, (3) üretim ve tasarım süreçleri, (4) siber güvenlik. Her alan için çözülmek istenen endüstriyel problem, uygulanan kuantum yaklaşımı ve öne çıkan saha örnekleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir. Çalışmada teknik derinlikten çok, teknolojinin sektörel görünümünü ve uygulanabilirlik düzeyini ortaya koymak amaçlanmıştır.

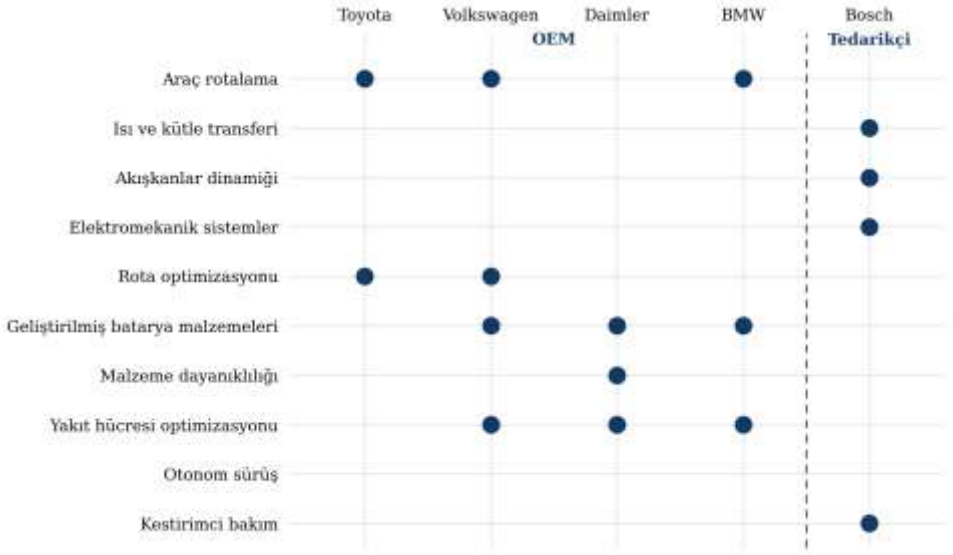
BULGULAR

Kuantum hesaplamanın otomotivdeki kullanımı, teorik bir araştırma konusu olmaktan çıkarak somut mühendislik problemlerine yönelmiştir. Klasik sistemlerin yetersiz kaldığı kritik alanlarda üreticiler (OEM'ler), kuantum algoritmalarını pilot projeler ve konsorsiyumlar aracılığıyla sahaya taşımaktadır (Arshad & Lodi, 2025; Kessel, 2021). Tablo 1, sektördeki temel kullanım senaryolarını, çözülmek istenen problemi, kuantum yaklaşımını ve öne çıkan küresel örnekleri özetlemektedir.

Tablo 1. *Otomotiv endüstrisinde kuantum hesaplama uygulamaları ve küresel örnekler*

Ana Odak Alanı	Endüstriyel Problem	Kuantum Yaklaşımı ve Avantajı	Öne Çıkan Projeler
Batarya ve Malzeme Simülasyonu	Lityum esaslı hücrelerde moleküler yapı ve etkileşimlerin klasik yöntemlerle maliyetli modellenmesi	Temel durum enerjisinin VQE ile, klasik optimize edici ve kuantum bilgisayar birlikte kullanılarak kestirilmesi	Hyundai & IonQ (IonQ & Hyundai, 2022); Ford & Quantinuum (Fuld & Company, 2026)
Rota ve Trafik Optimizasyonu	Filolar ve talebe bağlı mobilite için optimal rotaların bulunması	Rota problemlerinin QUBO olarak formüle edilip kuantum tavlama ile çözülmesi	Volkswagen Lizbon pilotu (Burkacky et al., 2020; Yarkoni et al., 2020)
Üretim, Robotik ve Çizelgeleme	Robot yol planlaması ve yüksek varyantlı hatlarda araç sıralaması	TSP'nin QUBO'ya, SAT türü konfigürasyon problemlerinin PUBO'ya eşlenmesi; araç sıralamasında hibrit tavlama	Ford Otosan & D-Wave (Mordor Intelligence, 2025); BMW referans problemleri (Luckow et al., 2021)
Tasarım ve Dijital İkizler	Şekillendirme davranışı ve ekipman performansının fiziksel testlerle zaman alıcı biçimde ölçülmesi	Kuantum destekli çözücüler ve simülasyon/süreç içgörüsü için dijital ikizler	BMW & Pasqal (Fuld & Company, 2026); tedarikçi dijital ikiz ortaklığı (Gao et al., 2023)

Bu alanların şirketlere dağılımı Şekil 1'de görülmektedir. OEM'ler arasında Toyota, Volkswagen ve BMW araç rotalamada yer alırken; Toyota ve Volkswagen rota optimizasyonunda, Volkswagen, Daimler ve BMW ise geliştirilmiş batarya malzemeleri ve yakıt hücresi optimizasyonunda yoğunlaşmaktadır. Malzeme dayanıklılığı yalnızca Daimler ile eşleşmektedir. Örneklemdeki tedarikçi olan Bosch ise ısı ve kütle transferi, akışkanlar dinamiği ve elektromekanik sistemler gibi simülasyon ağırlıklı alanlarda ve kestirimci bakımda konumlanmaktadır. Otonom sürüş bir uygulama alanı olarak listelenmekle birlikte bu haritada hiçbir şirketle eşleşmemektedir. Şekil, OEM'lerin ve tedarikçilerin kuantum hesaplamaya farklı problem kümeleri üzerinden yaklaştığını göstermektedir.



Şekil 1. Otomotiv sektöründe kuantum hesaplama uygulamaları. *Burkacky et al. (2020) verilerinden uyarlanmıştır.*

1.Yeni Nesil EV Batarya ve Malzeme Simülasyonları

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki başlıca engellerinden bazıları sınırlı menzil, uzun şarj süresi ve batarya ömrüdür. Sektör bu sorunları aşmak için daha iyi enerji yoğunluğu, ağırlık ve güvenlik sunan batarya malzemelerini araştırmaktadır. Lityum metal anotlar enerji yoğunluğunu belirgin şekilde artırabilir; ancak henüz endüstriyel ölçekte bulunmayan farklı türde elektrolitler gerektirirler (Luckow et al., 2021).

Bu malzemelerin sanal ortamda modellenmesi klasik bilgisayarlar için büyük bir zorluktur; çünkü moleküler düzeydeki elektron etkileşimlerini (Schrödinger denklemini) tam olarak çözmek, sistem büyüdükçe klasik işlem kapasitesini aşmaktadır. Doğası gereği kuantum mekaniğiyle işleyen kuantum bilgisayarlar ise moleküler sistemleri kendi doğal dinamikleriyle temsil edebilmektedir. VQE algoritması kullanılarak bir molekülün temel durum enerjisi, dolayısıyla kimyasal kararlılığı ve reaksiyon davranışı, klasik bir optimize edici ile kuantum bilgisayarın birlikte kullanılmasıyla kestirilebilmektedir (Luckow et al., 2021). Aradaki farkın ölçeği tek bir molekül üzerinden görülebilir: kafein gibi görece basit bir molekülün tam kuantum mekanik tanımı klasik bir bilgisayarda 10^{48} bit gerektirirken, bir kuantum bilgisayarda yaklaşık 160 kübit yeterli olmaktadır; 10^{48} sayısı gezegenimizdeki atom sayısının yaklaşık yüzde onu kadardır (Samsonidze, 2021).

Sektörel bir örnek olarak, Ocak 2022'de tuzaklanmış-iyon (trapped-ion) teknolojisinde uzmanlaşmış IonQ ile Hyundai Motor Company, batarya kimyasını incelemek üzere yeni VQE algoritmaları geliştirmek için ortaklık kurmuştur. Proje, lityum oksit bileşiklerinin yapısını ve enerjisini simüle etmeyi hedeflemiş; tarafların açıklamasına göre kübit ve kuantum kapı sayısı bakımından o güne dek bir kuantum bilgisayarda çalıştırılan en kapsamlı batarya kimyası modeli olmayı amaçlamıştır (IonQ & Hyundai, 2022). Amaç; şarj-deşarj döngülerini, dayanıklılığı, kapasiteyi ve güvenliği iyileştirmektir.

Benzer iş birlikleri son yıllarda hızla çeşitlenmiştir. Mercedes-Benz Research, Google'ın Sycamore işlemcisiyle yürütülen kimya deneylerinin ortak yürütücüleri arasında yer almıştır. Bu çalışma hidrojen zincirlerinin bağlanma enerjisini ve diazenin izomerizasyonunu modellemiş; önceki en büyük deneylerin iki katı kübit ve on katından fazla kapı kullanmıştır (Google AI Quantum and Collaborators, 2020). 2022'de Ford ile Quantinuum, EV malzeme araştırmaları kapsamında lityum-iyon batarya kimyasını incelemek için InQuanto platformunu ve hibrit bir VQE yaklaşımını kullanmıştır (Fuld & Company, 2026). Çalışma, klasik süper bilgisayar modellerinin yakınsayamadığı kararlı faz kombinasyonlarını ortaya çıkarmıştır (Mordor Intelligence, 2025).

2.Otonom Sürüş ve Gerçek Zamanlı Rota Optimizasyonu

Bağlantılı ve otonom araçlar büyük bir gerçek zamanlı optimizasyon problemi doğurmaktadır. Otomatik sürüş ve talebe bağlı mobilitede optimal yolların bulunması kritik bir konudur; bir nokta kümesi üzerinde mümkün olan en kısa rotanın aranmasını gerektiren problemler kuantum algoritmalarıyla ele alınabilmektedir (Luckow et al., 2021). Şehir ölçeğinde bir filoda zorluk yalnızca tek bir aracın rotası değildir. Şehrin farklı bölgelerinde eş zamanlı çalışan araçlara çoğu kez kısmen örtüşen rotalar atanmakta ve tıkanıklığı sınırlamak için bu örtüşmenin optimizasyonla giderilmesi gerekmektedir (Yarkoni et al., 2020).

Quantum Shuttle servisi bu problemi bir QUBO olarak formüle etmiştir. Her ikili değişken, belirli bir aracın belirli bir rotayı seçmesini kodlamakta; amaç fonksiyonu seçilen rotaların paylaştığı GPS noktalarını cezalandırmaktadır. Böylece optimum çözüm, filo genelinde en az örtüşen rota kümesi olmaktadır. QUBO problemleri Ising Hamiltonyenlerinin minimize edilmesine denktir ve en kötü durumda NP-zordur; tavlama işlemcileri bu Hamiltonyenleri doğrudan temsil edebildiğinden, söz konusu problemin sezgisel optimizasyonu için elverişli bir araçtır (Yarkoni et al., 2020).

Volkswagen servisi 4-7 Kasım 2019 tarihlerinde Lizbon'daki Web Summit konferansı boyunca işletmiş; Lizbon toplu taşıma idaresi Carris'e ait dokuz otobüsü konferans merkezi ile şehir merkezi arasında yönlendirmiştir. Pilot iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada veri bilimi teknikleriyle önceki konferanslardaki insan hareketleri analiz edilerek şehir genelinde geçici yeni otobüs hatları oluşturulmuştur. İkinci aşamada otobüslere kurulan özel bir Android navigasyon uygulaması canlı trafik verisine ve bir D-Wave kuantum işlem birimine bağlanarak rotaları gerçek zamanlı optimize etmiştir (Yarkoni et al., 2020).

Canlı çalıştırmada D-Wave'in Hybrid Solver Service'i kullanılmıştır. Dört gün boyunca sistem 1.275 optimizasyon problemini ortalama 4,69 saniyede çözmüş ve kuantum işlemciye yapılan çağrıların tamamı başarıyla tamamlanmıştır. Ölçek ise sınırlı kalmıştır: doğrudan gömme yaklaşımı geliştirme denemelerinde en fazla 10 araç ve araç başına beş rota için uygun bulunmuş, problem büyüdükçe çözüm kalitesi bozulmuştur (Yarkoni et al., 2020).

3.Üretim, Robotik ve Dijital İkizler

Kuantum hesaplama yalnızca aracın içindeki teknolojiyi değil, aracın nasıl üretildiğini de etkilemektedir. Tipik bir üretici günde on binlerce araç üretmekte, yüksek varyant sayısı ise karmaşıklığı

benzeri görülmemiş ölçeklere taşımaktadır. Tek bir tesiste, özellikle gövde ve boya atölyelerinde yüzlerce robot işi daha kısa sürede ve yüksek kalitede yapmak için çalışmaktadır. (Luckow et al., 2021).

BMW Group kuantum ekibi, bu çalışmaları yönlendirmek için endüstriyel referans problemleri tanımlamış ve bunlardan ikisini ayrıntılı olarak açıklamıştır. Birincisi robot yol optimizasyonudur: araç alt yapısındaki kaynak dikişlerinin kapatılması bir gezgin satıcı problemi olarak formüle edilip QUBO'ya eşlenir; N dikiş için $2 \times N^2$ ikili değişken gerekir ve problem kuantum tavlama ya da QAOA ile çözülebilir. İkincisi araç konfigürasyon optimizasyonudur; yeni geliştirilen bileşenlerin test araçlarına dağıtılmasını kapsar, boolean sağlanabilirlik (SAT) problemleri sınıfına girer ve PUBO olarak formüle edilir. Aynı ekip otomotiv değer zinciri boyunca ondan fazla uygulama senaryosu ve kırktan fazla kullanım durumu tanımlamaktadır (Luckow et al., 2021).

Tasarım tarafında çarpışma simülasyonu ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), diferansiyel denklem kümelerinin çözüldüğü sayısal simülasyon alanına girmektedir (Luckow et al., 2021). Küresel ölçekte önde gelen bir otomotiv tedarikçisi, ekipman performansı ve üretim süreçleri hakkında daha derin içgörü sağlayacak dijital ikizler oluşturmak için bir kuantum hesaplama firmasıyla ortaklık kurmuştur; bu, israfın ve enerji kullanımının azaltılmasına da katkı sağlayabilir (Gao et al., 2023). BMW 2024'te, sac-metal biçimlendirme ve çarpışma güvenliği simülasyonlarını iyileştirmek amacıyla metal şekillendirme davranışını simüle etmek üzere Fransız kuantum firması Pasqal ile kuantum-destekli çözücüler kullanmıştır (Fuld & Company, 2026).

Üretim optimizasyonu, kuantum hesaplamanın gerçek üretim ortamına en yakın taşındığı alanlardan biridir. Volkswagen 2021'de boya atölyesinde kuantum destekli algoritmalar çalıştırarak araçları astar ve renge göre gruplamış; aynı astara sahip ardışık araç sayısını artırıp renk değişim duraklarını azaltmıştır (Fuld & Company, 2026). BMW'nin bir üretim planlama modeli, bir milyon değişkenli kısıt kümesini D-Wave hibrit tavlayıcıya devrederek döngü süresini %15 azaltmıştır (Mordor Intelligence, 2025). Türkiye açısından dikkat çekici bir örnek olarak, Ford ile Koç Holding'in ortak girişimi Ford Otosan, Mart 2025'te Ford Transit araçlarının üretim süreçlerini optimize eden hibrit-kuantum bir uygulamayı D-Wave iş birliğiyle üretim ortamında devreye almıştır (Mordor Intelligence, 2025). Çözücü, tek seferde yaklaşık 1.000 aracın sıralamasını optimize etmekte ve çizelgeleme süresini yaklaşık 30 dakikadan beş dakikanın altına indirmiştir (Fuld & Company, 2026).

4.Bağlantılı Araçlarda Kuantum Siber Güvenlik

Araçlar internete, bulut altyapılarına ve çevrelerindeki diğer araçlara (V2X) sürekli bağlıdır; bu da otomotiv siber güvenliğini merkezi bir konu hâline getirmektedir. Lohmiller et al. (2025) kriptografinin hem araç içi haberleşmede hem de altyapı ve dış servislerle kurulan iletişimde kullanıldığını belirterek üç alanı incelemektedir: araç içi ağ, OEM'e özgü iletişim ve V2X iletişimi.

Kuantum hesaplama Ar-Ge tarafında fırsat sunmakla birlikte, sektördeki fikri mülkiyeti koruyan şifreleme algoritmaları için tehdit oluşturmaktadır; otonom araçların saldırılara karşı korunması yolcu güvenliği açısından kritik hâle gelmektedir (Utimaco, 2023).

Shor algoritması, mevcut asimetrik kriptografinin kuantum bilgisayarlarla kırılabileceğini göstermektedir. Algoritmanın RSA ve eliptik eğriler gibi asimetrik yöntemler üzerindeki etkisi ağırdır;

çünkü bu yöntemlerin temelini oluşturan tam sayı çarpanlara ayırma ve ayrık logaritma problemlerini verimli biçimde çözmektedir (Lohmiller et al., 2025). "Şimdi çal, sonra çöz" (steal now, decrypt later) türü bir saldırının gerçek zamanlı güvenlik üzerinde doğrudan etkisi yoktur; ancak bugün şifreli olarak ele geçirilen veri ilerideki bir tarihte bir kuantum bilgisayarla çözülebilir. Bu veri 10 ila 12 yıl saklanırsa hâlâ kullanımda olan kriptografik anahtarları içerebilir; bu nedenle hassas veri işleyen kurumların PQC geçişine bugünden öncelik vermesi gerekmektedir (Utimaco, 2023).

Bu tehdide karşı verilen yanıt, klasik donanımlarda çalışabilen ancak kuantum saldırılarına dirençli algoritmaları ifade eden Kuantum Sonrası Kriptografi'dir (PQC) (Utimaco, 2023). NIST, 13 Ağustos 2024'te CRYSTALS-Kyber, CRYSTALS-Dilithium ve SPHINCS+ algoritmalarını nihai standart olarak yayımlamıştır (Lohmiller et al., 2025). Bu algoritmalar açık anahtarlı şifreleme için ML-KEM (FIPS 203), dijital imza için ML-DSA (FIPS 204) ve SLH-DSA (FIPS 205) adlarıyla standartlaştırılmıştır (NIST, 2024). Standartlaştırma sürecinin kendisi sekiz yıl sürmüş, gerçek uygulamalarda hayata geçirilmesi ise yıllar almaktadır; otomotiv gibi sıkı düzenlenen bir sektörde PQC geçişi yavaş ilerleyen bir süreçtir (Lohmiller et al., 2025).

Otomotiv alanındaki engeller somuttur. Mevcut güvenlik standartları kriptografik çeviklik konusunda sınırlı destek sunmakta ya da hiç sunmamaktadır: ISO 15118 yalnızca TLS 1.2 belirtmekte, AUTOSAR'ın Güvenli Araç İçi İletişim (SecOC) mimarisinin kuantum-güvenli bir spesifikasyonu bulunmamakta, ETSI TS 103 097 ve IEEE 1609.2 ise eliptik eğrilere bağlı kalmaktadır; bu yüzden üreticiler uyumluluğu bozmadan başka algoritma kullanamamaktadır. Bu standartların çoğu NIST aday algoritmaları duyurmadan önce yayımlanmıştır ve bir standardın yeni sürümünün tanımlanması yedi yılı bulabilmekte, bu süre boyunca önceki sürüm geçerliliğini korumaktadır (Lohmiller et al., 2025).

Donanım kısıtları sorunu derinleştirmektedir. ECU'lar çoğu kez 32 bitlik mikrodenetleyicilerden oluşmaktadır ve bir otomotiv işlemcisi üzerinde yapılan ölçümler, Dilithium ile imza doğrulamanın klasik asimetrik kriptografiye göre beş ila on kat daha yavaş olduğunu göstermektedir; bu da uygulamaları zaman gereksinimlerinin dışına çıkarabilmektedir. PQC ile uyumsuz veri yollarına sahip eski araçlar ise basitçe yükseltilememektedir. Lohmiller et al., (2025) otomotiv ortamında on altı araştırma boşluğu tanımlamakta ve henüz hiçbir çalışmanın PQC'yi gerçek bir araçta uygulamadığını belirtmektedir. Üreticiler tasarım aşamasında yirmi yıl sonra hâlâ güvenli olacak algoritmalara karar vermek zorunda olduğundan, PQC'yi mümkün olan en erken aşamada devreye almak pratik sonuç olmaktadır (Lohmiller et al., 2025).

5.Mevcut Kısıtlar ve Gelecek Projeksiyonu

Geniş çaplı ticari kullanımın önünde ciddi mühendislik engelleri bulunmaktadır. İçinde bulunulan NISQ çağının işlemcileri dış etkenlere karşı son derece hassastır; kübitler kuantum durumlarını çok kısa sürede kaybetmektedir. Eşevrelilik (coherence) ve ölçüm hataları da kuantum sistemlerinin karşılaştırılmasını ve güvenilir kullanımını zorlaştıran hata türleri arasındadır (Luckow et al., 2021). Klasik bilgisayarlardaki basit bit kopyalama temelli hata düzeltme yöntemleri, kuantum durumlarının kopyalanamaması (no-cloning teoremi) nedeniyle burada geçerli değildir; bu nedenle Kuantum Hata Düzeltme, tek bir mantıksal kübiti korumak için çok sayıda fiziksel kübit gerektirmektedir. Hata azaltma

için gereken donanım yedekliliği hesaba katıldığında, kuantum bilgisayarların geniş bir uygulama yelpazesi için uygun hâle gelmesi bir milyon kübit seviyesine ulaşmalarını gerektirmektedir; bu eşiğin on yıl veya daha uzun bir sürede aşılabileceği belirtilmektedir (Samsonidze, 2021).

Sektörel analizler bu teknik engellere yapısal olanları da eklemektedir. Kuantum algoritmalarındaki ilerleme beklenenden yavaş seyrederken klasik taraf daha hızlı GPU'lar ve gelişen yapay zekâ yöntemleriyle ilerlemeyi sürdürmekte; bu da net bir kuantum üstünlüğünü kanıtlamayı zorlaştırmaktadır. Kuantum eğitimli mühendis, algoritma geliştirici ve fizikçi sayısındaki ciddi kıtlık, otomotiv şirketlerini aynı dar yetenek havuzu için diğer sektörlerle rekabete zorlamaktadır. Şirket içi kuantum donanımı pahalıdır ve bulut erişimi gecikme, fikri mülkiyet ve güvenilirlik kaygıları taşımaktadır; bu nedenle birçok kullanım senaryosu teknoloji olgunlaşana kadar pozitif getiri sağlamayabilir (Fuld & Company, 2026).

Aynı analiz üç aşamalı bir yol haritası önermektedir. 2026-2027 döneminde değerin, üretim çizelgeleme, boya atölyesi sıralaması ve tedarik zinciri rotalama gibi problemlerde hibrit kuantum-klasik algoritmalardan gelmesi beklenmektedir; bu aşama donanım sahipliğinden çok kurum içi yetkinlik inşasına ve kuantum sonrası kriptografi denetimlerine odaklanmaktadır. 2028-2030 döneminde donanım ve hata azaltma geliştikçe batarya kimyası, malzeme keşfi ve aerodinamik simülasyonların ticari olarak anlamlı hâle gelmesi beklenmektedir. 2031-2035 dönemi ise hata-toleranslı makinelerin gelişine bağlıdır; katı hâl batarya elektrolitlerinin tam ölçekli simülasyonu ve otonom sürüş iş yükleri için kuantum destekli yapay zekâ eğitimi bu aşamada beklenen uygulamalar arasındadır (Fuld & Company, 2026).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Otomotiv endüstrisinin elektrikli, otonom ve bağlantılı (CASE) araçlara doğru evrimi, çözülmesi gereken simülasyon ve optimizasyon problemlerini klasik yüksek başarımlı hesaplama sistemlerinin kapasitesinin ötesine taşımıştır. Bu derlemede incelendiği üzere kuantum hesaplama, otomotiv değer zincirinin çeşitli halkalarında uygulanmaktadır: batarya malzemelerinin moleküler simülasyonu, gerçek zamanlı trafik ağlarının optimizasyonu, üretim hatlarında robot yol planlaması ve araç sıralaması ile araç kriptografisinin kuantum-güvenli algoritmalara geçirilmesi.

Elde edilen bulgular, teknolojinin yalnızca aracın performansını değil, aynı zamanda üretim süreçlerini ve güvenlik mimarisini de etkilediğini göstermektedir. Aynı algoritmik güç, araç siber güvenliği açısından bir risk de doğurmaktadır. Araçlar uzun süre hizmette kaldığından, üreticilerin kriptografik çeviklik ilkesiyle bugünden PQC standartlarına hazırlanması gerekmektedir (Utimaco, 2023; Lohmiller et al., 2025). Lohmiller et al. (2025), araçlarda PQC entegrasyonunun oldukça yavaş ilerlediğini ve mevcut çalışmaların gerçek otomotiv ortamlarındaki pratik uygulamalarla örtüşmediğini raporlamaktadır.

Buna karşın hibrit kuantum-klasik projeler ilk somut sonuçlarını vermeye başlamıştır; Ford Otosan'ın araç sıralama uygulaması üretim ortamında çalışmakta, BMW ve Volkswagen'in çalışmaları ise pilot ve modelleme aşamasında ilerlemektedir. Bu nedenle kuantum hesaplama, sektör için uzak bir ihtimalden

çok gelişmekte olan bir mühendislik aracı olarak tanımlanabilir; yakın vadedeki değeri hibrit iş akışlarında yoğunlaşmakta, uzun vadedeki değeri ise hata-toleranslı donanıma bağlı kalmaktadır.

Öneri olarak, otomotiv üreticilerinin ve tedarikçilerinin bugünden kuantum-hazır (quantum-ready) bir strateji benimsemeleri gerekmektedir. Bu strateji; kuantum donanım firmalarıyla iş birlikleri kurmayı, hibrit algoritmalarda kurum içi yetkinlik geliştirmeyi ve özellikle uzun ömürlü araçların güvenlik mimarisini PQC standartlarına uyumlu tasarlamayı kapsamalıdır. Gelecek çalışmalarda, belirli bir uygulama alanına (örneğin batarya kimyası veya filo optimizasyonu) yönelik nicel performans karşılaştırmalarının yapılması, alanın olgunlaşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Arshad, M. W., & Lodi, S. (2025). Quantum computing in the automotive industry: Survey, challenges, and perspectives. The Journal of Supercomputing, 81, Article 1093. https://doi.org/10.1007/s11227-025-07573-4

Burkacky, O., Mohr, N., & Pautasso, L. (2020, September 2). Will quantum computing drive the automotive future? McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/will-quantum-computing-drive-the-automotive-future

Fuld & Company. (2026, May 26). Beyond the hype: Quantum computing is entering the automotive workshop. https://www.fuld.com/quantum-computing-automotive-industry/

Gao, S., Möller, T., Mohr, N., Pastré, A., & Ziegler, F. (2023, September 13). Gearing up for mobility's future with quantum computing. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/gearing-up-for-mobilitys-future-with-quantum-computing

Google AI Quantum and Collaborators. (2020). Hartree-Fock on a superconducting qubit quantum computer. Science, 369(6507), 1084–1089. https://doi.org/10.1126/science.abb9811

IonQ & Hyundai Motor Company. (2022, January 19). IonQ and Hyundai Motor partner to use quantum computing to advance effectiveness of next-gen batteries [Press release]. https://ionq.com/news/january-19-2022-ionq-and-hyundai-partner-to-advance-batteries

Kessel, C. (2021). Quantum computing in the automotive industry. Bird & Bird. https://www.twobirds.com/en/insights/2021/global/quantum-computing-in-the-automotive-industry

Lohmiller, N., Kaniewski, S., Menth, M., & Heer, T. (2025). A survey of post-quantum cryptography migration in vehicles. IEEE Access, 13, 10160–10176. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3528562

Luckow, A., Klepsch, J., & Pichlmeier, J. (2021). Quantum computing: Towards industry reference problems. Digitale Welt, 5(2), 38–45. https://doi.org/10.1007/s42354-021-0335-7

Mordor Intelligence. (2025). Quantum computing in automotive market – Size, share & 2030 growth trends report. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/quantum-computing-in-automotive-market

National Institute of Standards and Technology. (2024, August 13). Post-quantum cryptography standards: FIPS 203 (ML-KEM), FIPS 204 (ML-DSA), and FIPS 205 (SLH-DSA). U.S. Department of Commerce. https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography

Samsonidze, G. (2021, February 16). How quantum computing can tilt the computational landscape. Bosch Research Blog. https://www.bosch.com/stories/how-quantum-computing-can-tilt-the-computational-landscape/

Utimaco. (2023, October 31). Quantum computing in automotive: Risks & opportunities. Utimaco Blog. https://utimaco.com/news/blog-posts/quantum-computing-automotive-risks-opportunities

Yarkoni, S., Neukart, F., Moreno Gomez Tagle, E., Magiera, N., Mehta, B., Hire, K., Narkhede, S., & Hofmann, M. (2020). Quantum shuttle: Traffic navigation with quantum computing. In Proceedings of the 1st ACM SIGSOFT International Workshop on Architectures and Paradigms for Engineering Quantum Software (APEQS 2020) (pp. 22–30). ACM. https://doi.org/10.1145/3412451.3428500

Route-Level Energy Consumption Estimation for Electric Vehicles: A Simulation-Based Cross-Map Study

Abdulkerim Çekinmez[1], Oğuzhan APAYDIN[2]

[1]E-mail: abdulkerim.cekinmez@tofas.com.tr; TOFAŞ SW Engineer, İzmir/ Türkiye.

[2]E-mail: oguzhanapaydin@std.iyte.edu.tr İzmir Institute of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir/Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, SUMO trafik simülatöründe Türkiye'deki dört şehirde bulunan yedi kentsel yol ağı üzerinde, 140 güzergâh ve 2.100 seyahat kullanılarak elektrikli araçların (EA) rota düzeyinde enerji tüketimi tahmini incelenmektedir. Yordayıcılar; harita ve yükseklik verilerinden elde edilen statik rota geometrisi, trafik bağlamı tanımlayıcıları ve her bir aracın diğer seyahatlerinden birini-dışarıda-bırakma (leave-one-out) ortalaması yoluyla özetlenen sürücü davranışı özniteliklerinden elde edilmiştir. Bu geçmişe dayalı sürücü özetlerinin tek biçimli olarak bilgilendirici olmadığı görülmüştür: ivmelenme temelli özetler rota bazında kümelenmiş standart hatalar altında anlamlılığını korurken ($p < 0,001$), duraklama süresi ve bekleme sayısı özetleri anlamlı kalmamaktadır; bu durum, söz konusu büyüklüklerin sürücü davranışından ziyade rota altyapısı tarafından belirlendiğini yansıtmaktadır. Dört yordayıcılı bir sıradan en küçük kareler modeli, örneklem içi enerji varyansının %88,7'sini açıklarken, bir-şehri-dışarıda-bırakma çapraz doğrulaması altında bu oran yalnızca %47,0'ye düşmektedir. Bu kaybın neredeyse tamamı şehir başına sabit bir kaymadan (offset) kaynaklanmaktadır: bu kayma giderildiğinde oran %79,1'e çıkmakta, daha önce görülmemiş bir şehirden alınan on etiketli seyahat ise %76,6'ya ulaşmaktadır. Doğrusal rota düzeyi modeller bu nedenle biçim olarak aktarılabilmekte, ancak düzey olarak aktarılamamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çapraz doğrulama; elektrikli araçlar; enerji tüketimi tahmini; öznitelik seçimi; rota analizi; sıradan en küçük kareler; sürücü davranışı; trafik simülasyonu

Abstract

We investigate route-level estimation of electric vehicle (EV) energy consumption using 2,100 trips generated in the SUMO traffic simulator over 140 routes across seven urban road networks in four Turkish cities. Predictors are drawn from static route geometry derived from map and elevation data, traffic-context descriptors, and driver-behavior features summarized from each vehicle's other trips via leave-one-out averaging. These historical driver summaries are not uniformly informative: acceleration-based summaries remain significant under route-clustered standard errors ($p < 0.001$), whereas stop-time and waiting-count summaries do not, reflecting that these quantities are determined more by route infrastructure than by driver behavior. A four-predictor ordinary least squares model explains 88.7% of energy variance in-sample but only 47.0% under leave-one-city-out cross-validation. Almost all of that loss is a constant per-city offset: removing it restores 79.1%, and ten labelled trips from an unseen city recover 76.6%. Linear route-level models therefore transfer in shape but not in level.

Keywords: Cross-validation; driver behavior; electric vehicles; energy consumption estimation; feature selection; ordinary least squares; route analysis; traffic simulation

INTRODUCTION

Electric vehicle adoption has shifted a long-standing transport question into a new form. Where a conventional driver asks how long a journey will take, an electric driver also asks how much charge it will cost, and the answer is needed before departure rather than after arrival. Measuring that answer empirically is expensive: instrumenting a fleet across several cities, over a controlled set of routes, with repeatable driving behaviour, is beyond the reach of most studies. Microscopic traffic simulation offers a practical alternative.

SUMO (Simulation of Urban MObility) is an open-source, microscopic and continuous road traffic simulator in which every vehicle is modelled individually, with its own route, car-following behaviour and lane-changing decisions (Lopez et al., 2018). It has been under development since 2001 and is widely used in traffic management, vehicle communication and emission research (Krajzewicz, Erdmann, Behrisch & Bieker, 2012). Three properties make it well suited to the present problem. First, it imports real road geometry directly from OpenStreetMap, so a study is not restricted to synthetic grids. Second, since version 0.24.0 it includes an electric vehicle battery device that tracks state of charge, energy consumption and regenerative recovery at every simulation step (Kurczveil, Álvarez López & Schnieder, 2014). Third, it is fully deterministic under a fixed random seed, so an identical driver can be sent along twenty different routes and the differences observed are attributable to the routes alone.

That last property is what an empirical study cannot supply. Real drivers cannot repeat a trip under identical traffic, and real fleets cannot be moved between cities to hold behaviour constant while terrain changes. A simulator can, which makes it possible to ask a question that is otherwise difficult to isolate: how much of the variability in electric vehicle energy use is explained by information available before a trip starts, and does a model fitted in one city transfer to another?

This study addresses that question with seven road networks drawn from four Turkish cities of markedly different terrain, 140 routes and 2,100 simulated trips. The contribution is not a claim that a linear model is the best available estimator, but a characterisation of how such a model behaves when it is moved to a city it has never seen, and how cheaply the residual error can be corrected.

METHOD

Seven road networks were extracted from OpenStreetMap and combined with a 30 m digital elevation model so that every node in the road graph carries a height value. Elevation therefore enters at network construction time and is present in the simulated physics, rather than being added afterwards as a post-hoc correction. The seven networks come from four cities, listed with their route endpoints in Table 1; İzmir, Ankara and Bursa contribute two networks each and İstanbul one.

For each network, one baseline route and twenty alternatives were generated between a fixed origin–destination pair, giving twenty-one route choices that share endpoints but differ in geometry, length and climb. Seven routes in one network were removed after inspection because rerouting during simulation meant the vehicles did not follow the intended path, leaving 140 usable routes.

Each route was driven by fifteen vehicles: five each from an eco, a normal and an aggressive driver profile, differing in acceleration, deceleration, desired speed factor and driver imperfection, but sharing an identical battery specification. Every vehicle was equipped with the battery device and its trajectory recorded at 1 Hz, yielding 2,100 trips in total. The process is summarised in Figure 1.

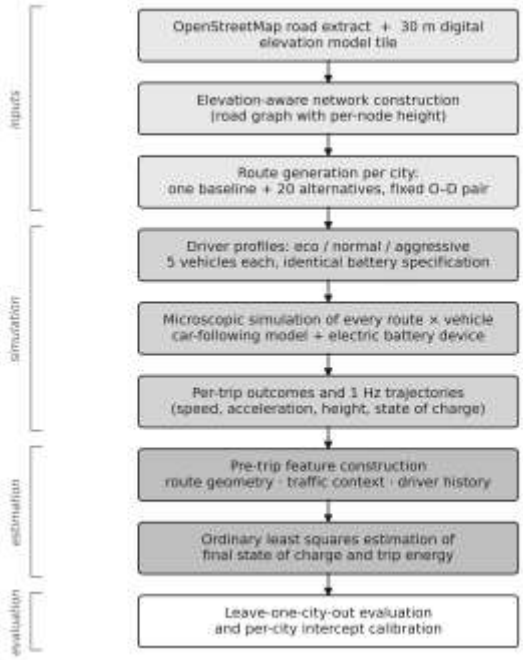


Figure 1. *Simulation and estimation workflow, from map and terrain inputs through to leave-one-city-out evaluation.*

Table 1. *The seven simulated road networks, their cities and their fixed route endpoints*

Net.	City	Start A (lat, lon)	End B (lat, lon)	A–B (km)	Routes
N1	İzmir	38.46661, 27.21944	38.47533, 27.19084	2.7	21
N2	Ankara	39.94459, 32.85456	39.92502, 32.90349	4.7	21
N3	Ankara	39.88843, 32.92959	39.93420, 32.89534	5.9	21
N4	İzmir	38.46188, 27.11474	38.47141, 27.09346	2.1	21
N5	İstanbul	41.02858, 29.06482	41.04159, 29.10891	4.0	21
N6	Bursa	40.18108, 29.04981	40.19141, 29.10799	5.1	14
N7	Bursa	40.20799, 29.05547	40.22219, 29.07847	2.5	21

Note. A–B is the straight-line distance between the fixed endpoints; driven routes are longer. N6 contributes fourteen routes because seven were removed after inspection. Coordinates are WGS 84.

Two quantities were estimated: the state of charge remaining at the end of a trip and the energy consumed during it, both in watt-hours. Estimation used ordinary least squares on the candidate features listed in Table 2, all of which are available before the vehicle departs. The driver-history features deserve particular note. A trip's own realised stopping and acceleration behaviour is not knowable in advance, so each is replaced by a leave-one-out mean over that same vehicle's other routes: what this driver has typically done elsewhere, with the current trip excluded from its own feature.

An ablation over feature subsets, evaluated on held-out networks rather than in-sample, showed that four of the eleven candidates carry all of the transferable signal. The reported model therefore uses those four, marked in Table 2; they are also the only candidates that remain significant under standard errors clustered by route. Retaining all eleven raises in-sample fit by about two percentage points while

lowering every out-of-city measure, which is the expected consequence of fitting seven networks with eleven parameters.

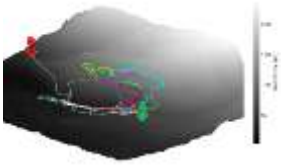
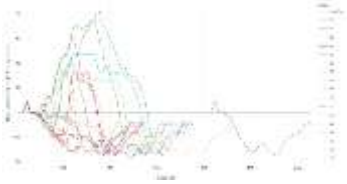
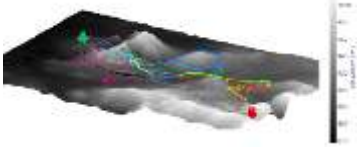
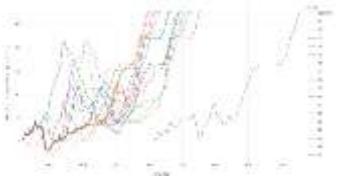
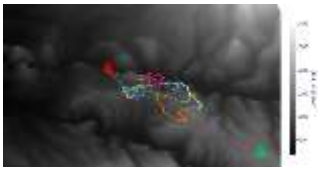
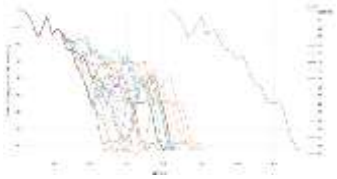
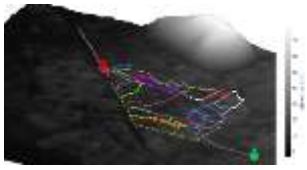
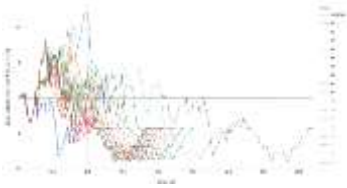
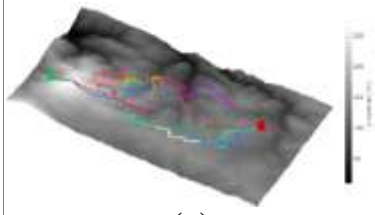
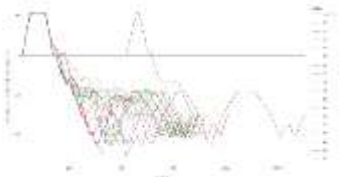
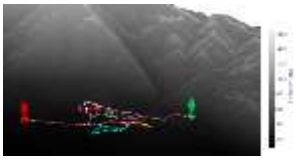
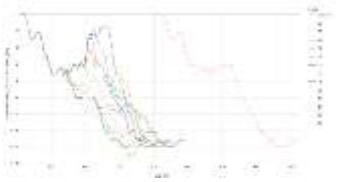
Table 2. *Candidate pre-trip features; the four retained in the reported model are marked*

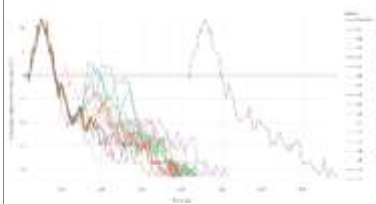
Feature	Group	Description	Kept
Route length	Route geometry	Total driving distance of the chosen route (m).	✓
Total ascent	Route geometry	Sum of all uphill height gain along the route (m).	✓
Total descent	Route geometry	Sum of all downhill height loss along the route (m).	✓
Context mean speed	Traffic context	Average speed of background traffic on the network (m/s).	
Context waiting time	Traffic context	Mean time background vehicles spend halted (s).	
Mean density	Traffic context	Average vehicle density over the network (veh/km).	
Maximum density	Traffic context	Peak vehicle density observed on any edge (veh/km).	
Driver acceleration history	Driver history	This vehicle's mean absolute acceleration on its other routes (m/s^2).	✓
Driver stop-time history	Driver history	Time this vehicle typically spends stopped, from its other routes (s).	
Driver stop-count history	Driver history	Number of halts this vehicle typically makes, from its other routes.	
Driver time-loss history	Driver history	Delay this vehicle typically accumulates relative to free flow (s).	

Generalisation was measured in two ways. Leave-one-network-out trains on six networks and tests on the seventh, repeated seven times. Because three of the four cities contribute two networks each, six of those seven folds leave a neighbouring network of the same city in the training set, and in two cases the digital elevation tiles of the pair overlap. Leave-one-city-out removes that advantage: all networks of a city are held out together, giving four fully disjoint folds. The second is the stricter and more honest test, and results are reported for both so the size of the difference is visible.

Figure 2 shows the seven networks side by side. Each row is one network; the columns give, from left to right, the terrain surface with all route alternatives drawn on it, the same routes on the road map, and the climb profile of each route against distance travelled. The terrain range differs by an order of magnitude across the set, from essentially flat networks to Bursa rising into the foothills of Uludağ, while route lengths remain comparable.

Figure 2. *Route geometry and terrain for the seven networks. Rows: networks N1–N7 with their cities. Columns: (i) three-dimensional terrain with route alternatives, (ii) routes on the road network, (iii) elevation profile against time.*

	Terrain + routes (3D)	Routes on road map	Climb profile
N1 İzmir	 (a)	(b)	 (c)
N2 Ankara	 (d)	(e)	 (f)
N3 Ankara	 (g)	(h)	 (i)
N4 İzmir	 (j)	(k)	 (l)
N5 İstanbul	 (m)	(n)	 (o)
N6 Bursa	 (p)	(q)	 (r)

	Terrain + routes (3D)	Routes on road map	Climb profile
N7 Bursa	(s)	(t)	 (u)

FINDINGS

The four-feature model explains 90.0 per cent of the variance in final state of charge and 88.7 per cent in trip energy when fitted to the pooled data, and all four coefficients are significant at $p < 0.001$ under standard errors clustered by route. Table 3 reports the transfer results under both fold definitions.

Under the strict four-city test, mean explained variance on a city never seen in training is 0.466 for state of charge and 0.470 for energy, and no city fails outright: the worst folds sit at 0.006 and −0.025, that is, no worse than predicting the held-out city's own mean. Mean absolute error is 266 Wh and 446 Wh, against naive baselines of 461 Wh and 780 Wh.

Most of the remaining error is a single constant per city. On every fold the mean prediction bias is close to the mean absolute error, which is the signature of an offset rather than of scattered noise; the largest case is İstanbul on state of charge, where a bias of −405 Wh accounts for the entire 405 Wh of error. Removing that one constant per city raises explained variance to 0.766 and 0.791. Because it is a single scalar, it can also be estimated from a handful of trips: ten labelled trips from the new city recover 0.743 and 0.766, and the curve is flat beyond that point.

Comparing the two fold definitions quantifies how much the network-level test flatters the result. Offset-corrected explained variance falls from 0.881 to 0.766 for state of charge and from 0.918 to 0.791 for energy once same-city networks are removed from training, and within-city route ranking falls from a Spearman correlation of about 0.91 to 0.57 and 0.49. A model that has already seen a neighbouring district of the same city is therefore substantially better informed than one that has not, which is worth stating explicitly because the distinction is easy to lose in a map-level cross-validation.

Two results support the physical interpretation. The estimated cost of climbing is 4.57 Wh per metre ascended and the estimated credit for descending is 2.76 Wh per metre, so roughly 60 per cent of the energy spent on a climb returns on the corresponding descent, which is a plausible figure for regenerative braking and one the estimator was not constrained to produce. And removing the driver-history feature while keeping route geometry collapses offset-corrected explained variance to below 0.10 on both targets: route geometry sets a city's level, while driver history supplies the discrimination between trips within it.

Table 3. *Transfer results for the four-feature model under both fold definitions (2,100 trips, 140 routes)*

	Leave one city out		Leave one network out	
	SoC	**Energy**	**SoC**	**Energy**
Folds	4	4	7	7
In-sample R^2	0.900	0.887	0.900	0.887
Held-out R^2, mean	0.466	0.470	0.044	0.444
Held-out R^2, worst fold	0.006	−0.025	−2.102	−0.491
Held-out R^2, offset removed	0.766	0.791	0.881	0.918
Held-out R^2, 1 calibration trip	0.581	0.618	0.767	0.832
Held-out R^2, 10 calibration trips	0.743	0.766	0.874	0.912
Mean absolute error (Wh)	266	446	279	424
Mean absolute error, 10 trips (Wh)	166	271	91	156
Route ranking, mean Spearman ρ	0.570	0.494	0.907	0.905

CONCLUSION AND DISCUSSION

Pre-trip energy estimation transfers across cities in shape but not in level. A model fitted on three cities orders the trips of a fourth it has never seen and scales the effect of route length, climb and driver behaviour correctly, yet places the whole city at an offset of one to four hundred watt-hours. Reporting only the uncorrected figure of 0.47 would understate what the model has learned, which the offset-corrected 0.77 to 0.79 makes clear.

The offset is what four route-level features cannot capture: network topology, signal density, speed-limit regime and other characteristics that are constant within a city and therefore invisible to a model trained elsewhere. Because it is a single scalar it is unusually cheap to remove, and ten logged trips in a new city recover most of the lost accuracy. That suggests a deployment pattern in which one general model is shipped and calibrated locally, rather than a separate model trained per city.

The comparison between the two fold definitions is itself a methodological result. Holding out one network at a time, while a neighbouring network of the same city stays in training, raises offset-corrected explained variance by roughly 0.12 and route-ranking correlation from about 0.5 to about 0.9. Studies that cross-validate over map extents rather than over cities should expect to overstate transfer by a similar margin.

Two limitations should be stated. Four cities is a small sample for a between-city analysis, and the feature ablation shows the consequence directly: eleven features fit better in-sample yet transfer worse than four, because the extra parameters absorb city-specific idiosyncrasies. More cities, rather than more features, is the useful direction. Second, all results come from simulation, so absolute error magnitudes should be read as simulator-consistent rather than field-validated.

Future work should therefore extend the city count before elaborating the model, and test whether the city offset can be predicted from network-level descriptors computed without any trips at all. If it can, the calibration step disappears altogether.

REFERENCES

Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., & Bieker, L. (2012). Recent development and applications of SUMO – Simulation of Urban MObility. International Journal on Advances in Systems and Measurements, 5(3–4), 128–138.

Krauß, S. (1998). Microscopic modeling of traffic flow: Investigation of collision free vehicle dynamics (Doctoral dissertation). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Cologne.

Kurczveil, T., Álvarez López, P., & Schnieder, E. (2014). Implementation of an energy model and a charging infrastructure in SUMO. In M. Behrisch & M. Weber (Eds.), Simulation of Urban Mobility (pp. 33–43). Springer.

Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., & Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. In Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 2575–2582). IEEE.

OpenStreetMap contributors. (2026). OpenStreetMap. https://www.openstreetmap.org

Bir Savaş Gemisinde Hangar Kapısı Açıklığının Uçuş Güvertesi ve Hangar Çevresindeki Akış Alanına Etkisinin Sayısal İncelenmesi

Mahircan YILDIZ[1], Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN[2], Doç. Dr. Taner ÇOŞGUN[3]

[1]E-mail: mahircan.yildiz@std.yildiz.edu.tr; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye.
[2]E-mail: ahmety@yildiz.edu.tr; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye
[3]E-mail: tcosgun@yildiz.edu.tr; Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye

Özet

Modern savaş gemilerinde üst yapı etrafında oluşan karmaşık hava akışı, özellikle helikopter operasyonlarının gerçekleştirildiği uçuş güvertesi ve hangar bölgesindeki akış karakteristiklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, NATO Generic Destroyer (NATO-GD) modeli üzerinde hangar kapısı açıklığının uçuş güvertesi ve hangar içerisindeki akış alanına etkisini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle incelemektir. Analizlerde 1/300 ölçekli NATO-GD geometrisi kullanılmış; SH-60B helikopteri referans alınarak oluşturulan hangar için kapalı, yarı açık ve tam açık olmak üzere üç farklı kapı konfigürasyonu değerlendirilmiştir. Akış alanı Reynolds-Ortalamalı Navier–Stokes (RANS) yaklaşımı ve Realizable k-ε türbülans modeli kullanılarak zamana bağlı olarak çözülmüştür. Simülasyonlar üç boyutlu, türbülanslı ve sıkıştırılamaz akış koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, hangar kapısı açıklığının uçuş güvertesi ve hangar içerisindeki hız dağılımları, akış ayrılması ve yeniden dolaşım bölgeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi hava izi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, NATO Generic Destroyer, Uçuş güvertesi

Abstract

Modern warships are characterized by complex airflow structures around their superstructures, which significantly affect the flow characteristics over the flight deck and within the hangar region where helicopter operations are conducted. This study aims to investigate the effects of hangar door opening on the airflow over the flight deck and within the hangar of the NATO Generic Destroyer (NATO-GD) model using Computational Fluid Dynamics (CFD). A 1/300-scale NATO-GD geometry was employed, and three different hangar door configurations—closed, partially open, and fully open—were evaluated for a hangar designed based on the reference dimensions of the SH-60B helicopter. The flow field was solved in an unsteady manner using the Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) approach and the Realizable k-ε turbulence model. The simulations were performed under three-dimensional, turbulent, and incompressible flow conditions. Consequently, the effects of hangar

door opening on the velocity distributions, flow separation, and recirculation regions over the flight deck and within the hangar were investigated.

Keywords: Ship airwake, Computational Fluid Dynamics, NATO Generic Destroyer, Flight deck

GİRİŞ

NATO Generic Destroyer (NATO-GD) modeli, modern savaş gemilerinin aerodinamik karakteristiklerini temsil etmek ve gemi-helikopter dinamik arayüzü (Helicopter-Ship Dynamic Interface, HSDI) araştırmalarında ortak bir referans platformu oluşturmak amacıyla NATO Applied Vehicle Technology (AVT) Paneli bünyesindeki AVT-315 araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir (Fernandez, Watson, Owen, & White, 2022; Owen, Lee, Wall, & Fernandez, 2021; Sari, Dogrul, & Bayraktar, 2025). Model, günümüz savaş gemilerinin karakteristik geometrik özelliklerini temsil eden karmaşık bir üst yapıya sahip olması ve deneysel verilerle doğrulanmış açık erişimli geometrik ve aerodinamik veri setlerinin bulunması nedeniyle gemi hava izi araştırmalarında önemli bir referans geometri olarak kullanılmaktadır. NATO-GD'nin tam ölçekli geometrisi yaklaşık 150 m gemi boyu, 30,3 m toplam yükseklik ve 16,8 m uçuş güvertesi genişliği ile karakterize edilmektedir (Fernandez et al., 2022; Sari et al., 2025).

Gemi üst yapısı üzerinden geçen atmosferik akış, özellikle direk, radar, egzoz yapıları ve hangar gibi keskin kenarlı künt geometriler nedeniyle önemli ölçüde bozulmakta ve bu bölgelerde akış ayrılmaları meydana gelmektedir (Alaktaa, Mohamad, Shehata, Tezdogan, & Elsherbiny, 2026; Fernandez et al., 2022; Sari et al., 2025). Bu tür karmaşık ve zamana bağlı akış yapılarını karakterize etmek amacıyla Reynolds-Ortalamalı Navier–Stokes (Reynolds-Averaged Navier–Stokes, RANS), Zamana Bağlı Reynolds-Ortalamalı Navier–Stokes (Unsteady Reynolds-Averaged Navier–Stokes, URANS) ve LES (Large Eddy Simulation) gibi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tabanlı yöntemler yaygın olarak kullanılmakta; elde edilen akış karakteristiklerinin doğruluğunda türbülans modeli, ağ çözünürlüğü ve zaman adımı gibi sayısal parametreler önemli rol oynamaktadır (Linton & Thornber, 2021; Shukla, Sinha, & Singh, 2019). Üst yapı elemanlarının oluşturduğu ayrılma bölgeleri ve kararsız kayma tabakaları, uçuş güvertesi üzerinde zamana bağlı ve üç boyutlu bir akış yapısının oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle hangar yapısının arka bölgesinde, eksenel hızın serbest akım hızına oranının sıfıra yaklaştığı veya negatif değerlere ulaştığı geniş geri akış ve yeniden dolaşım bölgeleri gözlemlenmiştir (Alaktaa et al., 2026; Fernandez et al., 2022).

Hangarın üst ve yan kenarlarından ayrılan kayma tabakaları, akış yönünde ilerleyerek belirli bölgelerde uçuş güvertesi yüzeyine yeniden bağlanmakta ve bu süreçte güçlü zamana bağlı girdap yapıları meydana getirmektedir (Fernandez et al., 2022; Owen et al., 2021). Bununla birlikte, üst yapı çevresindeki yanal akışlar ile hangar arkasında oluşan geri akış bölgelerinin etkileşimi sonucunda karşıt yönlü girdap çiftleri, at nalı girdapları ve güverte kenarı girdapları oluşabildiği rapor edilmiştir (Alaktaa et al., 2026; Sari et al., 2025). Direk ve radar gibi üst yapı elemanları ise akışın düşey yöndeki momentumunu değiştirerek uçuş güvertesi üzerine doğru yönelen aşağı akış bölgelerinin oluşmasına

katkıda bulunmaktadır. Bu karmaşık akış yapısı, uçuş güvertesi üzerinde belirgin hız gradyanları ve yüksek türbülans seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Fernandez et al., 2022; Kurban & Rauleder, 2026; Owen et al., 2021).

Gemi hava izi içerisinde meydana gelen bu zamana bağlı ve türbülanslı akış yapısı, helikopterin uçuş güvertesine yaklaşması, inişi veya güvertede askıda kalması sırasında rotor diskine ulaşan hava akışını doğrudan etkilemektedir. Rotorun maruz kaldığı değişken giriş akışı, helikopterin aerodinamik kuvvet ve momentlerinde zamana bağlı değişimlere neden olabilmektedir. Literatürde özellikle gemi hava izindeki aşağı akış bölgelerinin rotor tarafından üretilen ortalama itkiyi azaltabildiği ve helikopterin kontrol gereksinimlerini artırabildiği belirtilmektedir (Ashok & Rauleder, 2024; Dooley, Ezequiel Martin, Buchholz, & Carrica, 2020).

Gemi hava izi araştırmalarında daha önce kullanılan Simple Frigate Shape (SFS) ve Simple Frigate Shape 2 (SFS2) gibi referans geometriler, HAD yöntemlerinin doğrulanması ve temel akış karakteristiklerinin incelenmesi açısından önemli bir altyapı sağlamıştır ancak bu modellerin geometrik olarak oldukça basitleştirilmiş olması, modern savaş gemilerinde bulunan karmaşık üst yapı elemanlarının ve düşük görünürlüklü tasarım karakteristiklerinin temsil edilmesini sınırlamaktadır. Özellikle tumblehome üst yapı geometrisi, bütünleşik direk yapıları, modern radar sistemleri ve gerçekçi egzoz yapıları gibi aerodinamik akışı önemli ölçüde etkileyebilecek geometrik özelliklerin SFS/SFS2 modellerinde yeterince temsil edilmemesi, bu modellerin modern savaş gemilerinin oluşturduğu hava izinin incelenmesindeki kullanımını sınırlandırmaktadır (Fernandez et al., 2022; Owen et al., 2021).

Bu kapsamda geliştirilen NATO-GD modeli, modern savaş gemilerinin üst yapı karakteristiklerini daha gerçekçi biçimde temsil etmesi ve deneysel verilerle doğrulanmış olması nedeniyle güncel HSDI çalışmalarında daha gelişmiş bir referans geometri sağlamaktadır. NATO-GD üzerinde gerçekleştirilen deneysel ve sayısal çalışmalar, gemi üst yapısı çevresindeki akış ayrılmalarını, yeniden dolaşım bölgelerini, türbülans yapısını ve uçuş güvertesi üzerindeki hava izi karakteristiklerini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur (Fernandez et al., 2022; Owen et al., 2021; Sari et al., 2025). Bununla birlikte, mevcut çalışmaların önemli bir bölümü hangar bölgesini kapalı ve geçirimsiz bir üst yapı olarak ele almakta ve güvertede bulunan hangar kapısının helikopter iniş operasyonu öncesi veya sonrasında açık-kapalı konfigürasyonlarının akış alanı üzerindeki etkisini doğrudan incelememektedir.

Helikopter iniş operasyonu öncesi veya sonrasında, operasyonel duruma bağlı olarak hangar kapısının farklı açıklık seviyelerinde bulunması, üst yapı içerisindeki akışın karakterini değiştirebilecek önemli bir geometrik değişkendir. Kapının tamamen kapalı olması durumunda akışın hangar içerisine girişi sınırlanırken, kapının kısmen veya tamamen açılmasıyla birlikte dış akış ile hangar iç hacmi arasında doğrudan bir etkileşim meydana gelmektedir. Bu durumun hangar içerisinde oluşabilecek geri akış bölgelerini, kapı eşiğinde meydana gelen kayma tabakalarını ve uçuş güvertesi üzerindeki mevcut hava izi yapısını değiştirmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, hangar kapısının kapalı, yarı açık ve tamamen açık konfigürasyonlarının NATO-GD üzerindeki güverte ve hangar akış alanına etkisini sistematik olarak karşılaştıran çalışmaların literatürde sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu nedenle mevcut çalışmada, NATO-GD modeli üzerinde hangar kapısı açıklığının gemi üzerindeki rüzgâr akışına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında 1/300 ölçekli NATO-GD geometrisi kullanılmıştır. NATO-GD modeli üzerinde ilgili çalışmaların yapılabilmesi için SH-60B helikopterinin boyutları referans alınarak hangar kapısı açıklığı ve helikopter hangarı boyutları belirlenmiştir (Associates Inc, n.d.). Bu boyutlarda bir helikopter hangarı ve hangar kapısı tasarlanıp NATO-GD modeline entegre edilmiştir. 15 knot sabit rüzgâr hızında üç farklı hangar kapısı konfigürasyonu; tam kapalı, yarı açık ve tam açık durumlar için HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada NATO-GD'nin uçuş güvertesi üzerinde meydana gelen rüzgâr akışının temel karakteristikleri belirlenmiş; ardından hangar kapısının üç farklı açıklık konfigürasyonunun uçuş güvertesi ve hangar içerisindeki akış yapısına etkisi karşılaştırılmıştır. Böylece hangar kapısı açıklığının gemi üzerindeki rüzgâr akışına etkisinin ortaya konulması ve elde edilen sonuçların ileride gerçekleştirilecek gemi-helikopter dinamik arayüzü çalışmalarına temel oluşturması amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, NATO Generic Destroyer (NATO-GD) modeli etrafındaki hava akışının ve hangar kapısı açıklığının akış alanı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler Siemens Simcenter STAR-CCM+ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Şekil-1'de verilen 1/300 ölçekli NATO-GD geometrisi (Owen et al., 2021) kullanılmış ve tam ölçekte 15 knot olarak belirlenen rüzgâr hızı, model ölçeğinde 0,445 m/s'ye ölçeklenerek üç farklı hangar kapısı konfigürasyonu incelenmiştir.

Şekil 1 *NATO-GD Geometrisi*

Sayısal Yöntem

Akış alanının çözümünde RANS denklemleri kullanılmıştır. Sayısal çözüm; üç boyutlu, türbülanslı ve sıkıştırılamaz hava akışı varsayımı altında zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı akışın modellenmesinde gerçeklenebilir k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Sıkıştırılamaz akış için kütlenin korunumu Denklem 1'de verilen süreklilik denklemi ile, akış alanındaki momentumun korunumu ise Denklem 2'de verilen momentum denklemi ile tanımlanmaktadır.

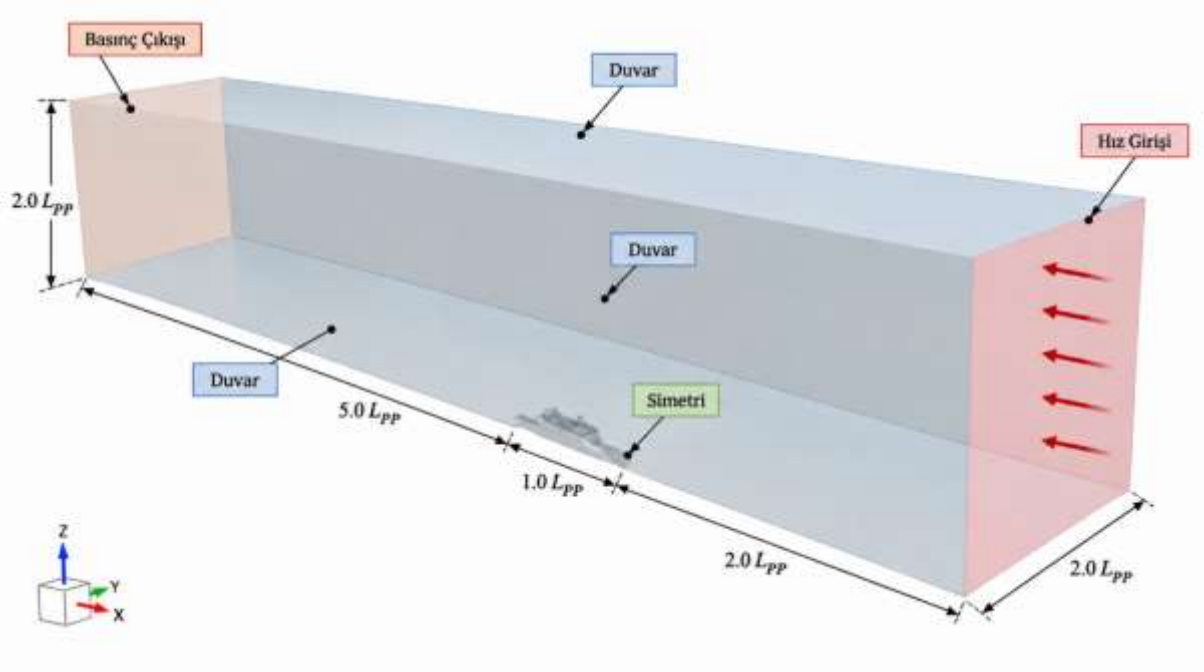
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{v}) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{v}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \otimes \bar{v}) = -\nabla \cdot (\bar{p} I) + \nabla \cdot (T + T_t) + f_b \tag{2}$$

Geometri ve Hesaplama Bölgesi

Çalışmada NATO-GD geometrisinin 1/300 ölçekli modeli kullanılmıştır. Hangar ve hangar kapısı geometrisinin oluşturulmasında SH-60B helikopterinin katlanmış karakteristik boyutları referans alınmış ve oluşturulan hangar NATO-GD modeline entegre edilmiştir. Hangar kapısının tam kapalı, yarı açık ve tam açık olmak üzere üç farklı konfigürasyonu modellenmiştir.

Hesaplama kaynaklarının daha verimli kullanılması amacıyla NATO-GD geometrisinin boyuna simetrisinden yararlanılmış ve sayısal analizlerde yarım model yaklaşımı kullanılmıştır. Hesaplama bölgesi dikdörtgen prizma biçiminde tanımlanmış ve karakteristik uzunluk olarak model gemi boyunu temsil eden L_{PP} esas alınmıştır. Bu kapsamda kontrol hacminin yüksekliği ve genişliği 2 $L_{PP,}$ giriş sınırı gemi başının 2 L_{PP} önünde ve çıkış sınırı gemi kıçının 5 L_{PP} arkasında olacak şekilde belirlenmiştir. Hesaplama bölgesinin geometrik boyutları ve uygulanan sınır şartları Şekil 2'de sunulmuştur.



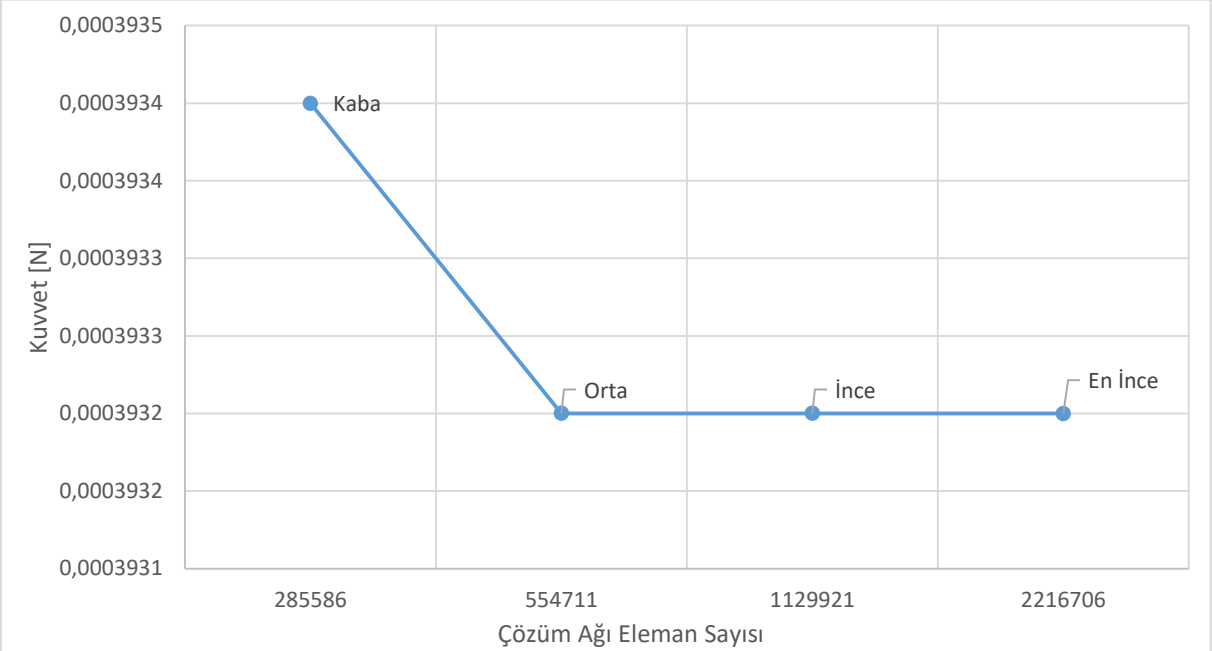
Şekil 2 *Hesaplama bölgesi, sınır şartları ve boyutlandırma*

Tam ölçek için belirlenen 15 knot serbest akış hızı, çalışmada kullanılan 1/300 ölçek oranı dikkate alınarak model ölçeğinde 0,445 m/s'ye ölçeklenmiş ve hesaplama bölgesinin hız girişinde bu değer uygulanmıştır. Gemi ve hangar yüzeyleri kaymama koşuluna sahip duvar, modelin kesildiği düzlem ise simetri sınır şartı olarak tanımlanmıştır. Hesaplama bölgesinin giriş yüzeyi hız girişi, çıkış yüzeyi basınç çıkışı, üst, alt ve uzak yan yüzeyleri ise duvar sınır şartı olarak tanımlanmıştır.

Hesaplama Ağı ve Çözüm

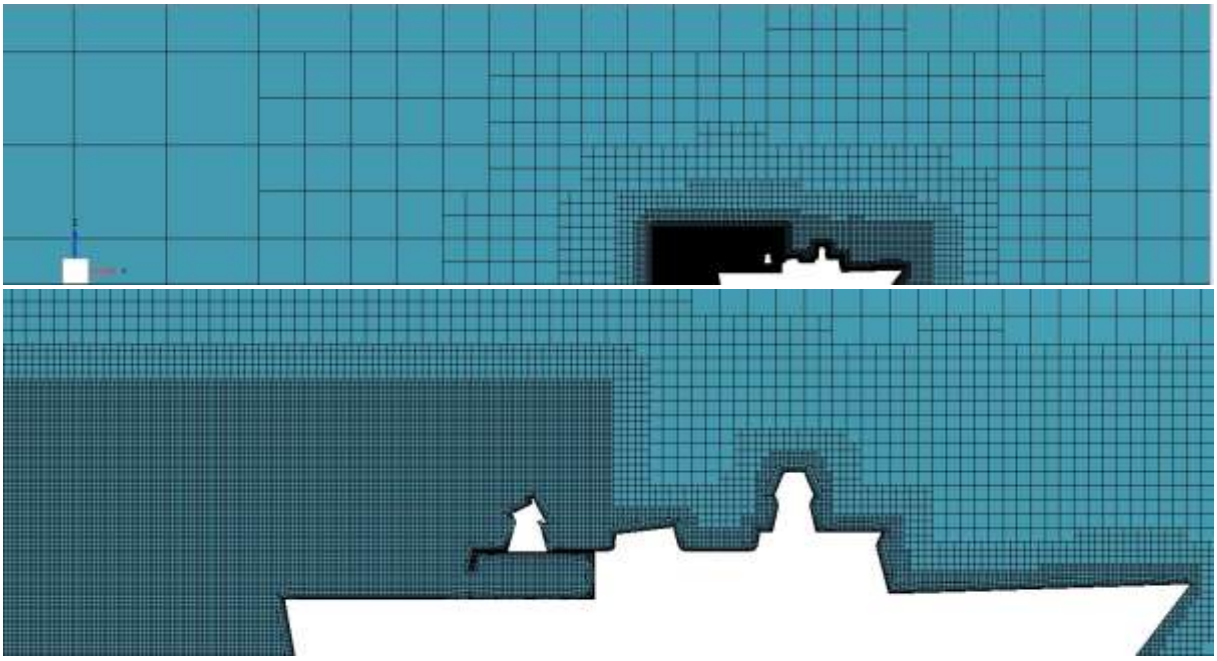
Hesaplama ağı, gemi üst yapısı, uçuş güvertesi ve hangar kapısı çevresindeki akış karakteristiklerinin yeterli çözünürlükte yakalanabilmesi amacıyla yerel ağ iyileştirmeleri uygulanarak oluşturulmuştur.

Sayısal sonuçların ağ çözünürlüğünden bağımsızlığını değerlendirmek amacıyla farklı hücre sayılarına sahip hesaplama ağları oluşturularak ağdan bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Her bir çözüm ağı yapısı için gemiye etkiyen rüzgâr kuvveti hesaplanmış ve hücre sayısına bağlı değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Kuvvet değerindeki değişimin ihmal edilebilir seviyeye ulaştığı orta seviyedeki ağ yapısı yeterli kabul edilerek nihai analizlerde kullanılmıştır. Kullanılan ağ yapısı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3 *Ağdan Bağımsızlık Çalışması*

Analizlerde zaman adımı $\Delta t = 10^{-3}\ s$ olarak belirlenmiştir. Her üç hangar kapısı konfigürasyonunda aynı sayısal yöntem, hesaplama ağı özellikleri ve çözüm kriterleri kullanılmıştır.



Şekil 4 *Çözüm Ağı Yapısı*

Akış Alanının Değerlendirilmesi

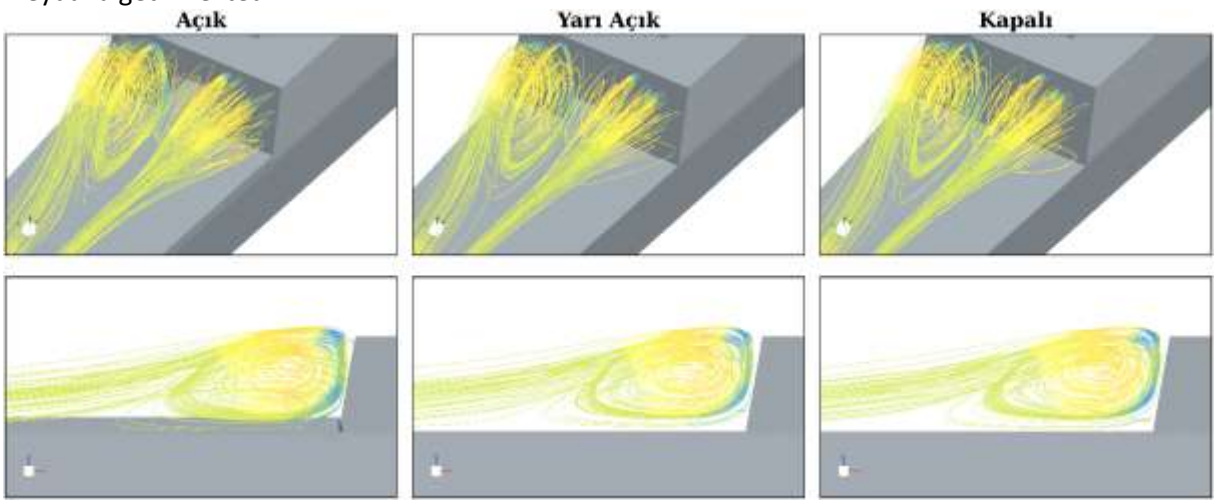
Çalışmanın ilk aşamasında, NATO-GD modelinin uçuş güvertesi üzerinde meydana gelen rüzgâr akışının temel karakteristikleri incelenmiştir. Bu kapsamda uçuş güvertesi üzerindeki hız dağılımları, akış yönündeki hız değişimleri ve türbülans karakteristikleri değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada ise hangar kapısının farklı açıklık konfigürasyonlarının uçuş güvertesi ve hangar içerisindeki akış alanı üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Özellikle hangar kapısı açıklığı çevresindeki akış ayrılması, kayma tabakaları, geri akış ve yeniden dolaşım bölgeleri incelenmiştir.

Karşılaştırmalarda hız büyüklüğü, hız bileşenleri ve türbülans büyüklüklerinin yanı sıra uçuş güvertesi ve hangar içerisindeki akış yapısının zamana bağlı değişimi değerlendirilmiştir. Böylece hangar kapısının kapalı, yarı açık ve tamamen açık konfigürasyonları arasındaki akış karakteristikleri ortaya konulmuştur.

BULGULAR

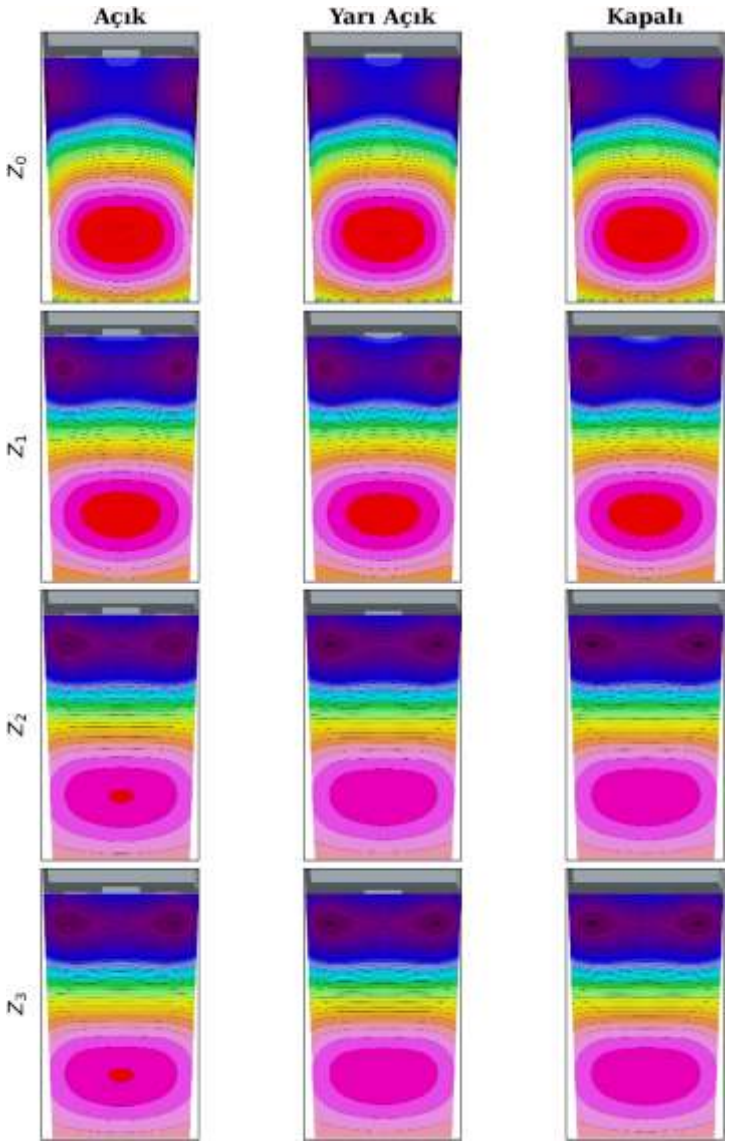
NATO-GD savaş gemisi modeli üzerinde zamana bağlı gerçekleştirilen sayısal analizlerde; hangar kapısının kapalı, yarı açık ve tamamen açık konfigürasyonlarının uçuş güvertesi ve hangar içi akış alanına etkileri incelenmiştir. Hangarın üst ve yan kenarlarından ayrılan kayma tabakaları, akış yönünde ilerleyerek uçuş güvertesi yüzeyinde geri akış bölgeleri ve zamana bağlı girdap yapıları meydana getirmektedir.



Şekil 5 *Q Kriteri Tabanlı Akım Çizgileri*

Hangar kapısının kapalı olduğu konfigürasyonda dış havanın hangar içerisine girişi engellendiğinden, akış hangar yapısını bütünsel bir engel olarak dolaşmakta ve kapı yüzeyine dayanan belirgin bir durgunluk ve geri akış bölgesi oluşturmaktadır. Kapının yarı açık ve tamamen açık duruma getirilmesiyle birlikte, dış akış ile hangar iç hacmi arasında doğrudan momentum transferi gerçekleşmektedir. Hangar içerisine giren yüksek momentumlu akış, hangar içi hava dolaşımını tetiklemekte ve kapı eşiğindeki akış ayrılması noktalarının yapısını değiştirmektedir. Kapı açıklık seviyesi arttıkça hangar içi geri akış bölgesi genişlemekte, ancak uçuş güvertesi üzerindeki ani hız gradyanlarında yumuşama gözlenmektedir. Orta hat boyunca hız büyüklüğü konturları ve akış

çizgilerinin sunulduğu Şekil 5 incelendiğinde; kapalı kapı durumunda hangar arkasındaki ana dolaşım bölgesinin kapı yüzeyine sabitlendiği, kapının açılmasıyla birlikte bu dolaşım bölgesinin bir kısmının hangar iç hacmine kaydığı tespit edilmiştir.



Şekil 6 *Farklı Düşey (Z) Düzlemlerde Hangar Kapısı Açıklıklarının Oluşturduğu Basınç Gradyanları*

Şekil 6'da verilen basınç gradyanları değerlendirildiğinde ise akış alanı; uçuş güvertesi düzlemi (z_0) referans alınarak hangar kapısı yüksekliğinin %25'lik artımlarıyla tanımlanan farklı z ekseni konumlarında incelenmiştir. Kapı açıklığındaki artışa bağlı olarak, kapı çevresinde oluşan basınç farklarının ve aerodinamik yüklerin uçuş güvertesi boyunca akış yönünde değişim gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bu akış alanı ve basınç değişimleri, uçuş güvertesine yaklaşan helikopter rotoruna ulaşan aşağı akış ve türbülans yapısını doğrudan etkilemektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Hangar kapısının kapalı olduğu durumda yapı bütünsel bir engel oluşturarak arkasında kapı yüzeyine dayanan sabit bir geri akış bölgesi meydana getirirken, kapının açılması dış akış ile hangar iç hacmi arasında doğrudan momentum transferine imkân tanımaktadır. Bu durum kapı eşiğindeki akış ayrılması noktalarını değiştirmekte ve hangar içi geri akış bölgesini genişletmektedir. Uçuş güvertesi seviyesi (z_0) referans alınarak kapı yüksekliğinin %25'lik kademeleriyle oluşturulan farklı z düzlemleri incelendiğinde; kapı açıklığındaki artışa bağlı olarak kapı çevresindeki basınç farklarının ve aerodinamik yüklerin uçuş güvertesi boyunca akış yönünde ötelendiği gözlemlenmiştir. Bu değişimler, helikopter-gemi operasyonel güvenliği açısından hangar kapısı konumunun dikkate alınması gereken temel bir aerodinamik parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı rüzgâr geliş açıları (WOD) altında hangar kapısı açıklıklarının incelenmesi ve hangar kapısının açık konumunda yaklaşık rotor seviyesinde meydana gelen yüksek basınç bölgesinin varlığı göz önüne alınarak helikopter rotoruna etkiyen aerodinamik kuvvetlerin de detaylı şekilde incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Alaktaa, A. H., Mohamad, S. A., Shehata, A. S., Tezdogan, T., & Elsherbiny, K. (2026). Enhancing naval aviation safety: a numerical study of superstructure modifications and airwake control in the NATO-GD model. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*. https://doi.org/10.1007/s40722-026-00486-1

Ashok, S. G., & Rauleder, J. (2024). Mid-fidelity NATO generic destroyer static and moving-ship airwake simulations using the Lattice-Boltzmann method compared with experimental data. Ocean Engineering, 298. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117264

Associates Inc, D. (n.d.). NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL.

Dooley, G., Ezequiel Martin, J., Buchholz, J. H. J., & Carrica, P. M. (2020). Ship Airwakes in Waves and Motions and Effects on Helicopter Operation. Computers and Fluids, 208. https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2020.104627

Fernandez, N., Watson, Neale, Owen, Ieuan, & White, Mark. (2022). A Comparative Assessment of the NATO-GD and SFS2 Ship Airwakes and their Influence upon Helicopter Aerodynamic Loading. Proceedings of the Vertical Flight Society 78th Annual Forum and Technology Display, 1–10. The Vertical Flight Society. https://doi.org/10.4050/F-0078-2022-17584

Kurban, E., & Rauleder, J. (2026). Effects of ship geometry and atmospheric boundary layer turbulence on ship airwakes. Ocean Engineering, 363(P2). https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2026.126428

Linton, D., & Thornber, B. (2021). Quantifying uncertainty in turbulence resolving ship airwake simulations. Ocean Engineering, 229. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108983

Owen, I., Lee, R., Wall, A., & Fernandez, N. (2021). The NATO generic destroyer – a shared geometry for collaborative research into modelling and simulation of shipboard helicopter launch and recovery. Ocean Engineering, 228. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108428

Sari, S., Dogrul, A., & Bayraktar, S. (2025). Airwake Characteristics of NATO-Generic Destroyer: A Numerical Study. Journal of Applied Fluid Mechanics, 18(1), 112–130. https://doi.org/10.47176/jafm.18.1.2886

Shukla, S., Sinha, S. S., & Singh, S. N. (2019, April 1). Ship-helo coupled airwake aerodynamics: A comprehensive review. Progress in Aerospace Sciences, Vol. 106, pp. 71–107. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.02.002

Participant-Independent Classification of Exercise-Related Fatigue Proxies Using EMG and Accelerometer Features

İsmail ÇALIKUŞU[1]

[1]*E-mail: ismailcalikusu@nevsehir.edu.tr; Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Vocational School, Department of Electronics and Automation, Türkiye.*

Özet

Bu çalışma, yüzey elektromiyografisi (EMG) ve üç eksenli ivmeölçer sinyalleriyle kişiden bağımsız kas yorgunluğu göstergesi sınıflandırmasını değerlendirdi. Otuz amatör sporcunun iki taraflı biseps ve triseps kayıtları, %50 örtüşmeli 1 saniyelik pencerelere ayrıldı. Her pencereden 11 EMG ve 11 ivmeölçer özelliği çıkarıldı. Egzersiz serisinin ilk %30'u erken/yorgunluk yok göstergesi, son %30'u geç/yorgunluk göstergesi olarak etiketlendi; ortadaki %40 ikili modelin dışında bırakıldı. Radyal tabanlı destek vektör makinesi, hiperparametre seçimi yalnızca eğitim katlarında yapılan iç içe geçmiş denek-dışarıda doğrulama ile sınandı. Model %67,98 dengeli doğruluk, %81,02 duyarlılık, %54,94 özgüllük ve 0,701 eğri altı alan elde etti. Sonuçlar, geç egzersiz pencerelerinin yeni katılımcılarda orta düzeyde ayırt edilebildiğini, ancak bu zamansal etiketlerin fizyolojik yorgunluğu doğrudan doğrulamadığını gösterdi.

Anahtar Kelimeler: elektromiyografi; ivmeölçer; kas yorgunluğu göstergesi; makine öğrenmesi; katılımcıdan bağımsız doğrulama

Abstract

This study examined participant-independent classification of exercise-related fatigue proxies from surface electromyography (EMG) and three-axis accelerometer signals. Bilateral biceps and triceps recordings from 30 amateur athletes were divided into 1-s windows with 50% overlap. Eleven EMG and 11 accelerometer features were extracted from each window. The first 30% of each exercise series represented the early non-fatigue proxy, and the last 30% represented the late fatigue proxy; the middle 40% was excluded from binary modelling. A radial-basis support vector machine was tested with nested leave-one-subject-out validation, and hyperparameters were selected only within training folds. The model achieved 67.98% balanced accuracy, 81.02% sensitivity, 54.94% specificity, and an area under the receiver operating characteristic curve of 0.701. Late exercise windows could therefore be distinguished in unseen participants with moderate accuracy, but the time-based labels do not independently verify physiological fatigue.

Keywords: accelerometer; electromyography; fatigue proxy; machine learning; participant-independent validation

INTRODUCTION

Muscle fatigue is a task-dependent reduction in the capacity to produce force. Detecting it during exercise is relevant to training, rehabilitation, ergonomics, and wearable control systems. Surface electromyography (sEMG) records neuromuscular activity non-invasively, but its amplitude and frequency content also depend on electrode placement, tissue properties, contraction type, movement, and the individual. The spectral shift and amplitude changes commonly associated with fatigue are therefore less consistent during dynamic exercise than during controlled isometric contractions (Merletti, Knaflitz, & De Luca, 1990; Bonato, Roy, Knaflitz, & De Luca, 2001; Cifrek, Medved, Tonković, & Ostojić, 2009).

No single feature captures all of this variation. RMS, mean absolute value (MAV), waveform length, and zero crossings provide inexpensive time-domain summaries, while mean and median frequency describe spectral redistribution. Entropy measures offer a complementary view of signal organization (Xie, Guo, & Zheng, 2010). Previous studies have combined these descriptors with support vector machines, time-frequency methods, and recurrent models (Al-Mulla & Sepulveda, 2010; Karthick & Ramakrishnan, 2016, 2018; Wang, Sun, & Sun, 2021).

Movement is another source of variation in dynamic sEMG. Acceleration signals can describe that movement and help distinguish changes in muscle activity from changes in the task itself. EMG and inertial measurements have been studied together in manual handling, laboratory exercise, and construction work (Barsotti, Khalaf, & Gan, 2020; Goubault et al., 2022; Bangaru, Wang, & Aghazadeh, 2022), and recent wearable datasets and multimodal networks have extended this approach (Yasar et al., 2024; Hwang et al., 2025). Comparisons across studies remain difficult because the tasks, muscles, fatigue definitions, windowing procedures, and validation strategies differ.

Validation design is especially important when a dataset contains many windows from relatively few people. A random window-level split can place adjacent or overlapping windows from the same participant in both training and testing data. The resulting accuracy does not represent performance in a new individual. Leakage also occurs if the held-out participant influences feature scaling, imputation, or hyperparameter selection. For an unseen-participant use case, the outer split must be participant-wise and every model-selection step must remain inside the training data.

The public dataset analysed here contains bilateral biceps and triceps sEMG recorded together with three-axis acceleration in 30 amateur athletes (Polo, Moreno-Barriga, Narváez, & Viloria-Porto, 2025). A subsequent paper used the recordings to study cloud-based sEMG segmentation and computational cost rather than participant-independent fatigue classification (Polo, Callejas Cabarcas, Ripoll Solano, Robles-Algarín, & Rodríguez-Álvarez, 2026). The present study provides a leakage-aware benchmark using compact, interpretable features. It asks whether early and late portions of exercise can be distinguished in participants excluded from model development and describes how selected features change over the course of the recorded series.

METHODS

Dataset and Participants

The open EMG Dataset for Muscle Fatigue Analysis in Biceps and Triceps (version 1) was used. It includes 30 amateur athletes (25 men and 5 women), aged 17-32 years. Recordings were obtained from the right and left biceps and triceps and are coded B1, B2, T1, and T2. Each file contains one EMG channel and the X, Y, and Z outputs of an ADXL335 GY-61 three-axis accelerometer. Although the repository description also uses the word “gyroscope,” the ADXL335 measures acceleration; no gyroscope feature was included. The ManualSegmentation file gives the start and end sample of as many as four exercise series per recording. All 120 candidate signal files were processed.

The analysis used a sampling frequency of 1000 Hz, based on the processing record supplied with the workflow. The public repository describes signal timing ambiguously and does not provide separate hardware metadata that independently confirms this rate (Polo et al., 2025). The filter frequencies and all time-based calculations in this paper therefore depend on the 1000-Hz analysis assumption. The study reanalysed an existing public dataset and did not recruit participants or collect new measurements.

Signal Processing and Window Labelling

Each manually marked exercise series was processed separately. The EMG signal was demeaned, filtered from 20 to 450 Hz with a fourth-order Butterworth band-pass filter applied forward and backward, and then passed through a 50-Hz notch filter. The filtered signals were divided into 1-s windows with 50% overlap. Non-finite feature values, when present, were replaced with medians estimated only from the relevant training fold.

Labels were based on normalized time within each exercise series. Windows in the first 30% were assigned to the early, non-fatigue-proxy class; those in the last 30% were assigned to the late, fatigue-proxy class. The middle 40% was excluded from binary classification but retained for descriptive plots. For those plots, each series was divided into five equal normalized stages. These labels describe position within the exercise series and are not an independent physiological diagnosis of fatigue.

Feature Extraction

Twenty-two features were calculated from each window. The 11 EMG features were RMS, MAV, integrated EMG, variance, waveform length, zero crossings, slope-sign changes, Willison amplitude, mean frequency, median frequency, and normalized spectral entropy. Mean and median frequency were derived from Welch power spectral density estimates. The 11 acceleration features were the mean and standard deviation of each axis, the mean and standard deviation of vector magnitude, signal-magnitude area, energy, and jerk. The complete feature set was entered into the classifier without prior feature selection.

Nested Participant-Independent Modelling

A radial-basis-function support vector machine was evaluated with nested leave-one-subject-out (LOSO) validation. Each outer fold held out one of the 30 participants, including all windows from that person. Within the other 29 participants, an inner LOSO procedure selected the box constraint C and kernel scale from {0.1, 1, 10} using mean inner-fold balanced accuracy. Imputation medians and standardization parameters were estimated from training data at each stage and then applied to the corresponding validation or test data. The model fitted in each outer fold used inverse-frequency class weights.

Predictions and decision scores from the 30 outer test folds were pooled to calculate accuracy, balanced accuracy, sensitivity, specificity, precision, F1-score, and area under the receiver operating characteristic curve (AUC), with the late fatigue-proxy class treated as positive. Because these pooled metrics are window-weighted, participants with more eligible windows contribute more observations.

Outer-fold balanced accuracy was also inspected to describe between-participant variation. Feature boxplots across the five normalized stages were descriptive; no hypothesis test was applied to stage differences. The workflow was implemented in MATLAB.

RESULTS

Feature extraction yielded 1,385 windows from 30 participants. Removing the transition windows left 769 windows for binary classification: 395 early non-fatigue-proxy windows and 374 late fatigue-proxy windows. In Figure 1, RMS and MAV were usually higher after the first stage, but neither measure followed a steady increase across all five stages. Their wide distributions indicate that amplitude also varied with the recording, muscle, and movement.

The frequency-domain features showed similar heterogeneity. Mean and median frequency did not decrease consistently in the later stages, and both displayed local increases in the middle of the series. Spectral entropy changed little after the first stage, apart from several low outliers. Acceleration vector standard deviation tended to be higher later in the exercise, although many values remained near zero. The overlap across stages explains why none of these descriptors alone acts as a consistent marker in these dynamic recordings.

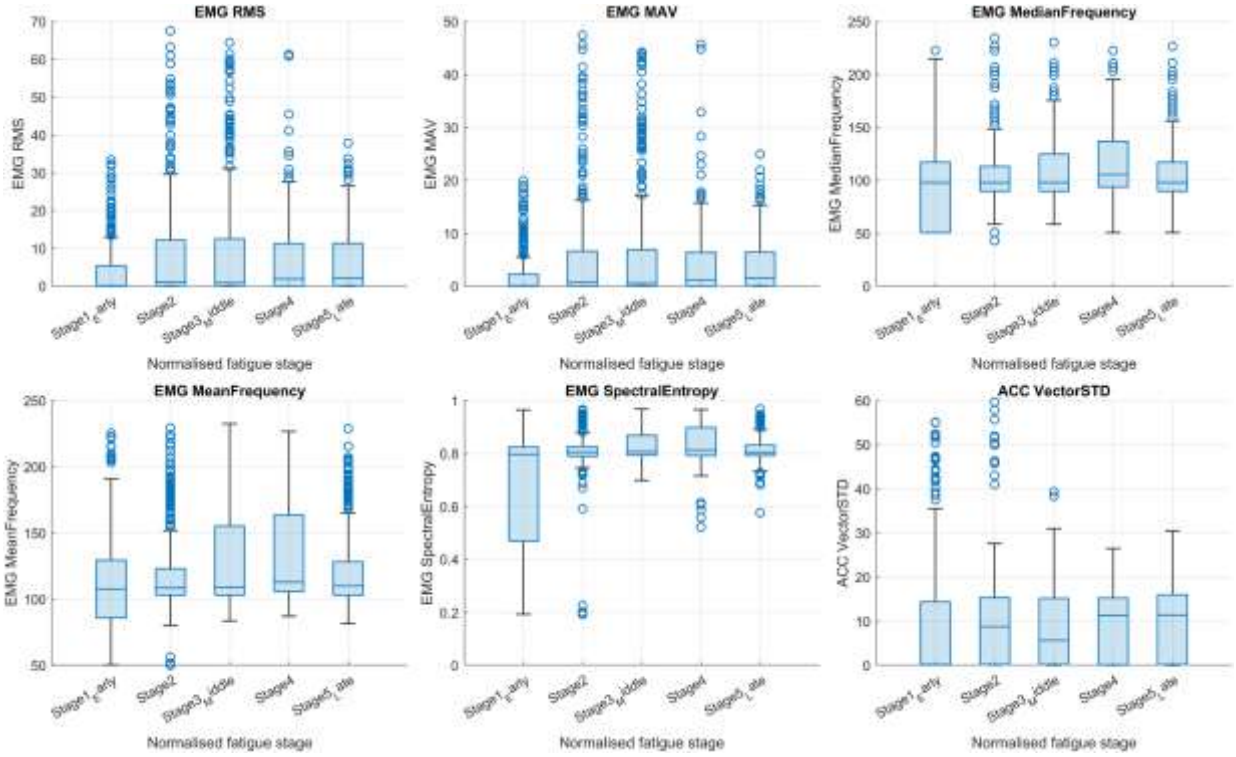


Figure 1. Selected EMG and accelerometer features across five normalized exercise stages. Circles indicate observations beyond the whiskers.

The pooled outer-fold predictions produced 67.62% accuracy and 67.98% balanced accuracy (Table 1). Sensitivity was 81.02%, specificity was 54.94%, precision was 62.99%, and F1-score was 70.88%. The

difference between sensitivity and specificity shows that the classifier detected late-series windows more readily than it correctly retained early-series windows in the negative class.

Table 1. *Participant-independent classification performance*

Metric	Value	Metric	Value
Accuracy	67.62%	Balanced accuracy	67.98%
Sensitivity	81.02%	Specificity	54.94%
Precision	62.99%	F1-score	70.88%
ROC AUC	0.701	Evaluated windows	769

The pooled confusion matrix contained 217 true negatives, 178 false positives, 71 false negatives, and 303 true positives (Figure 2). False-positive classification of early windows was therefore the most common error. The pooled receiver operating characteristic curve had an AUC of 0.701 (Figure 3). Balanced accuracy across held-out participants ranged from approximately 0.49 to 0.92, showing that performance differed markedly between individuals.

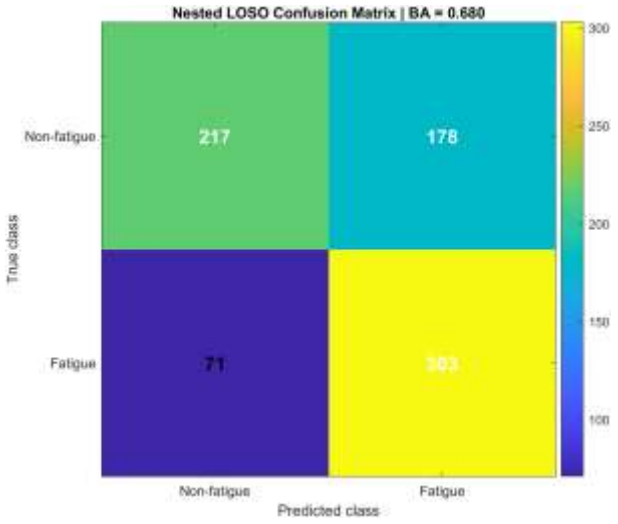


Figure 2. *Pooled outer-fold confusion matrix. Rows denote true classes and columns predicted classes.*

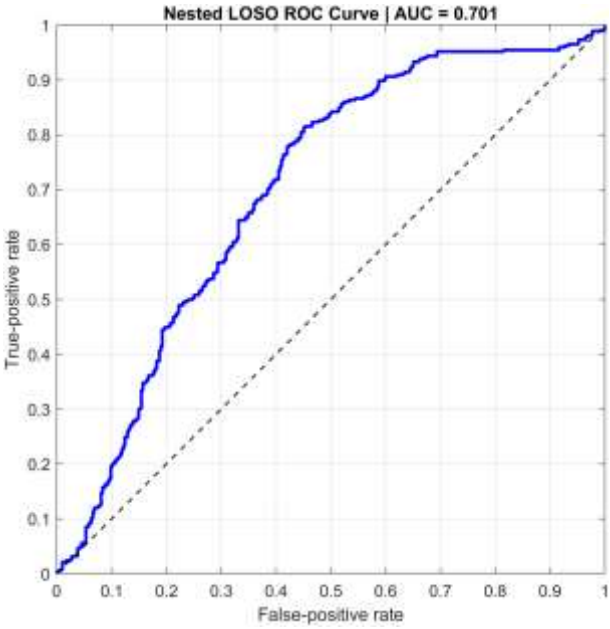


Figure 3. *Pooled outer-fold receiver operating characteristic curve; AUC = 0.701.*

DISCUSSION AND CONCLUSION

The classifier showed moderate generalization to unseen participants. Its balanced accuracy was 67.98% and its AUC was 0.701, but 178 early windows were labelled as late fatigue proxies. A system tuned this way may be useful when missing a possible fatigue event is considered more costly than an early warning. In settings where false alarms interrupt work or training, the observed specificity of 54.94% would be inadequate.

The feature distributions help to explain this result. Increased sEMG amplitude and lower characteristic frequency are established fatigue signs under controlled contractions, whereas dynamic exercise also changes force, joint angle, electrode-skin contact, and motor strategy (Bonato et al., 2001; Cifrek et al., 2009). Here, amplitude was generally higher than in the earliest stage but did not rise continuously, and mean and median frequency did not show a uniform decline. Acceleration provided information about movement, yet its stage distributions also overlapped. A fixed threshold on one feature would therefore be difficult to justify for these recordings.

Earlier studies are not directly comparable with this analysis. Bangaru et al. (2022) used recurrent modelling of forearm EMG and inertial signals, while Hwang et al. (2025) evaluated a hybrid deep network. Their populations, tasks, sensor locations, label definitions, and model capacities differ from those used here. The present estimates also come from a stricter validation design in which the test participant had no role in normalization or hyperparameter selection. The results should be interpreted as a benchmark for this dataset, not as a general ranking of modelling methods.

The contribution of this study is the evaluation protocol rather than a claim of high diagnostic accuracy. The dataset paper introduced the multimodal biceps and triceps recordings (Polo et al., 2025), and the later cloud study examined segmentation efficiency (Polo et al., 2026). This analysis adds a participant-independent baseline with nested model selection and interpretable features. All windows from a participant remain on one side of the outer training-test split, and preprocessing parameters are learned without access to that participant.

Several limitations restrict the conclusions. Early and late temporal position served as proxy labels; force loss, maximal voluntary contraction, perceived exertion, and blood lactate were not available to verify fatigue. Overlapping windows are correlated, even though participant-wise splitting prevents identity leakage. The cohort is small and includes only five women, and data from different muscles and sides were pooled. Pooled metrics are also influenced by the number of windows contributed by each participant. The study has no external validation, participant-level confidence intervals, probability calibration, or formal comparison of EMG-only, accelerometer-only, and fused models. Finally, the 1000-Hz sampling rate could not be confirmed independently from the public hardware metadata, and the stage plots support description rather than statistical inference.

In summary, nested LOSO validation detected late-exercise fatigue proxies with useful sensitivity but limited specificity. A stronger evaluation would combine physiological or performance-based fatigue measurements with an independent cohort, report participant-level uncertainty, and compare each sensor modality with their fusion. Until those tests are available, the present model is best regarded as a reproducible baseline for this public dataset rather than a validated fatigue-monitoring system.

DATA AVAILABILITY AND ETHICS

The analysed dataset is publicly available from Mendeley Data under a CC BY 4.0 licence (Polo et al., 2025; https://doi.org/10.17632/8j2p29hnbv.1). This secondary analysis used de-identified public data

and involved no new participant contact or data collection. Ethical approval and consent for the original recordings remain the responsibility of the dataset creators and their institution.

REFERENCES

Al-Mulla, M. R., & Sepulveda, F. (2010). Novel feature modelling the prediction and detection of sEMG muscle fatigue towards an automated wearable system. Sensors, 10(5), 4838–4854. https://doi.org/10.3390/s100504838

Bangaru, S. S., Wang, C., & Aghazadeh, F. (2022). Automated and continuous fatigue monitoring in construction workers using forearm EMG and IMU wearable sensors and recurrent neural network. Sensors, 22(24), 9729. https://doi.org/10.3390/s22249729

Barsotti, A., Khalaf, K., & Gan, D. (2020). Muscle fatigue evaluation with EMG and acceleration data: A case study. In Proceedings of the 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 3138–3141). https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9175315

Bonato, P., Roy, S. H., Knaflitz, M., & De Luca, C. J. (2001). Time-frequency parameters of the surface myoelectric signal for assessing muscle fatigue during cyclic dynamic contractions. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 48(7), 745–753. https://doi.org/10.1109/10.930899

Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., & Ostojić, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. Clinical Biomechanics, 24(4), 327–340. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.01.010

Goubault, E., Martinez, R., Bouffard, J., Dowling-Medley, J., Begon, M., & Dal Maso, F. (2022). Shoulder electromyography-based indicators to assess manifestation of muscle fatigue during a laboratory-simulated manual handling task. Ergonomics, 65(1), 118–133. https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1958013

Hwang, S., Kwon, N., Lee, D., Kim, J., Yang, S., Youn, I., Moon, H.-J., Sung, J.-K., & Han, S. (2025). A multimodal fatigue detection system using sEMG and IMU signals with a hybrid CNN-LSTM-attention model. Sensors, 25(11), 3309. https://doi.org/10.3390/s25113309

Karthick, P. A., & Ramakrishnan, S. (2016). Surface electromyography based muscle fatigue progression analysis using modified B distribution time-frequency features. Biomedical Signal Processing and Control, 26, 42–51. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.12.007

Karthick, P. A., & Ramakrishnan, S. (2018). Surface electromyography based muscle fatigue detection using high-resolution time-frequency methods and machine learning algorithms. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 154, 45–56. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.10.024

Merletti, R., Knaflitz, M., & De Luca, C. J. (1990). Myoelectric manifestations of fatigue in voluntary and electrically elicited contractions. Journal of Applied Physiology, 69(5), 1810–1820. https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.5.1810

Polo, A., Moreno-Barriga, O., Narváez, P., & Viloria-Porto, J. (2025). EMG dataset for muscle fatigue analysis in biceps and triceps (Version 1) [Data set]. Mendeley Data. https://doi.org/10.17632/8j2p29hnbv.1

Polo, A., Callejas Cabarcas, M., Ripoll Solano, L. A., Robles-Algarín, C., & Rodríguez-Álvarez, O. (2026). Cloud-based sEMG segmentation for muscle fatigue monitoring: A wavelet–quantile approach with computational cost assessment. Technologies, 14(1), 16. https://doi.org/10.3390/technologies14010016

Wang, J., Sun, S., & Sun, Y. (2021). A muscle fatigue classification model based on LSTM and improved wavelet packet threshold. Sensors, 21(19), 6369. https://doi.org/10.3390/s21196369

Xie, H. B., Guo, J. Y., & Zheng, Y. P. (2010). Fuzzy approximate entropy analysis of chaotic and natural complex systems: Detecting muscle fatigue using electromyography signals. Annals of Biomedical Engineering, 38(4), 1483–1496. https://doi.org/10.1007/s10439-010-9933-5

Yasar, M. N., Sica, M., O'Flynn, B., Tedesco, S., & Menolotto, M. (2024). A dataset for fatigue estimation during shoulder internal and external rotation movements using wearables. Scientific Data, 11, 433. https://doi.org/10.1038/s41597-024-03254-8

TCR Tabanlı Sistemlerde Reaktif Güç Kompanzasyonu için LADRC

Fahrettin OKUR[1], Bedri BAHTİYAR [2]

[1]fahrettin.okur@akgunelk.com, Akgün Elektrik Mühendislik, Denizli /Türkiye.
[2]bedribahtiyar@pau.edu.tr, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-elektronik Mühendisliği Bölümü, Denizli/Türkiye.

Özet

Modern güç sistemlerinde reaktif güç dengesizliklerinin hızlı ve kararlı biçimde giderilmesi, güç kalitesinin korunması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, TCR tabanlı SVC sistemlerinde ateşleme açısının denetimi için LADRC yöntemi uygulanmış ve yöntemin performansı PID denetleyicisiyle gerçek zamanlı deneyler aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Deneyler, referans takibi ve kapasitör anahtarlaması olmak üzere iki farklı çalışma senaryosunda gerçekleştirilmiştir. Düşük bozuculu referans takip testinde iki denetleyicinin birbirine yakın performans sergilediği görülmüştür. Kapasitör anahtarlamalarının bozucu etki oluşturduğu koşullarda ise LADRC, PID denetleyicisine göre RMSE değerini yaklaşık %47,8 azaltmıştır. Elde edilen sonuçlar, LADRC'nin genişletilmiş durum gözetleyicisi sayesinde sistem belirsizlikleri ve ani bozucu etkiler karşısında daha etkili ve kararlı bir reaktif güç denetimi sağlayabildiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: LADRC, PID, reaktif güç kompanzasyonu, Statik VAR Kompansatörü (SVC), Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)

Abstract

Rapid and stable compensation of reactive power imbalances is essential for maintaining power quality in modern power systems. In this study, LADRC was applied to firing-angle control in TCR-based SVC systems, and its performance was compared with that of a PID controller through real-time experiments. The experiments considered two operating scenarios: reference tracking and capacitor switching. Under low-disturbance reference-tracking conditions, the two controllers exhibited comparable performance. When capacitor switching introduced abrupt disturbances, LADRC reduced the RMSE by approximately 47,8% compared with the PID controller. The results indicate that, owing to its extended state observer, LADRC can estimate and compensate for system uncertainties and external disturbances more effectively, thereby providing more robust and stable reactive power control under dynamic operating conditions.

Keywords: LADRC, PID, reactive power compensation, Static VAR Compensator (SVC), Thyristor Controlled Reactor (TCR)

GİRİŞ

Günümüz teknolojisindeki gelişmeler ve üretim artışıyla birlikte iş yerlerinde, konutlarda ve sanayide reaktif enerji tüketen cihaz ve makinelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Kurulan yeni fabrikalar ve tesisler, güç sistemi üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır. Ayrıca şebekeye entegre edilen

yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken üretim karakteristikleri ve dinamik yük koşulları sistem kararlılığını sağlamak için daha gelişmiş çözümler gerektirmektedir (Gelen ve Yalçınöz, 2005). Reaktif güç, akım ve gerilim arasında faz farkı yaratarak iletim hatlarında sürekli bir enerji dalgalanmasına neden olmakta, hattın güç taşıma kapasitesini ise termal sınırlar, yalıtım limitleri ve kararlılık faktörleri çerçevesinde kısıtlamaktadır. Artan enerji talebini karşılamak adına yeni iletim hatları inşa etmek, yüksek maliyet, yer tahsisi ve yoğun iş gücü gibi zorlukları beraberinde getirse de tüm bu teknik kısıtlamalar ve maliyetli yatırımlar modern Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexible Alternating Current Transmission Systems- FACTS) cihazları kullanılarak etkin bir şekilde aşılabilmektedir (Satpute ve Vaidya, 2014). FACTS cihazları, geleneksel mekanik anahtarlama elemanlarına kıyasla daha hızlı ve dinamik bir şekilde yanıt verebilen güç elektroniği temelli bileşenlerden oluşmaktadır. FACTS cihazlarından biri olan Statik VAr Kompansatörü (Static VAr Compensator- SVC), genellikle yüksek güçlü enerji iletim sistemlerinde ve endüstriyel tesislerde şebekeden reaktif güç çekerek veya şebekeye reaktif güç sağlayarak, güç faktöründe iyileştirme ve gerilim seviyesini dengeleme işlemleri yapmaktadır. Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (Thyristor Switched Capacitor- TSC), Sabit Kapasitör (Fixed Capacitor- FC), Tristör Anahtarlamalı Reaktör (Thyristor Switched Reactor- TSR) ve Tristör Kontrollü Reaktör (Thyristor Controlled Reactor- TCR) gibi bileşenlerden oluşmaktadır.

Literatürde, SVC performansını artırmak için farklı denetleyici yöntemler önerilmiştir. Örneğin, FC ve TCR'yi birlikte kullanan bir çalışmada TCR reaktörünün ateşleme açısı yapay sinir ağı ve yapay sinir ağı tabanlı Oransal-İntegral-Türev (Proportional-Integral-Derivative- PID) denetleyicileriyle kontrol edilmiş ve bu iki farklı denetleyici karşılaştırılmıştır (Abood ve arkadaşları, 2012). Karşılaştırma sonucunda yapay sinir ağı tabanlı PID denetleyicisinin daha hızlı bir denetleme performansına sahip olduğu gösterilmiştir. Başka bir çalışmada rüzgâr enerjisi santrali prototipi üzerinde TSC tabanlı bir SVC yapısı hem simülasyon hem de deneysel yöntemlerle analiz edilmiştir (Ahmed ve arkadaşları, 2003). Çalışmada kontrol mekanizması olarak PI denetleyici kullanılmış ve bu yaklaşımın sisteme esneklik kazandırdığı ortaya konulmuştur. TSC ve TCR bulunan sistemlerde voltaj düşümlerini ve harmoniği azaltmak için bulanık mantık kontrolü ve yapay sinir ağı yöntemini kullanan bir çalışmada önerilen yöntemin harmoniği azalttığı belirtilmiştir (Kulkarni ve arkadaşları, 2017).

Ancak TCR üniteleri, doğası gereği doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir ve şebeke parametrelerindeki ani değişimler klasik denetleyicilerin performansını sınırlamaktadır. Buna karşılık LADRC, sistem dinamikleri hakkında kesin bir modele ihtiyaç duymadan, dış bozucuları ve belirsizlikleri bir Genişletilmiş Durum Gözetleyicisi (Extended State Observer- ESO) ile gerçek zamanlı tahmin ederek telafi etme yeteneğine sahiptir (Gao, 2003). Bu çalışmada, söz konusu sınırlamaları aşmak amacıyla TCR tetikleme açısının denetimi için Doğrusal Etkin Bozucu Engellemeli Denetim (Linear Active Disturbance Rejection Control- LADRC) yöntemi önerilmektedir. Normal şartlarda ve kapasitör anahtarlama gibi bozucu etkiler altında yapılan gerçek zamanlı deneylerde LADRC ile literatürde TCR kontrolünde sıklıkla kullanılan PID denetleyici karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, LADRC yönteminin özellikle bozucu etkilerin bulunduğu çalışma koşullarında PID denetleyicisine göre daha başarılı bir performans sergilediğini göstermiştir.

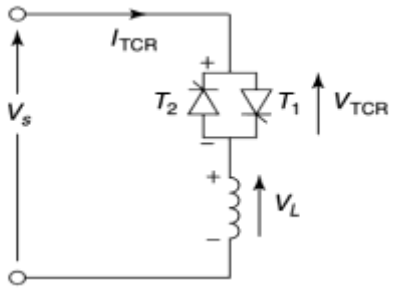
Makalenin bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Yöntem bölümünde, TCR sistemi ve ardından denetleyici yöntemleri tanıtılmıştır. Daha sonra Bulgular bölümünde gerçek zamanlı deneysel çalışma düzeneği tanıtılmış ve bu düzenek üzerinde normal çalışma ve kapasitör anahtarlama koşullarının oluşturulduğu iki farklı senaryo için denetleyici performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde çalışmaya ait tespitler verilmiştir.

YÖNTEM

Bu bölümde önce TCR yapısı anlatılacak ve ardından TCR'nin kontrolü için karşılaştırılan iki denetleyici yapısı tanıtılacaktır.

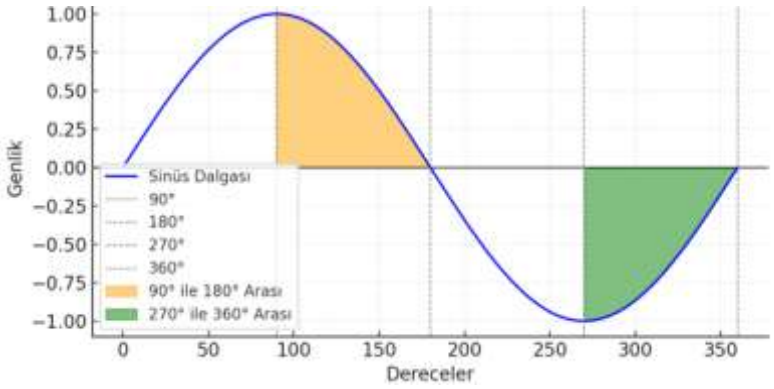
Tristör Kontrollü Reaktör

TCR, günümüz güç sistemlerinde gerilim regülasyonu, reaktif güç kompanzasyonu ve güç kalitesini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir FACTS cihazıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bir reaktör ile seri olarak bağlanan ve anahtarlama açısını değiştirerek akım akışını kontrol eden ters paralel bağlı iki tristörden oluşur (Amrr ve Asghar, 2024).



Şekil 1. *TCR bağlantı şeması.*

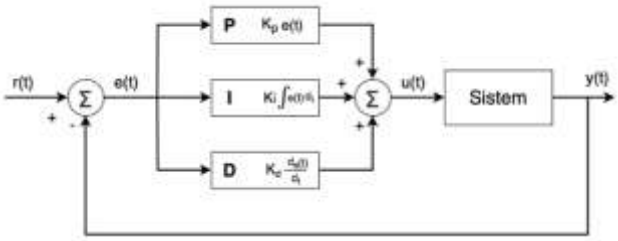
TCR'nin ateşleme açısı 90° ile 180° arasında kontrol edilebilmelidir. Aksi halde sistemde istenmeyen harmonikler ve dengesizlikler meydana gelebilir. Ateşleme açısı 90° olarak ayarlandığında tristör tam iletimi sağlanmaktadır ve TCR içinde sürekli sinüzoidal akım akışı oluşur. TCR'nin ateşleme açısı 90°'den 180°'ye yaklaştıkça akım giderek kesikli hale gelir ve akımın etkin değeri (Root Mean Square- RMS) azalır. Şekil 2'de TCR'nin ateşleme açısına uygun bölge ve ölü zaman bölgesi gösterilmektedir. Burada, turuncu ve yeşil bölgeler her iki çevrimde ateşleme yapılacak bölgeleri göstermektedir. Beyaz kalan bölgeler ise ölü zaman bölgesidir.



Şekil 2. *TCR'nin ateşleme açı bölgeleri.*

PID Denetleyici

PID denetleyicisi, endüstriyel uygulamalarda ve mekanik sistemlerde tasarım basitliği, verimliliği ve performansı nedeniyle en çok tercih edilen geri beslemeli kontrol yöntemidir (İplikçi, 2010). Oransal terim, integral ve türevsel terimden oluşan sürekli zamanlı bir PID bloğunun blok şeması Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. *PID denetleyicisi.*

Burada, $r(t)$ sisteme uygulanan referans sinyali, $y(t)$ sistemin çıkışı, $e(t)$ ise sistemin çıkışı ile referans arasındaki hatayı temsil etmektedir. $u(t)$ ise sisteme uygulanan kontrol işaretidir.

Bu çalışmada PID denetleyicisinin Denklem 2.1'de görülen ayrık zamanlı biçimi kullanılmıştır.

$$u_{n+1} = u_n + K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (2.1)$$

Burada n ayrık zamandaki örnekleme anını, u_{n+1} üretilecek yeni kontrol işaretini, u_n ise bir önceki döngüde üretilen kontrol işaretini ifade eder. Benzer şekilde, e_n sistemde ölçülen mevcut hatayı, e_{n-1} bir önceki hatayı ve e_{n-2} ise iki önceki örnekleme anındaki hatayı göstermektedir. K_p, K_i ve K_d ise ayarlanabilir PID kazanç parametreleridir.

LADRC

LADRC, doğrusal olmayan, belirsizlikler içeren veya dış bozuculara maruz kalan sistemlerin kontrolü için kullanılan etkin bozucu engellemeli bir kontrol yöntemidir. LADRC'nin temel amacı, sistem dinamikleri hakkında kesin bilgi gerektirmeden, bilinmeyen bozucuları ve sistem belirsizliklerini gerçek zamanlı olarak tahmin edip telafi etmektir (Han, 2009).

Geleneksel model tabanlı denetleyicilerin aksine LADRC, sistem dinamikleri hakkında kesin ve ayrıntılı bir matematiksel modele ihtiyaç duymaz. Temel çalışma prensibi, sistemdeki modellenemeyen dinamikleri, parametre değişimlerini ve dış bozucu etkileri genelleştirilmiş bozucu adı altında tek bir terim olarak ele almak ve bir ESO yardımıyla bu bozucuyu gerçek zamanlı olarak tahmin edip kontrol sinyali ile telafi etmektir.

İkinci dereceden bir sistemin diferansiyel denklemi Denklem 2.2'deki gibi tanımlanabilir.

$$T^2\ddot{y}(t) + 2DT\dot{y}(t) + y(t) = Ku(t) \tag{2.2}$$

Burada $y(t)$ çıkış işaretini ve $u(t)$ giriş işaretini ifade etmektedir. Ayrıca D sönümleme çarpanı ve T sistem zaman sabitidir. Bu denklemde $b = K/T^2$ şeklinde bir tanımlama yapılabilir. Bu terim, b_0 bilinen kısmı ve Δb bilinmeyen kısmı olacak şekilde $b = b_0 + \Delta b$ ifade edildikten sonra, sisteme etki edecek bozucu etkilerin toplamını ifade eden $d(t)$ bozucusu ile Denklem 2.2 yeniden düzenlenirse sistem denklemi

$$\begin{aligned} \ddot{y}(t) &= \left(-\frac{2D}{T}\dot{y}(t) - \frac{1}{T^2}y(t) + \frac{1}{T^2}d(t) + \Delta b u(t)\right) + b_0 u(t) \\ &= f(t) + b_0 u(t) \end{aligned} \tag{2.3}$$

şeklinde elde edilir. Burada sistemin bozucu etkileri, genelleştirilmiş bir bozucu terim olan $f(t)$ altında sistemin kendi iç dinamikleri ile toplanarak ifade edilmiştir. Bu tanımlama sonrasında sistemin kalan kısmı, giriş sinyali $u(t)$'nin etkisiyle çalışan bir çift integratör yapısına indirgenmiştir. Bu sistemin $x_1(t) = y(t), x_2(t) = \dot{y}(t)$ ve $x_3(t) = f(t)$ olmak üzere genişletilmiş durum uzayı gösterimi

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dot{f}(t) \\ y(t) &= [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{2.4}$$

şeklindedir. Burada sisteme etki eden toplam bozulmayı ifade eden $f(t)$ büyüklüğü ölçülemeyeceğinden, bir kontrol kuralı oluşturabilmek için $\hat{x}_1(t) = \hat{y}(t)$, $\hat{x}_2(t) = \hat{\dot{y}}(t)$ ve $\hat{x}_3(t) = \hat{f}(t)$ tahminlerini yapacak bir genişletilmiş durum gözetleyicisi

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix}\dot{\hat{x}}_1(t)\\ \dot{\hat{x}}_2(t)\\ \dot{\hat{x}}_3(t)\end{bmatrix} &= \begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\hat{x}_1(t)\\ \hat{x}_2(t)\\ \hat{x}_3(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ b_0\\ 0\end{bmatrix}u(t) + \begin{bmatrix}l_1\\ l_2\\ l_3\end{bmatrix}(y(t)-\hat{x}_1)\\ &= \begin{bmatrix}-l_1 & 1 & 0\\ -l_2 & 0 & 1\\ -l_3 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\hat{x}_1(t)\\ \hat{x}_2(t)\\ \hat{x}_3(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ b_0\\ 0\end{bmatrix}u(t) + \begin{bmatrix}l_1\\ l_2\\ l_3\end{bmatrix}y(t)\end{aligned} \tag{2.5}$$

şeklinde tanımlanır. İkinci dereceden LADRC yapısının blok şeması Şekil 4'te görülmektedir. Tahmin edilen durum değişkenleri kullanılarak oluşturulan kontrol yasası

$$u(t) = \frac{u_0(t) - f(t)}{b_0}, u_0(t) = K_P\big(r(t) - \hat{y}(t)\big) - K_D\dot{\hat{y}}(t) \tag{2.6}$$

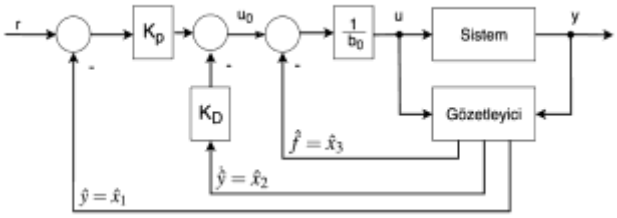
şeklinde ifade edilir. Burada $r(t)$ referans değerini göstermekte olup, $\hat{x}_1(t) = \hat{y}(t) \approx y(t)$ $\hat{x}_2(t) = \dot{\hat{y}}(t) \approx \dot{y}(t)$ ve $\hat{x}_3(t) = \hat{f}(t) \approx f(t)$ şeklinde iyi bir tahminleme yapılırsa,

$$\ddot{y}(t) = \Big(f(t) - \hat{f}(t)\Big) + u_0(t) \approx u_0(t) \approx K_P\big(r(t) - y(t)\big) - K_D\dot{y}(t) \tag{2.7}$$

gerçekleşir ve ideal koşullarda,

$$\frac{1}{K_P}\ddot{y}(t) + \frac{K_D}{K_P}\dot{y}(t) + y(t) = r(t) \tag{2.8}$$

elde edilir. Burada K_P ve K_D LADRC parametreleridir ve PID parametreleriyle karışmaması için alt indisler büyük harf olacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 4. *İkinci dereceden LADRC kontrol döngüsü.*

Bu çalışmada Denklem 2.3 ile verilen kontrol yasasını uygulamak için gerekli K_P ve K_D parametrelerinin ayarlanması için (2.9) ile verilen yöntem kullanılmıştır (Gao, 2003). Bu yönteme göre

$$K_P = (\omega_c)^2, K_D = 2\xi\omega_c \tag{2.9}$$

şeklinde bulunabilir ki burada ξ ve ω_c sırasıyla, sönüm oranı ve bant genişliği olmak üzere kontrolörün tasarım parametreleridir. Ardından

$$\omega_o \approx (3 \dots 5)\omega_c \tag{2.10}$$

şeklinde gözetleyici bant genişliği tanımlanır. Buna göre gözetleyici bant genişlikleri

$$l_1 = 3\omega_o, l_2 = 3\omega_o^2, l_3 = \omega_o^3 \tag{2.11}$$

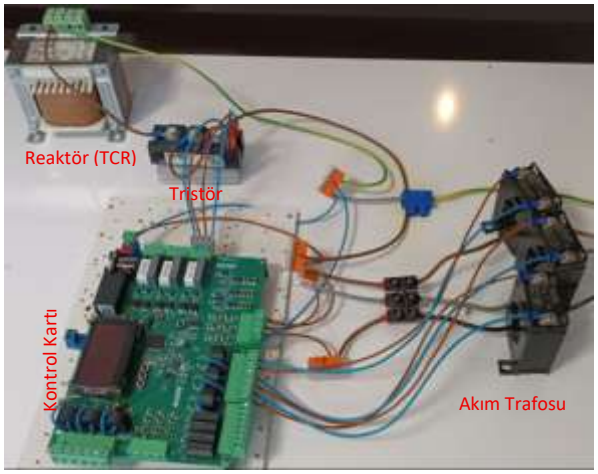
şeklinde elde edilir.

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında, TCR'nin ateşleme açısını kontrol etmek amacıyla PID ve LADRC denetleyicileri gerçek zamanlı deneylerle karşılaştırılmıştır. Deneyler, 0.5 kVAr'lık tek fazlı bir reaktör üzerinde, eş koşullar altında yürütülmüştür. Şebeke senkronizasyonuna bağlı olarak ve TCR yapısı gereği her alternansta ateşleme yapıldığı için kontrol işaretleri 20 ms'de bir üretilmiştir. Sistemin doğrusal olmayan yapısını düzenlemek için kontrol işareti u, (3.1) ile verilen sigmoid fonksiyonu üzerinden geçirilerek ateşleme açısına dönüştürülmüştür.

$$\sigma(u) = \frac{90}{1 + e^{-0.05u}} \tag{3.1}$$

Şekil 5'te gerçek zamanlı testlerin yürütüldüğü deneysel kurulum sunulmaktadır. Sistemin merkezinde yer alan mikrodenetleyici tabanlı kontrol kartı; şebekeden aktif güç, reaktif güç, akım ve gerilim verilerini gerçek zamanlı olarak örneklemektedir. Denetleyici tarafından hesaplanan kontrol işaretleri doğrultusunda, TCR birimi için gerekli olan hassas tristör tetikleme sinyalleri bu birim tarafından üretilmektedir. Ayrıca, deney sırasında elde edilen tüm ölçüm verileri ve denetleyici parametreleri, sistem analizi amacıyla USART protokolü üzerinden yüksek hızda bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

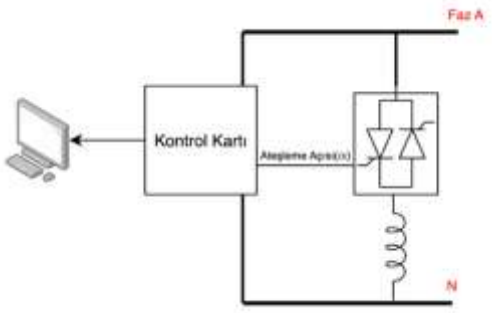


Şekil 5. *Gerçek zamanlı sistem düzeneği.*

Parametre Setinin Belirlenmesi

Denetleyicilerin parametre optimizasyonu amacıyla Karma Parametre Arama (Grid Search) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, tecrübeye dayalı olarak önceden belirlenmiş aralıklarda seçilen

kontrol parametrelerinin tüm olası kombinasyonlarını sistematik şekilde tarayarak, en iyi performans gösteren parametre setini belirlemeye olanak tanımaktadır. Şekil 6'da parametre belirlemek için oluşturulan test düzeneği gösterilmektedir.

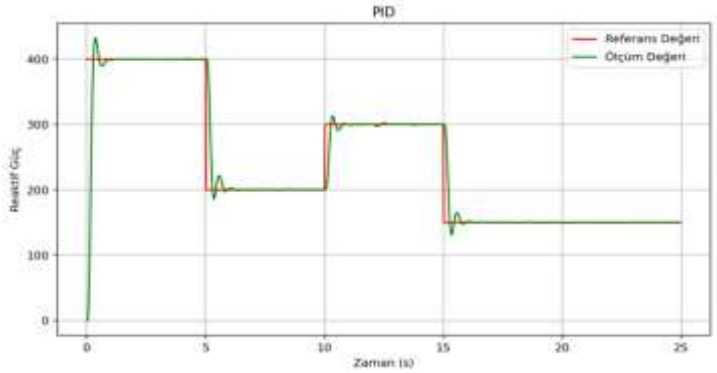


Şekil 6. *Denetleyici performans test düzeneği.*

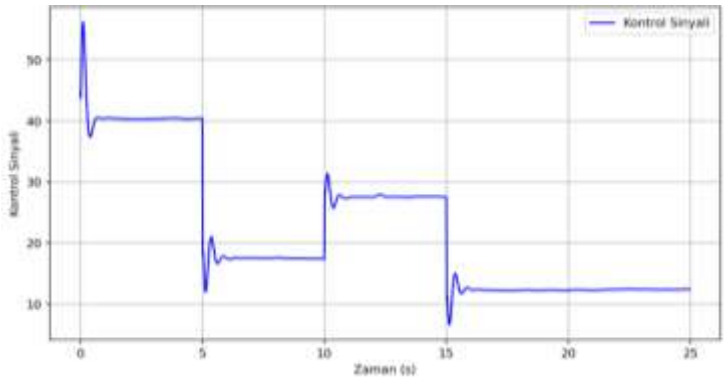
Sistem performansının gerçek zamanlı analizi için Python tabanlı bir kontrol ve veri toplama arayüzü geliştirilmiştir. Bu yazılım aracılığıyla, her iki denetleyiciye ait sonuçlar gerçek zamanlı olarak elde edilmiş ve kaydedilmiştir. Denetleyicilerin optimizasyon süreci, bilgisayar ortamında oluşturulan bir tarama matrisi üzerinden yürütülmüştür. Bu süreçte belirlenen parametre setleri, bilgisayardan kontrol kartına iletilerek TCR ünitesinin dinamik kontrolü sağlanmıştır. Sistemin farklı çalışma koşullarındaki performansını ölçmek amacıyla kontrol kartı, referans reaktif güç değerlerini belirli zaman aralıklarıyla değiştirecek şekilde programlanmıştır. Test senaryosu kapsamında sırasıyla 400 VAr, 200 VAr, 300 VAr ve 150 VAr basamak referans değerleri uygulanmıştır. Deney düzeneğinde 400 VAr başlangıç değerinden itibaren her 5s aralıklarla referans değişimi yapılmış ve her bir parametre kombinasyonu için toplam test süresi 25s olarak belirlenmiştir. Bu süreçte denetleyiciler, değişen referans değerlerine ulaşmak için uygun tetikleme açılarını dinamik olarak üretmiştir. Kontrol kartı, her parametre kombinasyonu için ölçülen anlık reaktif güç verilerini ve üretilen kontrol işaretlerini eş zamanlı olarak bilgisayara iletmiştir. Denetleyicilerin performans ölçütü olarak Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error- RMSE) değerinin yanında maksimum aşım, yükselme zamanı, oturma zamanı ve sürekli hal hatası değerleri de dikkate alınmıştır. Optimizasyon süreci iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Başlangıçta, geniş bir parametre uzayında en düşük RMSE değerini veren bölge belirlenmiştir. Belirlenen bu bölge etrafında daha dar aralıklarla ikinci bir tarama yapılarak daha hassas parametre elde edilmiştir. Nihai denetleyici parametreleri, en düşük RMSE değerini sağlayan ve aynı zamanda sistem kararlılığı için 35 VAr maksimum aşım kriterini ihlal etmeyen kombinasyon olacak şekilde belirlenmiştir.

PID denetleyicisi ve LADRC performans karakteristikleri Şekil 7–10'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Parametre optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen karma arama neticesinde, PID denetleyicisi için en uygun katsayılar $K_p = 85$, $K_i = 12$ ve $K_d = 15$ olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, sistemin dinamik cevabını en iyi şekilde karşılayan LADRC parametre seti ise $\omega_c = 13.333$, $b_0 = 1$, $k = 3$ ve $\xi = 0.65$ şeklinde belirlenmiştir. Buna göre LADRC denetleyici katsayıları $K_P =$

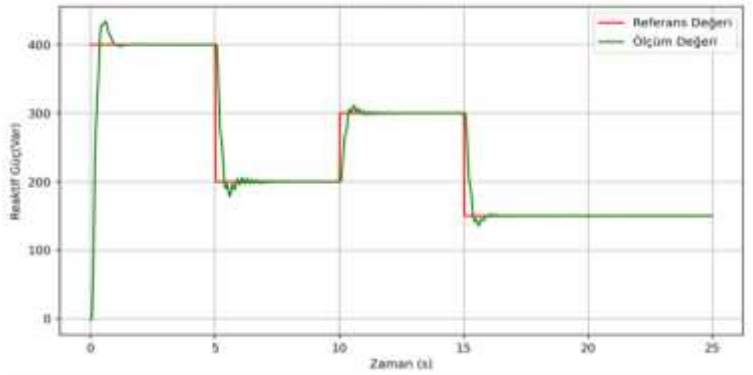
177.768 ve $K_D = 17.3329$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen parametre setleri, kapasitör etkisi altında denetleyici performans analizinde temel denetleyici parametreleri olarak kullanılmıştır.



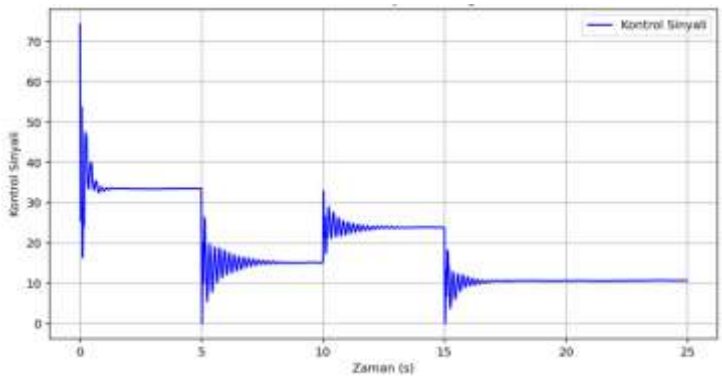
Şekil 7. *Referans takibinde PID denetleyici performansı.*



Şekil 8. *Referans takibinde PID kontrol işareti.*



Şekil 9. *Referans takibinde LADRC denetleyici performansı.*



Şekil 10. *Referans takibinde LADRC kontrol işareti.*

İncelenen verilere göre her iki denetleyicinin de birbirine oldukça yakın performans değerleri sergilediği görülmektedir. PID denetleyicisi, 36.44 VAr'lık RMSE değeri, 0.3 saniyelik yükselme zamanı ve 32.68 VAr'lık maksimum aşım değerleriyle, hız ve düşük aşım kriterlerinde LADRC'ye karşı sınırlı düzeyde daha iyi bir profil çizmektedir. Buna karşın, LADRC, sistemin denge noktasındaki hassasiyetini gösteren sürekli hal hatası bakımından 0.21 VAr ile PID'nin önüne geçerek daha kararlı bir çıkış sunmaktadır. Sonuç olarak sabit referans değeri ve düşük bozucu içeren senaryolarda PID denetleyicisinin basitlik ve hız avantajı öne çıkmaktadır. Tablo 1'de her iki denetleyicisinin sonuçları gösterilmektedir. Gösterilen sonuçlar her referans değeri için ölçülen en yüksek değerleri belirtmektedir.

Tablo 1. *Referans takip performans sonuç tablosu.*

	RMSE (VAr)	Maks. Aşım (VAr)	Oturma Süresi (s)	Yükselme Zamanı (s)	Sürekli Hal Hatası (VAr)
PID	36.44	32.68	0.9	0.3	0.25
LADRC	36.53	33.53	0.92	0.38	0.21

Kapasitör Etkisi Altında Denetleyici Performans Analizi

Gerçek kompanzasyon uygulamalarında, reaktif gücü sıfırlamak için kondansatör grupları devreye alınmaktadır. Kondansatör grupları sabit olduğu için çoğu zaman reaktif güçleri sıfırlamak mümkün olmayacaktır. Reaktif gücün tamamen sıfırlanması için TCR ile kondansatör gruplarının eş zamanlı çalışması gerekmektedir. Bu kapsamda, reaktif güç hatasının kompanse edilebilmesi amacıyla kondansatör grupları ya da kademeleri, TCR'nin çalışabileceği aralıkta ve kapasitif etki oluşturacak biçimde devreye alınmaktadır. Sistemde yer alan TCR birimi ise bu kademelerin neden olduğu fazla kapasitif etkiyi dengeleyerek uygun reaktif gücü üretir. Böylece sistemdeki toplam reaktif güç sıfırlanmasıyla güç faktörünün istenen seviyede tutulması sağlanır.

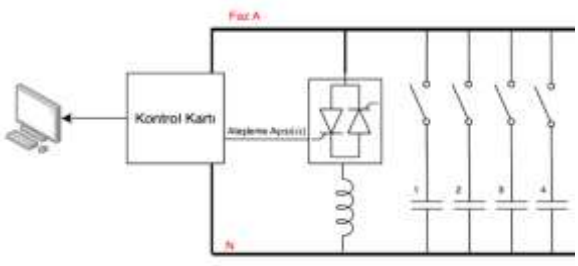
Bu durumu modellemek amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmada, sisteme kademeli olarak kondansatörler eklenip çıkarılmıştır. Devreye alınıp çıkarılan bu kondansatörler, gerçek

uygulamalardaki endüktif hata meydana geldikten sonra devreye giren kondansatör kademelerinin neden olduğu kapasitif etkiyi temsil etmektedir. Böylece gerçek zamanlı olarak kompanse edilmesi gereken kapasitif karakterde reaktif güç bozunumları oluşturulmuştur. Her iki denetleyicinin de TCR ateşleme açılarını optimum şekilde düzenleyerek kapasitif etkileri dengelemedeki ve net reaktif gücü mümkün olduğunca sıfıra yakın bir değerde tutmadaki başarımı gözlemlenmiştir. Testler, önceden tanımlanmış kapasitör gruplarının belirli sırayla devreye alınması ve çıkarılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Daha önce belirtilmiş olsa da okuyucunun kafasında karışıklık yaratmamak adına, bu kapasitör gruplarının gerçek uygulamalardaki kapasitör gruplarının devreye alınması sonrasında hatta oluşan artık kapasitif güçleri temsil ettiğinin tekrar vurgulanması gerekli görülmektedir. Kullanılan kapasitörlerin numaralandırması ve teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Kapasitör numaraları, performans grafikleri üzerinde devreye girme ve çıkarma anlarının işaretlenmesi için kullanılmıştır. Performans grafiklerinde gözlemlenen ani değişimler kapasitörlerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu ani değişimlerin yanında bulunan numaralar o anda devrede olan kapasitörü göstermektedir.

Test süresi boyunca, her bir 5 s'lik periyodun sonunda kapasitör durumları değiştirilmiş ve denetleyici tepkileri bu koşullar altında gözlemlenmiştir. Birinci durumda 1 ve 2 numaralı kapasitörler devreye alınmıştır. İkinci durumda ise 1 ve 2 numaralı kapasitörler devreden çıkarılmış ve 3 numaralı kapasitör devreye alınmıştır. Bir sonraki durumda da 2 ve 3 numaralı kapasitör devreye alınmıştır. Son durumda ise 2 ve 3 numaralı kapasitör devreden çıkarılmış ve 4 numaralı kapasitör devreye alınmıştır. Şekil 11'de gerçekleştirilen çalışmanın sistem şeması gösterilmektedir.

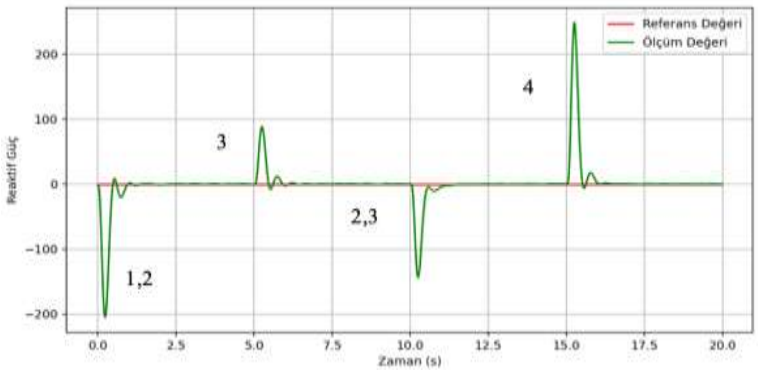
Tablo 2. *Kapasitör numarası ve özellikleri.*

1	Tek Faz ,9 μF, 50/60 Hz, 400-450 V AC (=-149,6 VAr)
2	Tek Faz ,9 μF, 50/60 Hz, 400-450 V AC (=-149,6 VAr)
3	Tek Faz, 6 μF, 50/60 Hz, 400-450 V AC (=-99,71 VAr)
4	Tek Faz, 4 μF, 50/60 Hz, 400-450 V AC (=-66,47 VAr)

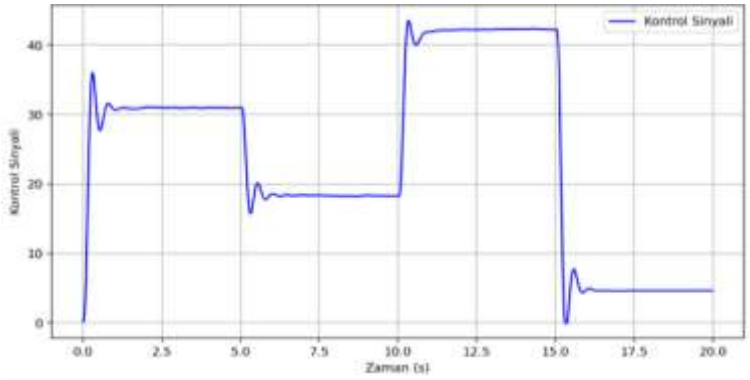


Şekil 11. *Gerçekleştirilen sistemin şeması.*

Şekil 12'de izleme başarımı ve Şekil 13'te uygulanan giriş işareti üzerinden PID denetleyicisinin kapasitör etkisi altındaki performans sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. PID denetleyicisinin RMSE değeri 34.105 VAr olarak ölçülmüştür. Her kapasitör değişiminden sonra gözlemlenen oturma süreleri ise sırasıyla 1.16 s, 1.26 s, 1.36 s ve 1.04 s olarak ölçülmüştür.

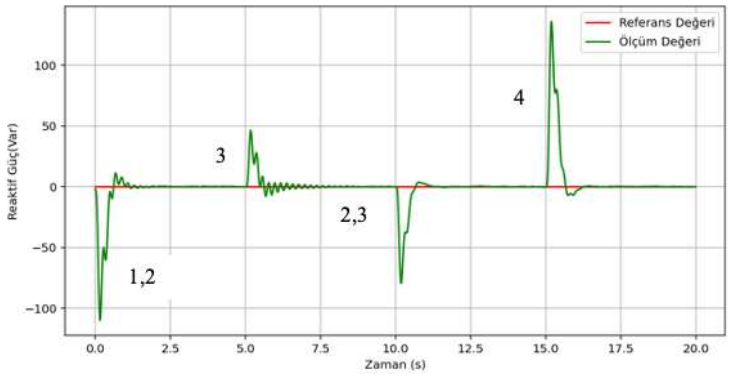


Şekil 12. *PID performansı.*

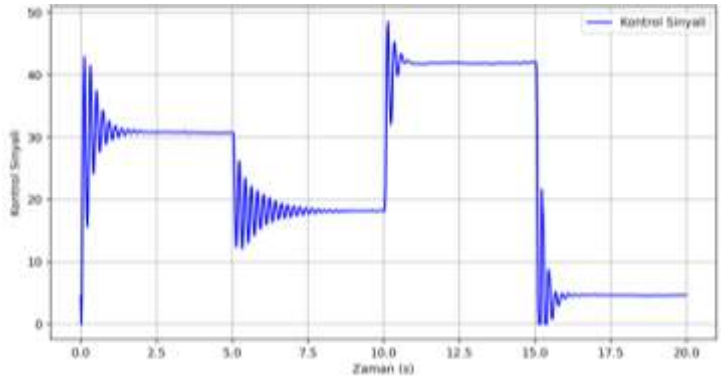


Şekil 13. *PID kontrol işareti.*

Şekil 14 ve Şekil 15'te LADRC'nin kapasitör etkisi altındaki performans sonuçları sunulmaktadır. LADRC'nin RMSE performansı 17,82 VAr olarak tespit edilmiştir. Kapasitör değişiminden sonra elde edilen oturma süreleri sırasıyla 1.22 s, 1.28 s, 1.08 s ve 1.2 s olarak ölçülmüştür. LADRC ile yapılan çalışmada, denetleyicinin kontrol işareti ve çıkışında salınımlar gözlemlenmiştir. Kondansatör değişimlerinde salınımlar olmasına karşın LADRC denetleyicisi salınımları bastırmış ve hatayı sıfıra oldukça yakın seviyede tutmuştur. PID denetleyicisi ile karşılaştırması yapıldığında LADRC denetleyicisi RMSE değeri açısından çok daha iyi bir izleme performansı göstermiştir. Bu durum, kapasitör değişimlerinin sistem üzerinde bozucu etki yarattığı dikkate alındığında LADRC denetleyicisinin bozucu etkilere karşı sahip olduğu dinamik gözlem ve telafi mekanizması sayesinde PID'ye kıyasla daha üstün bir izleme başarımı göstereceğini ifade etmektedir.



Şekil 14. *LADRC performansı.*



Şekil 15. *LADRC kontrol işareti.*

Tablo 3'te denetleyici performans sonuçları sunulmuştur.

Tablo 3. *Denetleyici performans sonuçları.*

	RMSE (VAr)	1. Oturma Süresi(s)	2. Oturma Süresi(s)	3. Oturma Süresi(s)	4. Oturma Süresi(s)
PID	34.105	1.16	1.26	1.36	1.04
LADRC	17.82	1.22	1.28	1.08	1.2

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, TCR tabanlı SVC sistemlerinin ateşleme açısı kontrolünde LADRC yöntemi uygulanmış ve yöntemin performansı PID denetleyicisiyle gerçek zamanlı deneyler üzerinden karşılaştırılmıştır. Geliştirilen deney düzeneğinde referans takibi ve kapasitör anahtarlama bozulması olmak üzere iki farklı test senaryosu gerçekleştirilmiş, denetleyiciler RMSE, maksimum aşım, yükselme zamanı, oturma süresi ve sürekli hâl hatası ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kapasitör anahtarlama bozulması gibi belirgin bozucu etkilerin bulunmadığı referans takip testinde iki denetleyicinin birbirine yakın performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu senaryoda PID denetleyicisinin geçici rejim hızı ve maksimum aşım bakımından sınırlı bir üstünlük gösterdiği, buna karşılık LADRC'nin, daha iyi bir kararlı durum performansı sergilediği görülmüştür.

Kapasitör anahtarlamalarının bozucu etki oluşturduğu ikinci testte ise LADRC'nin izleme başarımında PID denetleyicisine oranla yaklaşık %47,8 oranında daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, LADRC'nin genişletilmiş durum gözetleyicisi yardımıyla sistem belirsizliklerini ve dış bozucuları tahmin ederek telafi edebilme özelliğiyle uyumludur. Anahtarlama anlarında geçici salınımlar görülmesine rağmen LADRC, net reaktif gücün sıfıra yakın tutulmasında PID denetleyicisine göre daha başarılı bir performans göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, PID denetleyicisinin düşük bozuculu çalışma koşullarında yeterli bir performans sağladığını, LADRC'nin temel üstünlüğünün ise ani değişimlerin ve bozucu etkilerin bulunduğu dinamik çalışma koşullarında ortaya çıktığını göstermektedir. Bu yönüyle LADRC'nin, tek fazlı değişken yük koşullarında çalışan TCR tabanlı SVC sistemleri için etkili bir denetim yöntemi olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Abood, A. A., Tuaimah, F. M., & Maktoof, A. H. (2012). Modeling of SVC controller based on adaptive PID controller using neural networks. *International Journal of Computer Applications, 59*(6), 9–16. doi:10.5120/9551-4007

Ahmed, T., Ogura, K., Soshin, K., Hiraki, E., & Nakaoka, M. (2003). Small-scale wind turbine coupled single-phase self-excited induction generator with SVC for isolated renewable energy utilization. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2003)* (Vol. 1, pp. 781–786). IEEE. doi:10.1109/PEDS.2003.1283003

Amrr, S. M., & Asghar, M. S. J. (2024). Fine inductive VAR control with high power quality using thyristor controlled reactors and discontinuous phase control switching in power systems. *e-Prime—Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 10*, 100767. doi:10.1016/j.prime.2024.100767

Gao, Z. (2003). Scaling and bandwidth-parameterization based controller tuning. In *Proceedings of the 2003 American Control Conference* (Vol. 6, pp. 4989–4996). IEEE. doi:10.1109/ACC.2003.1242516

Gelen, A., & Yalçınöz, T. (2005). Aç-kapa kontrollü FACTS cihazları ile yük kompanzasyonu. *III. Otomasyon Sempozyumu*, Denizli, Türkiye.

Han, J. (2009). From PID to active disturbance rejection control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56*(3), 900–906. doi:10.1109/TIE.2008.2011621

Iplikci, S. (2010). A comparative study on a novel model-based PID tuning and control mechanism for nonlinear systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control, 20*(13), 1483–1501. doi:10.1002/rnc.1524

Kulkarni, S. D., Kulkarni, D. B., & Halbhavi, S. B. (2017). Adaptable operation of TSC-TCR for reactive power and harmonic injections. In *2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS)* (pp. 714–719). IEEE. doi:10.1109/ICPES.2017.8387383

Satpute, K. V., & Vaidya, P. S. (2014). Hybrid model of TSC-TCR for power transmission. *International Journal of Computing and Technology, 1*(1), 34–38.

SAĞLIK BİLİMLERİ

Potential Gastroprotective Effects of Lithium Therapy on Gastric Mucosa and Helicobacter pylori Colonization: A Retrospective Comparative Study

Lityum Tedavisinin Gastrik Mukoza ve Helicobacter pylori Kolonizasyonu Üzerindeki Olası Gastroprotektif Etkileri: Retrospektif Karşılaştırmalı Bir Çalışma

Gökhan Aydın[1,*]

[1]E-mail: g.aydin@giresun.edu.tr; Giresun University, Faculty of Medicine, Department of Internal Medicine, Division of Gastroenterology, Giresun / Turkey.

** Corresponding Author. ORCID: 0000-0002-2245-5941*

Özet

Amaç: Bu çalışma, dispeptik hastalarda kronik lityum tedavisinin gastrik mukozal bütünlük ve Helicobacter pylori kolonizasyonu üzerindeki etkisini, intestinal metaplazi dahil olmak üzere endoskopik ve histopatolojik parametreler açısından değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yöntem: Uzun süre lityum kullanan 25 hasta ile psikiyatrik ilaç kullanım öyküsü bulunmayan yaş uyumlu 24 kontrol hastasının kayıtları retrospektif olarak incelendi; demografik özellikler, biyokimyasal parametreler, H. pylori durumu ve gastrik mukozal değişiklikler karşılaştırıldı. Bulgular: H. pylori pozitifliği lityum grubunda kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşüktü (%22,7'ye karşı %50; OR: 0,25; p=0,032). Lityum kullanan hastalarda intestinal metaplazi saptanmazken, kontrol grubunda %20,8 oranında gözlendi (OR: 0,12; p=0,022). Sonuç: Bulgular, lityum tedavisinin olası gastroprotektif etkisini düşündürmekte olup, bu etkinin immünomodülatör ve antiinflamatuvar mekanizmalarla ilişkili olabileceğini göstermektedir. İleriye dönük, geniş örneklemli çalışmalar gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gastrik mukoza, Gastroproteksiyon, Helicobacter pylori, İntestinal metaplazi, Lityum.

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate the impact of chronic lithium therapy on gastric mucosal integrity and Helicobacter pylori colonization in dyspeptic patients, focusing on endoscopic and histopathological parameters, including intestinal metaplasia. Methods: Medical records of 25 long-term lithium users and 24 age-matched controls without a history of psychiatric medication were retrospectively reviewed; demographic characteristics, biochemical parameters, H. pylori status, and gastric mucosal changes were compared. Results: H. pylori positivity was significantly lower in the lithium group than in controls (22.7% vs. 50%; OR 0.25; p = 0.032). Intestinal metaplasia was absent in lithium users but present in 20.8% of controls (OR 0.12; p = 0.022). Conclusion: These findings suggest a potential gastroprotective effect of lithium therapy, possibly mediated by immunomodulatory and anti-inflammatory mechanisms. Larger, prospective studies are warranted.

Keywords: Gastric mucosa, Gastroprotection, Helicobacter pylori, Intestinal metaplasia, Lithium.

INTRODUCTION

Lithium, first identified in 1949 as a treatment for psychiatric conditions, remains a cornerstone in the long-term management of mood disorders, particularly for its efficacy in mood stabilization and suicide-risk reduction (Rybakowski, 2020). Despite its clinical value, lithium use is constrained by a narrow therapeutic index, the need for regular monitoring, and adverse effects such as hypothyroidism and renal impairment (Rybakowski, 2020).

Lithium is frequently associated with gastrointestinal side effects, including nausea, diarrhea, and anorexia, mediated by serotonergic dysregulation and altered gastric acid secretion; rarely, it may exacerbate ulcerative colitis or pancreatitis (Grandjean & Aubry, 2009). However, emerging evidence suggests that lithium may also exert protective effects on the gastrointestinal mucosa (Jepsen et al., 1983), with early animal studies showing that lithium supports healing of alcohol- or drug-induced gastric erosions (Abouzeit-Har et al., 1982; Lillemoe et al., 1983; Wong et al., 1984; Whitehouse & Rainsford, 1983).

Helicobacter pylori (H. pylori), a Gram-negative bacterium usually acquired in childhood, is a major cause of chronic gastritis, peptic ulcer disease, and gastric cancer when left untreated (Merryweather, 2023; Sugano et al., 2015; Crowe, 2019). Infection remains especially prevalent in areas with poor hygiene and lower socioeconomic status and is endemic in the Middle East, while East Asian populations show a higher burden of H. pylori-related premalignant lesions (Kotilea et al., 2019; Genta et al., 2017). The bacterium survives the acidic gastric environment through virulence factors such as motility, urease production, and epithelial adhesion, triggering chronic inflammation of variable severity (Merryweather, 2023; Amieva & El-Omar, 2008; Suerbaum & Josenhans, 2007). Rising antibiotic resistance complicates eradication therapy, underscoring the need for novel preventive or adjunctive strategies (Merryweather, 2023).

Given lithium's recognized immunomodulatory and anti-inflammatory properties, we hypothesized that lithium therapy might reduce H. pylori colonization and associated histopathological gastric damage. To our knowledge, no prior study has directly assessed this relationship using combined endoscopic and histopathological evaluation. This study aims to address this gap.

METHODS

This retrospective study reviewed medical records from the Psychiatry and Gastroenterology Departments of Giresun Training and Research Hospital between January 2015 and December 2024. Twenty-five patients with Bipolar Disorder receiving at least 600 mg/day of oral lithium for a minimum of one year were included. Sociodemographic and disease-related data were extracted from psychiatric files, and routine biochemical parameters obtained prior to upper gastrointestinal endoscopy were recorded.

The control group comprised 24 age- and gender-matched patients who underwent upper endoscopy for dyspeptic symptoms, with no history of psychiatric disorder or psychotropic medication use. Patients with additional psychiatric diagnoses or chronic physical illness were excluded from both

groups. Endoscopic findings were evaluated by experienced gastroenterologists, and psychiatric diagnoses and treatment histories were confirmed by psychiatrists.

Statistical Analysis. Data were analyzed using SPSS version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Continuous variables were expressed as mean ± SD or median (IQR) according to distribution, assessed with the Shapiro–Wilk test. Independent-samples t-test or the Mann–Whitney U test was applied as appropriate; categorical variables were compared using the chi-square or Fisher's exact test. Odds ratios (ORs) with 95% confidence intervals (CIs) were calculated for categorical outcomes, and a two-tailed $p < 0.05$ was considered statistically significant. Given the small sample size and single-center retrospective design, findings should be regarded as hypothesis-generating.

RESULTS

After applying inclusion and exclusion criteria, 25 patients formed the lithium group and 24 the control group. Mean age was similar between groups (45.9 ± 9.8 vs. 47 ± 8.7 years, $p = 0.783$), whereas gender distribution differed significantly ($p = 0.001$), a potential confounder. Laboratory parameters—WBC, hemoglobin, hematocrit, MCV, platelets, lymphocytes, glucose, urea, ALT, and AST—did not differ significantly between groups. Serum creatinine was higher in the lithium group (0.79 [0.7–0.87] vs. 0.64 [0.55–0.74] mg/dL, $p = 0.003$), possibly reflecting a mild renal effect (Table 1).

H. pylori infection was significantly lower in the lithium group than in controls (22.7% vs. 50%; OR 0.25, 95% CI 0.07–0.88; $p = 0.032$). Intestinal metaplasia was not observed in lithium users but was present in 20.8% of controls (OR 0.12, 95% CI 0.01–0.98; $p = 0.022$), suggesting a protective effect of lithium on the gastric mucosa (Table 2).

Table 1. *Demographic and biochemical characteristics of the lithium and control groups*

Parameters	Lithium (n=25) Mean ± SD (95% CI)	Control (n=24) Mean ± SD (95% CI)	p-value
Age (years)	45.9 (40.9–50.9)	47 (42.8–51.2)	0.783
WBC (10^9/L)	7.67 (6.63–8.7)	6.85 (6.08–7.63)	0.360
HGB (g/dL)	12.9 (12.1–13.7)	12.9 (12.1–13.7)	0.879
HTC (%)	40 (37.9–42.1)	38.8 (36.7–40.8)	0.474
MCV (fL)	88.1 (85.5–90.7)	84.2 (81–87.4)	0.072

Parameters	Lithium (n=25) Mean ± SD (95% CI)	Control (n=24) Mean ± SD (95% CI)	p-value
PLT (10^9/L)	285 (230–340)	249 (224–273)	0.565
LYMP (10^9/L)	2.26 (1.92–2.6)	2.03 (1.79–2.27)	0.290
Glucose (mg/dL)	118 (95–141)	103 (95–111)	0.743
Urea (mg/dL)	22 (19–25)	25.1 (21.2–29.1)	0.233
Creatinine (mg/dL)	0.79 (0.7–0.87)	0.64 (0.55–0.74)	0.003
ALT (U/L)	22 (15–29)	16 (14–18)	0.300
AST (U/L)	21 (16–25)	18 (16–20)	0.341
Female, n (%)	11 (44%)	20 (83.3%)	0.001
Male, n (%)	14 (56%)	4 (16.7%)	

Table 2. *Endoscopic and histopathological findings in the lithium-treated and control groups*

Parameters	Lithium (n=25) n (%)	Control (n=24) n (%)	p-value	OR (95% CI)
H. pylori positive	5 (22.7)	12 (50)	0.032	0.25 (0.07–0.88)
H. pylori negative	20 (77.3)	12 (50)	-	-
Intestinal metaplasia positive	0 (0)	5 (20.8)	0.022	0.12 (0.01–0.98)

Parameters	Lithium (n=25) n (%)	Control (n=24) n (%)	p-value	OR (95% CI)
Intestinal metaplasia negative	25 (100)	19 (79.2)	-	-

Note. Odds ratios and p-values are reported for positive outcomes. Small sample size and gender imbalance may act as confounding factors; findings are considered preliminary and hypothesis-generating.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Lithium, widely used in bipolar disorder, has traditionally been associated with gastrointestinal adverse effects such as gastritis; however, data on its direct effects on the gastric mucosa remain limited. Although earlier studies emphasized adverse gastrointestinal effects, more recent evidence points to a possible protective role, particularly regarding mucosal integrity (Gough et al., 1986). In this study, both H. pylori positivity and intestinal metaplasia were significantly lower in lithium users than in controls, suggesting a gastroprotective effect. Subgroup analyses did not reveal major deviations attributable to the gender imbalance between groups, and controls were randomly selected, limiting the risk of systematic bias.

Early animal studies demonstrated that short-term lithium use reduces gastric erosions and protects against ethanol- or NSAID-induced mucosal injury (Abouzeit-Har et al., 1982; Lillemoe et al., 1983; Wong et al., 1984). Proposed mechanisms include lithium's regulation of nitric oxide (NO) levels, which supports mucosal blood flow and healing (Nejadkey et al., 2006; Shamshiri et al., 2009), and its effects on the phosphatidylinositol cycle, adenylate and guanylate cyclase, and NO/cGMP signaling (Berridge & Irvine, 1984; Harvey et al., 1994). Lithium's inhibition of glycogen synthase kinase-3 (GSK-3) activates the Wnt signaling pathway, promoting epithelial regeneration and intestinal stem cell homeostasis (Hedgepeth et al., 1997; Clevers, 2013; Farin et al., 2012), and has shown anti-inflammatory effects in experimental models of enteritis and colitis (Hofmann et al., 2010; Beurel et al., 2010; Nassar & Azab, 2014; Fichtner-Feigl et al., 2014; Steinbach et al., 2017). These mechanisms offer plausible biological explanations for the reduced H. pylori colonization and absence of intestinal metaplasia observed among lithium users in our cohort.

The mildly elevated serum creatinine in the lithium group, consistent with lithium's known renal effects, may also indirectly influence gastric mucosal responses through renal–gastrointestinal interactions, a hypothesis warranting further investigation. To our knowledge, this is the first study to directly compare endoscopic and histopathological findings, including H. pylori status and intestinal metaplasia, between lithium users and non-users. Given the global burden of H. pylori infection and the recognized role of intestinal metaplasia as a precursor lesion for gastric cancer, these findings may carry meaningful clinical relevance.

This study has several limitations, including its small sample size (n = 49), gender imbalance between groups, retrospective single-center design, and the absence of data on mean serum lithium levels and cumulative treatment duration, which restricts interpretation of dose–response relationships. Nonetheless, the systematic evaluation of both endoscopic and histopathological parameters represents a notable strength, and the study provides original hypothesis-generating evidence in an unexplored area.

In conclusion, lithium therapy was associated with reduced H. pylori colonization and absence of intestinal metaplasia in this retrospective cohort, supporting a potential gastroprotective role possibly mediated by immunomodulatory, anti-inflammatory, and cellular regulatory mechanisms. Given these preliminary but clinically relevant findings, larger prospective, multicenter studies with standardized histopathological assessment and systematic monitoring of serum lithium concentrations are recommended to confirm these observations and clarify the underlying pharmacological mechanisms, with a view toward exploring lithium's potential adjunctive role in the prevention of H. pylori-related gastric pathology.

REFERENCES

Abouzeit-Har, M. S., Verimer, T., & Long, J. P. (1982). Effect of long-term estrogen and lithium treatment on restraint-induced gastric erosion in intact and ovariectomized rats. Die Pharmazie, 37(8), 593–595.

Amieva, M. R., & El-Omar, E. M. (2008). Host-bacterial interactions in Helicobacter pylori infection. Gastroenterology, 134(1), 306–323. https://doi.org/10.1053/j.gastro.2007.11.009

Berridge, M. J., & Irvine, R. F. (1984). Inositol trisphosphate, a novel second messenger in cellular signal transduction. Nature, 312(5992), 315–321. https://doi.org/10.1038/312315a0

Beurel, E., Michalek, S. M., & Jope, R. S. (2010). Innate and adaptive immune responses regulated by glycogen synthase kinase-3 (GSK3). Trends in Immunology, 31(1), 24–31. https://doi.org/10.1016/j.it.2009.09.007

Clevers, H. (2013). The intestinal crypt, a prototype stem cell compartment. Cell, 154(2), 274–284. https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.07.004

Crowe, S. E. (2019). Helicobacter pylori infection. New England Journal of Medicine, 380(12), 1158–1165. https://doi.org/10.1056/NEJMcp1710945

Farin, H. F., Van Es, J. H., & Clevers, H. (2012). Redundant sources of Wnt regulate intestinal stem cells and promote formation of Paneth cells. Gastroenterology, 143(6), 1518–1529. https://doi.org/10.1053/j.gastro.2012.08.031

Fichtner-Feigl, S., Kesselring, R., Martin, M., Obermeier, F., Ruemmele, P., & Kitani, A. (2014). IL-13 orchestrates resolution of chronic intestinal inflammation via phosphorylation of glycogen synthase kinase-3beta. Journal of Immunology, 192(8), 3969–3980. https://doi.org/10.4049/jimmunol.1301072

Genta, R. M., Turner, K. O., & Sonnenberg, A. (2017). Demographic and socioeconomic influences on Helicobacter pylori gastritis and its pre-neoplastic lesions amongst US residents. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 46(3), 322–330. https://doi.org/10.1111/apt.14156

Gough, M. J., Woodhouse, L., & Giles, G. R. (1986). Lithium fluxes across the gastric mucosa after truncal vagotomy and drainage—An objective assessment of mucosal injury. Gut, 27(3), 249–254. https://doi.org/10.1136/gut.27.3.249

Grandjean, E. M., & Aubry, J. M. (2009). Lithium: Updated human knowledge using an evidence-based approach—Part I: Metabolism, general toxicity. CNS Drugs, 23(3), 225–240.

Harvey, B. H., Carstens, M. E., & Taljaard, J. J. (1994). Evidence that lithium induces a glutamatergic: Nitric oxide-mediated response in rat brain. Neurochemical Research, 19, 469–474. https://doi.org/10.1007/BF00966919

Hedgepeth, C. M., Conrad, L. J., Zhang, J., Huang, S., Lee, V. M., & Snider, M. D. (1997). Activation of the Wnt signaling pathway: A molecular mechanism for lithium action. Developmental Biology, 185(1), 82–91. https://doi.org/10.1006/dbio.1997.8552

Hofmann, C., Dunger, N., Schölmerich, J., Falk, W., & Obermeier, F. (2010). Glycogen synthase kinase 3-β: A master regulator of toll-like receptor-mediated chronic intestinal inflammation. Inflammatory Bowel Diseases, 16(11), 1850–1858. https://doi.org/10.1002/ibd.21249

Jepsen, P. W., Jensen, E., Plenge, P., & Rafaelsen, O. J. (1983). Peptic ulcer complaints in lithium-treated and non-lithium-treated manic-depressive patients. Acta Psychiatrica Scandinavica, 67, 358–360. https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb00353.x

Kotilea, K., Bontems, P., & Touati, E. (2019). Epidemiology, diagnosis and risk factors of Helicobacter pylori infection. In Helicobacter pylori in human diseases (Vol. 11, pp. 17–33). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15138-6_2

Lillemoe, K. D., Harmon, J. W., Wong, R. K., Boedeker, H. B., & Johnson, L. F. (1983). Effect of LiCl on gastric acid secretion and mucosal barrier function. Journal of Surgical Research, 35(1), 50–56.

Merryweather, J. A. (2023). The geographic pattern and socioecological factors of Helicobacter pylori infections in the United States [Doctoral dissertation, Walden University].

Nassar, A., & Azab, A. N. (2014). Effects of lithium on inflammation. ACS Chemical Neuroscience, 5(6), 451–458. https://doi.org/10.1021/cn5000436

Nejadkey, F., Nahavandi, A., Dehpour, A. R., & Mani, A. R. (2006). Role of nitric oxide in the gastro-protective effect of lithium. Pathophysiology, 13(2), 85–89. https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2006.03.001

Rybakowski, J. K. (2020). Lithium—past, present, future. International Journal of Psychiatry in Clinical Practice, 24(4), 330–340. https://doi.org/10.1080/13651501.2020.1775855

Shamshiri, H., Paragomi, P., Paydar, M. J., Rahimian, R., Dehpour, A. R., & Mani, A. R. (2009). Antinociceptive effect of chronic lithium on visceral hypersensitivity in a rat model of diarrhea-predominant irritable bowel syndrome: The role of nitric oxide pathway. Journal of

Gastroenterology and Hepatology, 24(4), 672–680. https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2008.05652.x

Steinbach, G., Hockenbery, D. M., Huls, G., Furlong, T., Myerson, D., Loeb, K. R., Field, L. J., Kim, S. K., Sale, G. E., Chapman, M. K., Storb, R., Meyers, D. E., Wilmarth, P., David, J., & Aker, M. (2017). Pilot study of lithium to restore intestinal barrier function in severe graft-versus-host disease. PLoS ONE, 12(8), e0183284. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183284

Suerbaum, S., & Josenhans, C. (2007). Helicobacter pylori evolution and phenotypic diversification in a changing host. Nature Reviews Microbiology, 5(6), 441–452. https://doi.org/10.1038/nrmicro1658

Sugano, K., Tack, J., Kuipers, E. J., Graham, D. Y., El-Omar, E. M., Miura, S., Haruma, K., Asaka, M., Uemura, N., & Malfertheiner, P. (2015). Kyoto global consensus report on Helicobacter pylori gastritis. Gut, 64(9), 1353–1367. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-309252

Whitehouse, M. W., & Rainsford, K. D. (1983). Prevention of the gastrotoxicity of aspirin and related drugs in rats by lithium salts and sodium thiocyanate. Toxicology and Applied Pharmacology, 68(2), 323–327. https://doi.org/10.1016/0041-008X(83)90222-7

Wong, R. K., Boedeker, B., Hickey, T. M., Wilkinson, D. S., & Johnson, L. F. (1984). Lithium chloride: Protective and antisecretory properties in rats. Gastroenterology, 87(2), 362–371.

Evaluation of serum neopterin levels in acute otitis media

Nargiz AHMADOVA[1], Derya CEBECİ[2], Şeymanur YILMAZ TAŞCI[3]

[1]E-mail: nargiz26032005@gmail.com; Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Uluslararası Tıp Fakültesi, 5. Sınıf Öğrencisi, İstanbul/Türkiye. ORCID: 0009-0008-6495-6120
[2]E-mail: drderyacebeci@gmail.com; Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul Gaziosmanpaşa Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Kulak-Burun-Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul/Türkiye. ORCID: 0000-0001-6597-5632
[3]E-mail: seymanur.yilmaztasci@sbu.edu.tr; Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Uluslararası Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, İstanbul/Türkiye. ORCID: 0000-0003-2510-743X

Özet

Akut otitis media (AOM), çocukluk çağında sık görülen ve tanısı çoğunlukla klinik ve otoskopik bulgulara dayanan bir enfeksiyondur. Bu çalışmada, serum neopterin düzeylerinin AOM tanısında potansiyel bir biyobelirteç olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Çalışmaya AOM tanısı alan 40 çocuk ile 40 sağlıklı kontrol olmak üzere toplam 80 katılımcı dahil edildi. Serum neopterin düzeyleri ELISA yöntemi ile ölçüldü ve gruplar arasındaki farklılıklar Mann–Whitney U testi ile değerlendirildi. Kontrol grubunda neopterin düzeyleri ile AOM grubundaki düzeyler arasında belirgin bir farklılık izlenmedi ve gruplar arasında serum neopterin düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p > 0,05$). Sonuç olarak, serum neopterinin çocukluk çağı AOM tanısında tek başına biyobelirteç olarak kullanılmasını destekleyen yeterli kanıt elde edilmemiştir.

Anahtar Kelimeler: akut otitis media, enflamasyon, neopterin

Abstract

Acute otitis media (AOM) is a common infection in childhood, and its diagnosis is primarily based on clinical and otoscopic findings. This study aimed to investigate the potential use of serum neopterin levels as a biomarker for the diagnosis of AOM. A total of 80 participants, including 40 children diagnosed with AOM and 40 healthy controls, were included in the study. Serum neopterin levels were measured using the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method, and differences between the groups were evaluated using the Mann–Whitney U test. No marked difference was observed between neopterin levels in the control and AOM groups, and no statistically significant difference was found between the groups in terms of serum neopterin levels ($p > 0.05$). In conclusion, there was insufficient evidence to support the use of serum neopterin as a biomarker for the diagnosis of childhood AOM alone.

Keywords: acute otitis media, inflammation, neopterin

INTRODUCTION

Otitis media is one of the most common infectious diseases in childhood and may present as acute or chronic inflammation of the middle ear (Schilder et al., 2016). Annually, approximately 13.6 million

children are diagnosed with otitis media, with the disease occurring more frequently in males and most commonly affecting children between 6 and 15 months of age (Gaddey, Wright, & Nelson, 2019). It carries a risk of hearing loss and impaired speech and language development in children (Balbani & Montovani, 2003). Upper respiratory tract infection is a major risk factor for this disease, which is generally diagnosed by otoscopic examination of the tympanic membrane during physical examination (Harmes et al., 2013). However, although the diagnosis is primarily based on physical examination, it may lead to misdiagnosis when clinical findings are not clearly established. For example, middle ear erythema or dilation of the tympanic blood vessels may be mistaken for otitis media, even though these findings are not necessarily caused by the disease. As a result, patients may receive unnecessary antibiotic treatment, contributing to the development of antibiotic resistance, which has become a major global health concern (Esposito et al., 2021). Therefore, investigating and identifying potential biomarkers that can confirm the diagnosis of otitis media is of considerable importance. Previous studies evaluating biomarkers such as IL-10, ICAM-1, and S100A12 have demonstrated that S100A12 levels are elevated in acute otitis media (Pichichero, Morris, & Almudevar, 2018). Studies investigating the S100 protein family have further demonstrated that S100A8 and S100A9 are better biomarkers for otitis media than S100A12 (Hong et al., 2017). The mentioned proteins are calcium-binding proteins that are released by neutrophils during the immune response, resulting in elevated serum levels (Sedaghat & Notopoulos, 2008). However, to date, there is no evidence in the literature indicating that any biomarker has been adopted for the clinical diagnosis of acute otitis media. The present study aimed to investigate neopterin as an alternative biomarker to S100A8. The identification of additional biomarkers and future comparisons among proteins with the greatest potential to reflect disease severity may reduce the risks associated with the diagnosis of acute otitis media.

Neopterin is a low-molecular-weight pteridine derivative that is elevated during inflammatory processes and has been shown to correlate with various diseases (Gieseg, Baxter-Parker, & Lindsay, 2018). The pteridine family was first identified in 1889 from the pigment found in the wings of butterflies (Lepidoptera), and in 1963, neopterin was isolated from bee larvae and subsequently characterized. Following various studies, neopterin was found to increase during the immune response in the 1980s (Hamerlinck, 1999). It was subsequently determined that neopterin is synthesized by interferon-gamma (IFN-γ)-stimulated monocytes and macrophages (Hoffmann, Wirleitner, & Fuchs, 2003). Because neopterin cannot be synthesized in measurable amounts by other cell types, its serum levels increase under conditions associated with immune system activation (Hamerlinck, 1999). The most remarkable characteristic of neopterin is its role as an early biomarker. Its levels increase approximately three days before maximal T-cell proliferation and one week before antibody production (Berdowska & Zwirska-Korczala, 2001). In general, elevated neopterin levels have been observed in autoimmune diseases, cardiovascular diseases, renal disorders, and various types of cancer (Michalak, Bulska, Strząbała, & Szcześniak, 2017). Additionally, neopterin has been associated with tinnitus and has been proposed as a biomarker for chronic tinnitus (Kang, Kim, Park, Kim, & Yeo, 2021).

When discussing acute otitis media, it is important to recognize that upper respiratory tract infection is a major predisposing factor. *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, and *Moraxella catarrhalis* are the most common microorganisms responsible for acute otitis media (Harmes et al., 2013). Several studies have investigated the relationship between neopterin and these pathogens. In pediatric patients with *Streptococcus pneumoniae*-induced pneumonia, serum neopterin levels have

been identified as a biomarker and have also been shown to predict disease severity (Rabie, 2020). More broadly, these bacterial pathogens are also common causes of pneumonia, and elevated neopterin levels have been reported in patients with pneumonia (Pizzini et al., 2017). These findings suggest that neopterin may be associated with infections caused by these bacteria and is expected to increase in diseases in which they play a pathogenic role. Based on these findings, we hypothesized that serum neopterin levels may also be elevated in patients with acute otitis media. Investigating neopterin in this common disease may contribute to disease monitoring, facilitate the evaluation of patients' clinical status, and provide a basis for the future development of clinically applicable biomarkers and further research.

METHODS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) within the scope of the 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No: 1919B012441216). After obtaining ethical approval (approval number: 25/437) from the Scientific Research Ethics Committee of the University of Health Sciences, children aged 4-16 years who presented to the Department of Otorhinolaryngology at Gaziosmanpaşa Training and Research Hospital were informed, under the supervision of Dr. Derya Cebeci, that all personal information would be kept confidential. Participants who voluntarily agreed to participate in the study were enrolled after written informed consent had been obtained from their legal guardians and/or the participants themselves.

Sample size calculation was performed based on the neopterin variable. At a 95% confidence level and 80% statistical power, assuming a mean difference of 214 between the groups (mean values: 697 and 911; standard deviations: 329 and 342), at least 40 participants were required in each group (Zhao et al., 2009). Accordingly, a total of 80 participants, including 40 patients (Group 1) and 40 healthy controls (Group 2), were enrolled in the study.

Group 1 consisted of patients diagnosed with acute otitis media who met the inclusion and exclusion criteria. Group 2 consisted of individuals who fulfilled the predefined inclusion and exclusion criteria.

2.1 Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion criteria: Participants diagnosed with acute otitis media based on clinical and otoscopic findings were included in the study (Group 1).

Exclusion criteria: Individuals receiving any medical treatment, including vitamin supplementation, those with acute or chronic diseases other than ear disorders, and those who smoked or consumed alcohol were excluded from the study. In addition, healthy controls were confirmed to have no other otologic diseases (Serban et al., 2021).

Group 1 consisted of 40 patients with acute otitis media who met the predefined inclusion and exclusion criteria.

Group 2 consisted of 40 healthy volunteers aged 4-16 years with no history of allergic diseases and negative skin prick test (SPT) results. In addition, both patients and healthy volunteers had no history of severe systemic diseases, such as diabetes mellitus, tuberculosis, or nasopharyngeal carcinoma, and none had received hormonal therapy within the previous two weeks. Volunteers who did not meet these criteria were excluded from the study.

Serum neopterin levels were determined using the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method. Following the collection of demographic data, serum samples obtained from blood collected for routine biochemical analyses were used for the measurement of neopterin levels. Serum samples from both patients and healthy volunteers who presented to the hospital during the study period were collected at the time of admission. Blood samples (5 mL) were collected into biochemical tubes and centrifuged at 3500 rpm for 10 minutes at room temperature within 15 minutes of collection. The separated serum samples were stored at −80°C until analysis.

Before analysis, the frozen serum samples were allowed to reach room temperature. Serum neopterin levels were measured using a commercially available ELISA kit (BT LAB, Code: E3155Hu) according to the manufacturer's instructions and were quantified by comparison with reference standards. Neopterin concentrations were expressed as nmol/L.

2.2 Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using GraphPad Prism version 11.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Data are presented as mean ± standard deviation (SD). Descriptive statistics for continuous variables were expressed as mean, median, minimum, maximum, and standard deviation. The normality of data distribution was assessed using the Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. Comparisons between two independent groups with non-normally distributed data were performed using the Mann-Whitney U test. A p-value <0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

3.1 Demographic characteristics

A total of 80 children were included in the study, comprising 40 patients with acute otitis media (AOM) and 40 healthy controls. No statistically significant differences were observed between the groups regarding age, sex distribution, height, or body weight ($p > 0.05$).

Groups	Sex	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
Controls	M=25 F=15	8,8 ± 3,55	129,5 ± 24,32	33,66 ± 17,16
AOM	M=22 F=18	7,97 ± 2,55	125,2 ± 20,04	32,81 ± 12,11

Table 1. *The demographic characteristics of the participants*

3.2 Normality analysis of serum neopterin levels

The distribution of serum neopterin levels in the control and AOM groups was evaluated using the Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk normality tests. Neopterin levels did not show a normal distribution in either group ($p < 0.0001$). Therefore, non-parametric statistical methods were used for comparisons between the groups.

Kolmogorov-Smimov test		
KS distance	0,313	0,2177
P value	<0,0001	<0,0001
Passed normality test (alpha=0.05)?	No	No
P value summary	****	****
Number of values	40	40

Shapiro-Wilk test		
W	0,6044	0,8258
P value	<0,0001	<0,0001
Passed normality test (alpha=0.05)?	No	No
P value summary	****	****

Table 2. *Results of Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk normality tests*

3.3 Evaluation of serum neopterin levels

Serum neopterin levels were compared between the control and acute otitis media (AOM) groups. The mean serum neopterin level was 8.414 ± 6.348 nmol/L in the control group and 6.688 ± 2.078 nmol/L in the AOM group **(Figure 1).** Although the mean neopterin level was higher in the control group compared with the AOM group, the difference between the groups was not statistically significant ($p > 0.05$). Neopterin levels showed a wider distribution in the control group (minimum–maximum: 3.854–33.44 nmol/L), whereas a narrower range was observed in the AOM group (minimum–maximum: 4.197–14.44 nmol/L). According to the Mann–Whitney U test, serum neopterin levels did not show a significant difference between the AOM and control groups **(Figure 2).**

	Control	AOM
Number of values	40	40
Minimum	3,854	4,197
Maximum	33,44	14,44
Range	29,59	10,25
Mean	8,414	6,688
Std. Deviation	6,348	2,078
Std. Error of Mean	1,004	0,3286

Figure 1. *Descriptive statistics of serum neopterin levels in the control and acute otitis media (AOM) groups. The table presents the sample size (n), minimum and maximum values, range, mean, standard deviation (SD), and standard error of the mean (SEM) for both groups.*

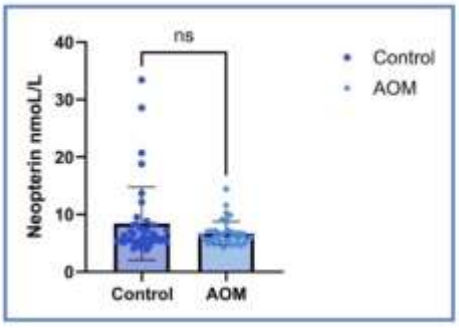


Figure 2. *Comparison of serum neopterin levels between the control and AOM groups. Each point represents an individual participant, while the bars indicate mean values and error bars represent standard deviation*

DISCUSSION

In the present study, serum neopterin levels were slightly higher in the healthy control group than in children with acute otitis media (AOM); however, the difference was not statistically significant. Neopterin is mainly produced by activated monocytes/macrophages in response to interferon-gamma (IFN-γ) and is considered a marker of Th1-type cell-mediated immune activation rather than a nonspecific marker of inflammation (Fuchs, Weiss, & Wachter, 1993; Murr, Widner, Wirleitner, & Fuchs, 2002; Widner, Wirleitner, Baier-Bitterlich, Weiss, & Fuchs, 2000). Therefore, the absence of increased circulating neopterin in children with AOM may indicate that the inflammatory response associated with AOM may not necessarily result in substantial systemic activation of the IFN-γ–monocyte/macrophage axis.

One possible explanation for this finding is the heterogeneous etiology of AOM. AOM commonly develops following an upper respiratory tract infection and may involve bacterial infection, viral infection, or viral–bacterial coinfection (Heikkinen & Chonmaitree, 2003; Nokso-Koivisto, Marom, & Chonmaitree, 2015). This distinction is particularly relevant for neopterin because its response varies according to the nature of the infectious stimulus. Previous studies in children have demonstrated that neopterin elevation occurs more consistently in viral than in bacterial infections (Murr et al., 2002; Panero López & Nogales Espert, 1996). Moreover, systemic cytokine responses in children with AOM may differ according to the associated respiratory pathogen, including differences in IFN-γ responses (Patel et al., 2009). Thus, etiological heterogeneity may result in considerable variability in circulating neopterin concentrations and may explain the lack of a distinct systemic neopterin response in our AOM group.

Another important consideration is the predominantly localized nature of inflammation in AOM. Otitis media is characterized by a complex immune and inflammatory response within the middle-ear environment, involving multiple innate and adaptive immune pathways and inflammatory mediators (Mather et al., 2021; Nokso-Koivisto et al., 2024). Recent studies have also demonstrated the presence of inflammatory cytokines, including IL-1β and IL-18, directly in middle-ear effusions of children with otitis media (Liu et al., 2021). Therefore, substantial immune activation may occur within the middle-ear compartment without necessarily resulting in a comparable systemic biomarker response. This compartmentalized inflammatory response may partly explain why serum neopterin levels were not elevated in children with AOM compared with healthy controls.

Taken together, our findings demonstrate that serum neopterin levels did not differ significantly between children with AOM and healthy controls, despite a slightly higher level in the control group. Rather than indicating reduced immune activation in AOM, this finding may suggest that circulating neopterin does not adequately reflect the predominantly localized and etiologically heterogeneous inflammatory response characteristic of the disease. Thus, serum neopterin alone may have limited value as a systemic biomarker of AOM, and its potential role should be further evaluated together with pathogen-specific data and local or systemic inflammatory mediators.

REFERENCES:

Balbani, A. P., & Montovani, J. C. (2003). [Impact of otitis media on language acquisition in children]. *J Pediatr (Rio J), 79*(5), 391-396.

Berdowska, A., & Zwirska-Korczala, K. (2001). Neopterin measurement in clinical diagnosis. *J Clin Pharm Ther, 26*(5), 319-329. doi:10.1046/j.1365-2710.2001.00358.x

Esposito, S., Bianchini, S., Argentiero, A., Gobbi, R., Vicini, C., & Principi, N. (2021). New Approaches and Technologies to Improve Accuracy of Acute Otitis Media Diagnosis. *Diagnostics (Basel), 11*(12). doi:10.3390/diagnostics11122392

Fuchs, D., Weiss, G., & Wachter, H. (1993). Neopterin, biochemistry and clinical use as a marker for cellular immune reactions. *Int Arch Allergy Immunol, 101*(1), 1-6. doi:10.1159/000236491

Gaddey, H. L., Wright, M. T., & Nelson, T. N. (2019). Otitis Media: Rapid Evidence Review. *Am Fam Physician, 100*(6), 350-356.

Gieseg, S. P., Baxter-Parker, G., & Lindsay, A. (2018). Neopterin, Inflammation, and Oxidative Stress: What Could We Be Missing? *Antioxidants (Basel), 7*(7). doi:10.3390/antiox7070080

Hamerlinck, F. F. V. (1999). Neopterin: a review. *Experimental Dermatology, 8*(3), 167-176. doi:https://doi.org/10.1111/j.1600-0625.1999.tb00367.x

Harmes, K. M., Blackwood, R. A., Burrows, H. L., Cooke, J. M., Harrison, R. V., & Passamani, P. P. (2013). Otitis media: diagnosis and treatment. *Am Fam Physician, 88*(7), 435-440.

Heikkinen, T., & Chonmaitree, T. (2003). Importance of respiratory viruses in acute otitis media. *Clin Microbiol Rev, 16*(2), 230-241. doi:10.1128/cmr.16.2.230-241.2003

Hoffmann, G., Wirleitner, B., & Fuchs, D. (2003). Potential role of immune system activation-associated production of neopterin derivatives in humans. *Inflamm Res, 52*(8), 313-321. doi:10.1007/s00011-003-1181-9

Hong, W., Khampang, P., Samuels, T. L., Kerschner, J. E., Yan, K., & Simpson, P. (2017). Expression of calcium-binding proteins S100A8, S100A9 and S100A12 in otitis media. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 101*, 30-36. doi:10.1016/j.ijporl.2017.07.025

Kang, D. W., Kim, S. S., Park, D. C., Kim, S. H., & Yeo, S. G. (2021). Objective and Measurable Biomarkers in Chronic Subjective Tinnitus. *Int J Mol Sci, 22*(12). doi:10.3390/ijms22126619

Liu, S., Guo, L., Chen, M., Liu, W., Li, Y., Wang, X., . . . Ni, X. (2021). Evaluation of Caspase-1, Interleukin-1β, and Interleukin-18, in the Middle Ear Effusion in Children With Otitis Media With Effusion. *Front Pediatr, 9*, 732973. doi:10.3389/fped.2021.732973

Mather, M. W., Powell, S., Talks, B., Ward, C., Bingle, C. D., Haniffa, M., & Powell, J. (2021). Dysregulation of immune response in otitis media. *Expert Rev Mol Med, 23*, e10. doi:10.1017/erm.2021.10

Michalak, Ł., Bulska, M., Strząbała, K., & Szcześniak, P. (2017). Neopterin as a marker of cellular immunological response. *Postepy Hig Med Dosw (Online), 71*(1), 727-736. doi:10.5604/01.3001.0010.3851

Murr, C., Widner, B., Wirleitner, B., & Fuchs, D. (2002). Neopterin as a marker for immune system activation. *Curr Drug Metab, 3*(2), 175-187. doi:10.2174/1389200024605082

Nokso-Koivisto, J., Ehrlich, G. D., Enoksson, F., Komatsu, K., Mason, K., Melhus, Å., . . . Ryan, A. (2024). Otitis media: Interactions between host and environment, immune and inflammatory responses. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 176*, 111798. doi:10.1016/j.ijporl.2023.111798

Nokso-Koivisto, J., Marom, T., & Chonmaitree, T. (2015). Importance of viruses in acute otitis media. *Curr Opin Pediatr, 27*(1), 110-115. doi:10.1097/mop.0000000000000184

Panero López, A., & Nogales Espert, A. (1996). [Neopterin as marker of immunologic activation in viral and bacterial infections]. *An Esp Pediatr, 45*(6), 597-602.

Patel, J. A., Nair, S., Grady, J., Revai, K., Victor, S., Brasier, A. R., & Chonmaitree, T. (2009). Systemic cytokine response profiles associated with respiratory virus-induced acute otitis media. *Pediatr Infect Dis J, 28*(5), 407-411. doi:10.1097/INF.0b013e318194b7c6

Pichichero, M. E., Morris, M. C., & Almudevar, A. (2018). Three Innate Cytokine Biomarkers Predict Presence of Acute Otitis Media and Relevant Otopathogens. *Biomark Appl, 2*(1). doi:10.29011/2576-9588.100018

Pizzini, A., Lunger, F., Sahanic, A., Nemati, N., Fuchs, D., Weiss, G., . . . Bellmann-Weiler, R. (2017). Diagnostic and Prognostic Value of Inflammatory Parameters Including Neopterin in the Setting of Pneumonia, COPD, and Acute Exacerbations. *Copd, 14*(3), 298-303. doi:10.1080/15412555.2016.1266317

Rabie, M. M. (2020). Evaluation of neopterin as a prognostic marker for severity of pneumonia in pediatrics. *Zagazig University Medical Journal, 26*(1), 156-164.

Schilder, A. G. M., Chonmaitree, T., Cripps, A. W., Rosenfeld, R. M., Casselbrant, M. L., Haggard, M. P., & Venekamp, R. P. (2016). Otitis media. *Nature Reviews Disease Primers, 2*(1), 16063. doi:10.1038/nrdp.2016.63

Sedaghat, F., & Notopoulos, A. (2008). S100 protein family and its application in clinical practice. *Hippokratia, 12*(4), 198-204.

Widner, B., Wirleitner, B., Baier-Bitterlich, G., Weiss, G., & Fuchs, D. (2000). Cellular immune activation, neopterin production, tryptophan degradation and the development of immunodeficiency. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz), 48*(4), 251-258.

Taş Ön Tanısıyla Opere Edilen Hidropik Safra Kesesinde Saptanan İntestinal Tipte İntrakolesistik Papiller Neoplazi: Olgu Sunumu

Gizem ÖZDOĞAN YILMAZ[1]

[1]E-mail: [gizemaku@gmail.com]; Afyonkarahisar Devlet Hastanesi Patoloji Kliniği.
ORC-ID: 0000-0002-0096-3347

Özet

İntrakolesistik papiller neoplazi (İCPN), safra kesesi lümenine doğru büyüyen, çapı 1 cm ve üzerinde olan preinvaziv epitelyal neoplazilerdir; intestinal tip, olguların yalnızca yaklaşık %8'ini oluşturur. Bu çalışmada, bir haftadır süren karın ağrısıyla başvuran ve bilgisayarlı tomografide taş/çamur ön tanısı alan, 5 cm çaplı hidropik safra kesesi bulunan 51 yaşındaki kadın hastada saptanan intestinal tipte İCPN olgusu sunulmaktadır. Elektif kolesistektomi materyalinde 1 cm çaplı papillomatöz lezyon izlenmiş ve kesenin tamamı örneklenmiştir. Mikroskopik incelemede goblet hücrelerinden zengin intestinal tipte epitelle döşeli, yer yer yüksek dereceli displazi gösteren papiller yapılar görülmüş, stromal invazyon saptanmamıştır. İmmünhistokimyasal olarak p53 wild tip, MMR proteinleri intakt, HER2 negatif (skor 0) ve Ki-67 indeksi %5 bulunmuştur. Taş veya çamur ön tanısıyla opere edilen safra keselerinde de neoplastik lezyonlar gizlenebileceğinden, mukozal düzensizlik içeren tüm kolesistektomi materyallerinin bütünüyle örneklenmesi kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: İntestinal tip, intrakolesistik papiller neoplazi, kolesistektomi, safra kesesi, yüksek dereceli displazi

Abstract

Intracholecystic papillary neoplasm (ICPN) is a preinvasive epithelial neoplasm of the gallbladder measuring 1 cm or more; the intestinal subtype accounts for only about 8% of cases. We present a case of intestinal-type ICPN in a 51-year-old woman who presented with abdominal pain of one week's duration and whose computed tomography showed a 5-cm hydropic gallbladder with a presumptive diagnosis of stone/sludge. In the elective cholecystectomy specimen, a 1-cm papillomatous lesion was identified and the entire gallbladder was sampled. Microscopic examination revealed papillary structures lined by goblet cell-rich intestinal-type epithelium with focal high-grade dysplasia, without stromal invasion. Immunohistochemically, p53 showed a wild-type pattern, mismatch repair proteins were intact, HER2 was negative (score 0), and the Ki-67 index was 5%. As neoplastic lesions may be concealed even in gallbladders operated for presumed stones or sludge, complete sampling of all cholecystectomy specimens with mucosal irregularity is of critical importance.

Keywords: Intestinal type, intracholecystic papillary neoplasm, cholecystectomy, gallbladder, high-grade dysplasia

GİRİŞ

Safra kesesinin preinvaziv neoplazileri, düz (flat) tipte biliyer intraepitelyal neoplazi ve kitle oluşturan intrakolesistik neoplaziler olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir (Roa, Basturk ve Adsay, 2021). Adsay ve arkadaşlarının (2012) 123 olguluk serileriyle tanımladığı intrakolesistik papiller-tübüler neoplazi (İCPN) kavramı, daha önce adenom, papillom, papiller adenokarsinom in situ gibi farklı adlarla tanımlanan lezyonları tek bir başlık altında toplamıştır. Dünya Sağlık Örgütü sınıflamasında İCPN, safra kesesi lümenine doğru büyüyen, çapı 1 cm ve üzerinde olan, papiller, tübüler veya tübülopapiller paternde intraepitelyal neoplazi olarak tanımlanmaktadır (WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2019).

İCPN, kolesistektomi materyallerinde nadir görülür; yakın tarihli bir sistematik derleme ve meta-analizde havuzlanmış insidans %1,5 (%95 GA 0,8–2,8) olarak bildirilmiştir (Rompianesi vd., 2026). Lezyonlar hücresel farklılaşma paternine göre biliyer, gastrik (pilorik ve foveolar), intestinal ve onkositik alt tiplere ayrılır (Nakanuma, Kakuda, Sugino, Sato ve Fukumura, 2022; WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2019). Adsay serisinde alt tip dağılımı biliyer %50, gastrik pilorik %20, gastrik foveolar %16, intestinal %8 ve onkositik %6 olarak bildirilmiştir; dolayısıyla intestinal tip, İCPN'nin en nadir görülen alt tiplerinden biridir (Adsay vd., 2012).

Bu çalışmada, safra kesesi taşı/çamuru ön tanısıyla opere edilen ve patolojik incelemede yüksek dereceli displazi içeren intestinal tipte İCPN saptanan bir olgu, güncel literatür eşliğinde sunulmaktadır.

YÖNTEM

Elli bir yaşında kadın hasta, bir haftadır devam eden yaygın karın ağrısı yakınmasıyla acil servise başvurdu. Fizik muayenesinde karında defans mevcut olup rebound saptanmadı. Laboratuvar incelemesinde karaciğer fonksiyon testlerinde yükseklik dikkati çekti. Hastanın özgeçmişinde on yıl önce tanı almış hipertansiyon ve bir buçuk yıl önce iki kez geçirilmiş serebrovasküler olay öyküsü bulunmaktaydı.

Acil şartlarda çekilen bilgisayarlı tomografide safra kesesi 5 cm çapında ve hidropik görünümde izlendi. Kese lümeninde 2,5 cm çapında, taş ile çamur ayrımı radyolojik olarak yapılamayan bir lezyon tanımlandı. Hastanın komorbiditeleri göz önünde bulundurularak acil cerrahi yerine elektif kolesistektomi planlandı ve operasyon sorunsuz tamamlandı.

Patoloji laboratuvarına parçalı halde ulaşan materyalde, topluca 6,5×4×3,5 cm boyutlarında hacim kaplayan safra kesesi izlendi. Mukoza yaygın olarak kahverengi ve granüler görünümdeydi. Kese duvar kalınlığı 0,6 cm ölçüldü. Mukozal yüzeyde bir alanda 1 cm çapında papillomatöz görünümlü lezyon dikkati çekti. Lezyonun yaygınlığının ve olası invazyonun değerlendirilebilmesi amacıyla kesenin tamamı örneklendi.

BULGULAR

Mikroskopik incelemede papillomatöz alana ait kesitlerde, ince fibrovasküler korlar etrafında dizilmiş, kompleks dallanma gösteren papiller yapılar izlendi. Papillaları döşeyen epitel, psödostratifiye hiperkromatik çekirdekli kolumnar hücreler ile bunlar arasına serpilmiş bol miktarda goblet hücresinden

oluşmakta olup kolonik adenomu andıran intestinal tipte farklılaşma göstermekteydi. Lezyonun bir bölümünde nükleer polarite kaybı, belirgin nükleol, artmış nükleositoplazmik oran ve mimari komplekslik ile karakterize yüksek dereceli displazi bulguları saptandı. Tüm kese materyalinden alınan seri kesitlerde stromal invazyon bulgusuna rastlanmadı. Çevre mukozada kronik kolesistit değişiklikleri izlendi. Cerrahi sınırlar lezyondan uzaktı.

Olguya uygulanan immünhistokimyasal incelemede p53 ile wild tipte boyanma paterni izlendi; aberran diffüz nükleer pozitiflik veya tam ekspresyon kaybı saptanmadı. Mismatch repair proteinleri MLH1, PMS2, MSH2 ve MSH6 ile lezyonel hücrelerde nükleer ekspresyon korunmuş (intakt) olarak değerlendirildi. c-erbB-2 (HER2) ile membranöz boyanma izlenmedi ve olgu skor 0 (negatif) olarak raporlandı. Ki-67 proliferasyon indeksi %5 düzeyinde bulundu. Elde edilen boyanma paterni Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. *Olguya uygulanan immünhistokimyasal belirteçler ve sonuçları*

Antikor	Sonuç	Yorum
p53	Yabanıl tip (wild-type) patern	Aberran (mutant tip) ekspresyon yok; TP53 değişikliği lehine bulgu saptanmadı
MMR proteinleri (MLH1, PMS2, MSH2, MSH6)	İntakt (korunmuş nükleer ekspresyon)	Mismatch repair defekti yok
c-erbB-2 (HER2)	Negatif (skor 0)	HER2 aşırı ekspresyonu saptanmadı
Ki-67	Proliferasyon indeksi %5	Düşük proliferatif aktivite

Klinik, makroskopik, mikroskopik ve immünhistokimyasal bulguların birlikte değerlendirilmesiyle olgu, "yüksek dereceli displazi içeren intestinal tipte intrakolesistik papiller neoplazi; invazyon saptanmadı" olarak raporlandı. Hasta ek cerrahi girişim gerektirmeden takibe alındı.

SONUÇ VE TARTIŞMA

İCPN, safra kesesinin nadir fakat klinik olarak önemli bir preinvaziv neoplazisidir. Lezyonun tanınmasındaki en kritik nokta, olguların önemli bir bölümünde eşlik eden invaziv karsinomun bulunmasıdır. Adsay ve arkadaşlarının (2012) serisinde olguların %55'inde invaziv karsinom saptanmışken, yakın tarihli meta-analizde yüksek dereceli displazi oranı %35,4, eşlik eden adenokarsinom oranı %26,9 olarak bildirilmiştir (Rompianesi vd., 2026). Bu nedenle papillomatöz veya polipoid lezyon içeren tüm kolesistektomi materyallerinin bütünüyle örneklenmesi ve seri kesitlerle invazyon açısından taranması gereklidir (Roa vd., 2021; WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2019). Olgumuzda kesenin tamamının örneklenmiş olması, invazyonun güvenilir biçimde dışlanabilmesini sağlamıştır.

Alt tip tayini hem morfolojik hem de prognostik açıdan anlam taşır. Biliyer tip en sık görülen ve invaziv karsinom açısından en yüksek riskli alt tip iken, gastrik pilorik tip en düşük riske sahiptir (Adsay vd., 2012; Nakanuma vd., 2021). İntestinal tip, kolonik adenomu andıran psödostratifiye çekirdekler ve goblet hücrelerinden zengin epitel ile karakterizedir ve olguların yalnızca %8 kadarını oluşturur (Adsay

vd., 2012; Nakanuma vd., 2022). İmmünhistokimyasal olarak intestinal tip lezyonlarda CDX2 ve MUC2 ekspresyonu beklenirken, MUC1 genellikle negatiftir; buna karşılık biliyer tipte MUC1 pozitifliği, gastrik foveolar tipte MUC5AC, gastrik pilorik tipte ise MUC6 pozitifliği ön plandadır (Adsay vd., 2012; Nakanuma vd., 2022; Nakanuma vd., 2021). Olgumuzda alt tip tayini, goblet hücrelerinden zengin, kolonik adenomu andıran karakteristik morfoloji temelinde yapılmış; müsin belirteçleri tanısal olarak gerekli görülmemiştir. Şüpheli olgularda CDX2, MUC2, MUC1, MUC5AC ve MUC6 panelinin alt tiplendirmeye katkı sağlayabileceği akılda tutulmalıdır.

Olgumuzda uygulanan immünhistokimyasal panelin sonuçları prognostik ve öngörücü açıdan da bilgilendiricidir. TP53 mutasyonu, safra kesesi karsinogenezinde en sık karşılaşılan genetik değişikliklerden biri olup aberran p53 ekspresyonu yüksek dereceli displazi ve invaziv transformasyonla ilişkilendirilmektedir (Nakanuma vd., 2022; Roa vd., 2021); olgumuzda p53'ün wild tip paterni göstermesi, lezyonun invaziv karsinoma ilerlememiş olmasıyla uyumlu bulunmuştur. Biliyer sistem tümörlerinde mismatch repair defekti nadir görülmekte olup (Sung vd., 2021), korunmuş MMR ekspresyonu olgumuzda Lynch sendromu ilişkili bir süreci ve immün kontrol noktası inhibitörlerine yanıt beklentisini desteklememektedir. HER2 aşırı ekspresyonu safra kesesi karsinomlarında düşük sıklıkta bildirilmekle birlikte hedefe yönelik tedavi açısından önem taşımaktadır (Galdy vd., 2017; Sung vd., 2021); olgumuzda HER2 skor 0 negatif bulunmuştur. Ki-67 proliferasyon indeksinin %5 gibi düşük bir düzeyde olması da lezyonun invaziv olmayan ve görece indolent doğasıyla uyumludur. Bununla birlikte, yüksek dereceli displazi tanısının morfolojik ölçütlere dayandığı ve düşük Ki-67 indeksinin bu tanıyı dışlamadığı vurgulanmalıdır.

Klinik açıdan İCPN'nin ayırt edici bir semptomu yoktur; hastalar çoğunlukla kolelitiazis veya kronik kolesistit ile uyumlu, özgül olmayan sağ üst kadran ağrısı ile başvurur (Medhi, Dowerah, Borgohain ve Singh, 2025; Yadav vd., 2026). Radyolojik olarak lezyon safra taşı, biliyer çamur, kolesterol polibi veya adenomyomatozis ile karışabilir (Yadav vd., 2026). Olgumuzda da bilgisayarlı tomografide lümen içindeki lezyonun taş mı çamur mu olduğu ayırt edilememiş, neoplastik bir süreç ön planda düşünülmemiştir. Bu durum, preoperatif görüntülemenin tanısal sınırlılığını ve patolojik incelemenin belirleyici rolünü ortaya koymaktadır.

Ayırıcı tanıda papiller hiperplazi, kolesterol polibi, adenomyomatozis, düz tipte biliyer intraepitelyal neoplazi ve invaziv papiller adenokarsinom yer alır (Roa vd., 2021). Papiller hiperplazi ve reaktif değişiklikler sitolojik atipi ve mimari komplekslik göstermemesi, 1 cm eşiğinin altında kalması ve inflamatuvar zeminde bulunmasıyla ayrılır. İnvaziv papiller adenokarsinom ise stromal invazyon, desmoplastik stromal yanıt ve perinöral/lenfovasküler invazyon varlığıyla dışlanır.

Prognoz, invazyon varlığına göre belirgin biçimde değişmektedir. İnvazyon içermeyen İCPN olgularında üç yıllık sağkalım %90 iken, invaziv karsinom eşlik eden olgularda bu oran %60'a gerilemektedir; buna karşılık konvansiyonel pankreatobiliyer tip safra kesesi karsinomlarında üç yıllık sağkalım yalnızca %27 düzeyindedir (Adsay vd., 2012). Meta-analizde beş yıllık genel sağkalım %46,7–89,7 aralığında bildirilmiştir (Rompianesi vd., 2026). Dolayısıyla İCPN zemininde gelişen karsinomlar, sıradan safra kesesi karsinomlarına kıyasla belirgin olarak daha iyi seyirlidir. İnvazyon saptanmayan ve cerrahi sınırları temiz olan olgularda basit kolesistektomi yeterli tedavi olarak kabul

edilmektedir (Medhi vd., 2025; Rompianesi vd., 2026); olgumuzda da ek cerrahi girişim planlanmamıştır.

Patoloji raporunda lezyonun mimari paterni, hücresel alt tipi, displazi derecesi, boyutu, cerrahi sınır durumu ve invazyon varlığı ile derinliğinin ayrı ayrı belirtilmesi önerilmektedir (Roa vd., 2021; WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2019). Bu parametreler hem hastanın takip planını hem de ek cerrahi gereksinimini doğrudan etkilemektedir.

İntestinal tipte intrakolesistik papiller neoplazi, safra kesesinin nadir görülen bir preinvaziv neoplazisidir ve klinik ile radyolojik olarak benign safra kesesi hastalıklarını taklit edebilir. Taş veya çamur ön tanısıyla opere edilen hidropik safra keselerinde dahi neoplastik lezyonlar bulunabileceğinden, mukozal düzensizlik veya papillomatöz/polipoid alan içeren tüm kolesistektomi materyalleri bütünüyle örneklenmeli ve seri kesitlerle invazyon açısından değerlendirilmelidir. Erken tanı ve doğru alt tiplendirme, hastanın tedavi ve takip planının belirlenmesinde belirleyici rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

Adsay, V., Jang, K. T., Roa, J. C., Dursun, N., Ohike, N., Bagci, P., … Terry, P. (2012). Intracholecystic papillary-tubular neoplasms (ICPN) of the gallbladder (neoplastic polyps, adenomas, and papillary neoplasms that are ≥1.0 cm): Clinicopathologic and immunohistochemical analysis of 123 cases. *The American Journal of Surgical Pathology, 36*(9), 1279–1301. https://doi.org/10.1097/PAS.0b013e318262787c

Galdy, S., Lamarca, A., McNamara, M. G., Hubner, R. A., Cella, C. A., Fazio, N., & Valle, J. W. (2017). HER2/HER3 pathway in biliary tract malignancies; systematic review and meta-analysis: A potential therapeutic target? *Cancer and Metastasis Reviews, 36*(1), 141–157. https://doi.org/10.1007/s10555-016-9645-x

Medhi, P., Dowerah, S., Borgohain, D., & Singh, M. (2025). Clinicopathological study of intracholecystic papillary neoplasm of the gall bladder: A case series. *Indian Journal of Surgical Oncology, 16*(2), 472–477. https://doi.org/10.1007/s13193-023-01759-z

Nakanuma, Y., Kakuda, Y., Sugino, T., Sato, Y., & Fukumura, Y. (2022). Pathologies of precursor lesions of biliary tract carcinoma. *Cancers, 14*(21), 5358. https://doi.org/10.3390/cancers14215358

Nakanuma, Y., Nomura, Y., Watanabe, H., Terada, T., Sato, Y., Kakuda, Y., … Okamura, Y. (2021). Pathological characterization of intracholecystic papillary neoplasm: A recently proposed preinvasive neoplasm of gallbladder. *Annals of Diagnostic Pathology, 52*, 151723. https://doi.org/10.1016/j.anndiagpath.2021.151723

Roa, J. C., Basturk, O., & Adsay, V. (2021). Dysplasia and carcinoma of the gallbladder: Pathological evaluation, sampling, differential diagnosis and clinical implications. *Histopathology, 79*(1), 2–19. https://doi.org/10.1111/his.14360

Rompianesi, G., Giglio, M. C., Esposito, M. D., Venuso, C., Loiaco, G., Montalti, R., & Troisi, R. I. (2026). Intracholecystic papillary neoplasms (ICPNs): Systematic review and meta-analysis of epidemiological, diagnostic, immunohistochemical, and clinical features. *Annals of Surgical Oncology, 33*(8), 7063–7071. https://doi.org/10.1245/s10434-026-19665-3

Sung, Y. N., Kim, S. J., Jun, S. Y., Yoo, C., Kim, K. P., Lee, J. H., … Hong, S. M. (2021). Expression of HER2 and mismatch repair proteins in surgically resected gallbladder adenocarcinoma. *Frontiers in Oncology, 11*, 658564. https://doi.org/10.3389/fonc.2021.658564

WHO Classification of Tumours Editorial Board. (2019). *Digestive system tumours* (5th ed.). Lyon: IARC Press.

Yadav, P., Yadav, S., Parajuli, K., Neupane, A., Sah, A. K., & Yadav, N. (2026). Intracholecystic papillary neoplasm of the gallbladder neck with high-grade dysplasia: A diagnostic and surgical challenge. *Clinical Case Reports, 14*(5), e72692. https://doi.org/10.1002/ccr3.72692

Klinik Olarak Farklı Ön Tanılar Alan Nadir Bir Kutanöz Hamartom: Nevüs Lipomatozus Süperfisialis — Üç Olguluk Seri

Burcu BELEN AYDOĞMUŞ
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

1. Giriş

Nevüs lipomatozus süperfisialis (NLS), dermis içinde ektopik matür yağ hücrelerinin bulunmasıyla karakterize, nadir görülen benign bir kutanöz hamartom ya da bağ dokusu nevüsüdür (1,3). İlk kez 1921 yılında Hoffmann ve Zurhelle tarafından sol gluteal bölgede yerleşen bir lezyon olarak tanımlanmıştır (1).

Hastalığın iki klinikopatolojik formu tanımlanmıştır. Klasik (Hoffmann-Zurhelle) tip doğumda veya yaşamın ilk yıllarında ortaya çıkar; pelvik kuşak, gluteal bölge ve uyluk yerleşimlidir, yumuşak kıvamlı çok sayıda papül ve nodülün birleşerek plak oluşturması, zaman zaman zosteriform veya lineer bir dizilim göstermesi tipiktir. Soliter tip ise genellikle yirmi yaşından sonra ortaya çıkar, gövde yerleşimini tercih eder ve tek bir sesil ya da pediküllü nodül şeklinde görülür; klinik olarak akrokordonu taklit eder (3,4).

Lezyonun klinik görünümü özgül olmadığından tanı büyük ölçüde histopatolojik incelemeye dayanır. Yakın tarihli bir tek merkez serisinde on beş olgunun tamamının klinik olarak yanlış tanı aldığı, olguların %53,3'üne papillom, %33,3'üne akrokordon ön tanısı konulduğu bildirilmiştir (2). Bu çalışmada, her iki klinik formu da içeren ve farklı ön tanılarla patoloji laboratuvarına ulaşan üç NLS olgusu, klinikopatolojik özellikleri ve güncel literatür eşliğinde sunulmaktadır.

2. Olgular

2.1. Olgu 1

Otuz iki yaşında kadın hasta, sağ gluteal bölgede ciltten kabarık lezyon yakınmasıyla başvurdu. Bilinen ek hastalığı yoktu. Hasta dermatoloji değerlendirmesi olmaksızın doğrudan plastik cerrahi kliniğine başvurmuş ve lezyon verrüköz nevüs ön tanısıyla eksize edilmişti. Aynı operasyon seansında sol kalçadan nevüs ön tanısıyla ikinci bir lezyon daha çıkarılmış ve bu lezyon histopatolojik incelemede kompound nevüs olarak raporlanmıştı.

Makroskopik incelemede lezyon 0,8 × 0,7 cm boyutlarında ölçüldü. Mikroskopik incelemede dermiste kollajen demetleri arasına yerleşmiş, kapsülsüz matür adiposit adacıkları izlendi; adipositlerin dermal alana oranı yaklaşık %50 olarak değerlendirildi. Adneksiyal yapılar korunmuştu. Bu olguda, diğer iki

olgudan farklı olarak, dermal yağ dokusunun subkutan yağ dokusu ile devamlılık gösterdiği görüldü. Sitolojik atipi, lipoblast veya melanositik komponent saptanmadı.

2.2. Olgu 2

Kırk beş yaşında kadın hasta, sırtta ciltten kabarık lezyon yakınmasıyla başvurdu. Ek hastalığı ve başka bir deri lezyonu yoktu. Bu hasta da dermatoloji değerlendirmesi olmaksızın doğrudan plastik cerrahi kliniğine başvurmuş ve lezyon dermal nevüs ön tanısıyla eksize edilmişti.

Makroskopik incelemede lezyon 1,4 × 1,2 cm boyutlarındaydı. Mikroskopik incelemede dermiste matür adiposit adacıkları izlendi; adipositlerin dermal alana oranı yaklaşık %10 olarak değerlendirildi. Adneksiyal yapılar korunmuştu ve dermal yağ dokusunun subkutan yağ dokusu ile devamlılığı izlenmedi. Serimizde yalnızca bu olguda lezyon yüzeyinde ülserasyon dikkati çekti. Atipi, lipoblast veya melanositik komponent saptanmadı.

2.3. Olgu 3

On iki yaşında erkek hasta, sol kalçada iki-üç yıldır mevcut olan ve giderek büyüyen ciltten kabarık lezyon yakınmasıyla dermatoloji kliniğine başvurdu. Ek hastalığı yoktu. Dermatolojik muayenede medialden laterale doğru yayılan, kümelenme eğiliminde, deri renginde, yumuşak kıvamlı, yer yer papillomatöz görünümde ve üzerinde kıl çıkışları bulunan lezyon saptandı. Dermoskopik incelemede damarsal yapıların izlendiği papül ve nodüller görüldü. Hastadan insizyonel biyopsi alındı.

Makroskopik incelemede materyal, cilt üzerinde 0,3 cm çapında ve 0,6 cm derinliğinde cilt–cilt altı doku parçası olarak raporlandı. Mikroskopik incelemede dermiste kollajen demetleri arasına dağılmış matür adiposit adacıkları izlendi; adipositlerin dermal alana oranı yaklaşık %30 olarak değerlendirildi. Adneksiyal yapılar korunmuştu ve subkutan yağ dokusu ile devamlılık izlenmedi. Atipi veya melanositik komponent saptanmadı.

Üç olgunun klinikopatolojik özellikleri Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Tablo 1. Olguların klinik ve histopatolojik özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Olgu 1	Olgu 2	Olgu 3
Yaş / Cinsiyet	32 / Kadın	45 / Kadın	12 / Erkek
Lokalizasyon	Sağ gluteal bölge	Sırt	Sol gluteal bölge
Öykü süresi	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	2–3 yıl, büyüyen
Başvurulan bölüm	Plastik cerrahi (dermatoloji başvurusu yok)	Plastik cerrahi (dermatoloji başvurusu yok)	Dermatoloji
Klinik ön tanı	Verrüköz nevüs	Dermal nevüs	Dermatolojik ve dermoskopik

Özellik	Olgu 1	Olgu 2	Olgu 3
			değerlendirme sonrası biyopsi
Klinik görünüm	Ciltten kabarık soliter lezyon	Ciltten kabarık soliter lezyon	Medialden laterale yayılan, kümelenme eğiliminde, deri renginde, yumuşak, yer yer papillomatöz; üzerinde kıl çıkışları
Dermoskopi	Yapılmadı	Yapılmadı	Damarsal yapıların izlendiği papül ve nodüller
İşlem / materyal	Eksizyon; 0,8 × 0,7 cm	Eksizyon; 1,4 × 1,2 cm	İnsizyonel biyopsi; 0,3 cm çap, 0,6 cm derinlik
Dermal matür adiposit oranı	%50	%10	%30
Subkutan yağ dokusu ile devamlılık	Var	Yok	Yok
Adneksiyal yapılar	Mevcut / korunmuş	Mevcut / korunmuş	Mevcut / korunmuş
Yüzey / epidermal özellik	Ülserasyon yok	Yüzeyde ülserasyon	Papillomatöz görünüm
Eşlik eden lezyon	Sol kalçada senkron kompound nevüs	Yok	Yok
Klinikopatolojik tip	Soliter tip	Soliter tip	Klasik (Hoffmann-Zurhelle) tip

3. Tartışma

NLS, deri eklerinin ve bağ dokusunun gelişimsel bir bozukluğu sonucu dermiste ektopik matür yağ dokusunun bulunmasıyla karakterize benign bir hamartomdur (1,3). Patogenezi tam olarak aydınlatılamamıştır; subkutan adipositlerin dermise yer değiştirmesi (heterotopik yağ dokusu) ve perivasküler alanda bulunan genç adipositlerin dermis içinde matürasyonu olmak üzere iki temel görüş öne sürülmüştür (4). Elektron mikroskopisi çalışmaları, adipositlerin damar çevresinde matürleştiği görüşünü desteklemektedir (4).

Histopatolojik tanı ölçütü, dermiste kollajen demetleri arasına yerleşmiş matür adiposit adacıklarının gösterilmesidir. Literatürde bu adipositlerin dermal alana oranının %10–50 arasında değiştiği bildirilmektedir (3). Serimizdeki üç olguda saptanan %10, %30 ve %50'lik oranlar bu aralığın tamamını

kapsamakta olup, tek bir antitenin ne kadar geniş bir histolojik spektrum gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle adiposit oranının düşük olduğu ikinci olgu gibi vakalarda tanının gözden kaçabileceğini düşündürmektedir; adipositlerin azlığı tanıyı dışlamaz.

Klasik olarak dermal yağ dokusunun subkutan yağ dokusu ile devamlılık göstermediği kabul edilir ve bu ölçüt, yağ herniasyonu ve lipom gibi lezyonların dışlanmasında kullanılır (3). Serimizde birinci olguda subkutan yağ dokusu ile devamlılık izlenmiştir. Bu bulgu, klasik tanımla tam uyumlu olmamakla birlikte, lezyonun dermal yerleşimli matür adiposit adacıkları içermesi, adneksiyal yapıların korunmuş olması ve atipi bulunmaması nedeniyle tanıyı değiştirmemiştir. Yüzeyel ve küçük eksizyon materyallerinde subkutan dokunun kesitlere dahil olmasının görünür bir devamlılık izlenimi yaratabileceği, ayrıca subkutan adipositlerin dermise yer değiştirmesi şeklindeki patogenez görüşünün böyle bir devamlılığı açıklayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte bu olguda yağ herniasyonu ayırıcı tanısının tartışılması uygun olacaktır.

Epidermal ve yüzey değişiklikleri tanıyı doğrudan belirlemese de klinik görünümü açıklamaktadır. Literatürde hiperkeratoz, akantoz, papillomatoz ve rete ridge uzaması bildirilmektedir (2,4). Serimizde üçüncü olgunun klinik olarak papillomatöz görünümde olması ve birinci olgunun verrüköz nevüs ön tanısı alması, bu yüzeyel değişikliklerin klinik yansıması olarak değerlendirilebilir. İkinci olguda saptanan yüzey ülserasyonu ise nadir bir bulgudur; pediküllü veya ciltten belirgin kabarık lezyonlarda sürtünme ve travmaya ikincil geliştiği düşünülmekte olup malignite göstergesi değildir. NLS'de bugüne kadar malign dönüşüm bildirilmemiştir (3).

Serimizin en dikkat çekici yönü, her iki klinik formu birlikte içermesidir. Yakın tarihli on beş olguluk tek merkez serisinde olguların tamamı soliter tip olarak bildirilmiş, klasik forma hiç rastlanmamıştır (2). Serimizde birinci ve ikinci olgular erişkin yaşta, gövde ve gluteal bölge yerleşimli soliter lezyonlarla soliter tipe; üçüncü olgu ise çocukluk çağında ortaya çıkan, gluteal bölgede medialden laterale yayılan, kümelenme eğilimi gösteren çok sayıda yumuşak papül ve nodülle klasik (Hoffmann-Zurhelle) tipe uymaktadır. Üçüncü olguda lezyon üzerinde kıl çıkışlarının bulunması, adneksiyal yapıların korunduğu yönündeki histopatolojik bulguyla uyumludur.

Klinik tanı doğruluğunun düşüklüğü serimizde de doğrulanmıştır. Literatürde en sık papillom ve akrokordon ön tanılarının konulduğu bildirilirken (2), serimizdeki erişkin olgular verrüköz nevüs ve dermal nevüs ön tanılarıyla opere edilmiştir. Birinci olguda aynı seansta karşı kalçadan çıkarılan lezyonun gerçekten kompound nevüs olması, klinik ön tanının melanositik lezyon yönüne kaymasını açıklamaktadır. Her iki erişkin olgunun da dermatoloji değerlendirmesi olmaksızın doğrudan cerrahi kliniğe başvurmuş olması dikkat çekicidir. Buna karşılık üçüncü olgu dermatolojik ve dermoskopik olarak değerlendirilmiş, dermoskopide damarsal yapıların izlendiği papül ve nodüller tanımlanmıştır. NLS'de dermoskopinin tanıya katkı sağlayabileceği bildirilmiştir (6); serimizde de dermoskopik olarak tanımlanan damarsal yapılar, lezyonun histolojisinde adipositlere eşlik eden ince duvarlı damar yapılarıyla ilişkilendirilebilir.

Ayırıcı tanıda fokal dermal hipoplazi (Goltz sendromu), yağ herniasyonu, lipom ve iğsi hücreli lipom, nevüs sebaseus, fibroepitelyal polip (akrokordon), melanositik nevüs, pleksiform nörofibrom ve düz kas hamartomu yer alır (3,4). Fokal dermal hipoplazide epidermal atrofi ve karakteristik klinik bulgular

eşlik eder; yağ herniasyonunda dermal yağ subkutan dokudan kaynaklanır; akrokordonda santral fibrovasküler kor baskındır ve adiposit oranı düşüktür; melanositik nevüste ise nevüs hücreleri izlenir. Serimizde melanositik komponentin bulunmaması, özellikle dermal nevüs ve verrüköz nevüs ön tanılarıyla gönderilen olgularda tanısal ayrımı sağlamıştır. Rutin uygulamada immünhistokimyasal inceleme gerekli değildir; tanı hematoksilen-eozin kesitleriyle konulur. Ayrımın güçlendiği olgularda melanositik lezyonun dışlanması amacıyla Melan-A veya SOX10, adipositik doğanın gösterilmesi amacıyla S100 kullanılabilir.

Tedavide cerrahi eksizyon küratiftir ve nüks oranı düşüktür (3). Lezyonun benign olması nedeniyle asıl kazanım, doğru tanının konularak hastanın gereksiz ek girişim ve takipten korunmasıdır.

4. Sonuç

Nevüs lipomatozus süperfisialis, klinik olarak akrokordon, papillom, verrüköz nevüs veya melanositik nevüs gibi sık görülen lezyonları taklit edebilen nadir bir benign kutanöz hamartomdur. Üç olguluk serimiz, hem klasik hem de soliter tipin aynı merkezde görülebildiğini, dermal adiposit oranının geniş bir aralıkta (%10–50) değişebileceğini ve düşük adiposit oranının tanıyı dışlamadığını göstermektedir. Ciltten kabarık, yumuşak kıvamlı, özellikle gluteal bölge ve gövde yerleşimli lezyonlarda NLS ayırıcı tanıda akılda tutulmalı; kesin tanı histopatolojik inceleme ile konulmalıdır. Dermatolojik ve dermoskopik değerlendirmenin klinik ön tanı doğruluğunu artırabileceği de serimizin ortaya koyduğu bir diğer noktadır.

Kaynaklar

1. Hoffmann E, Zurhelle E. Über einen Naevus lipomatodes cutaneus superficialis der linken Glutäalgegend. Arch Dermatol Syph. 1921;130:327-333.
2. Mawlong AK, Agrawal A, Singh L, Sharma S. Clinicopathological spectrum of nevus lipomatosus superficialis: insights from a single-center study. Cureus. 2026;18(1):e102241.
3. Mishra E, Sahu D, Mishra D, Mohanty S. Nevus lipomatosis cutaneous superficialis – a rare hamartoma. IP J Diagn Pathol Oncol. 2023;8(1):62-64.
4. Ghosh D, Chakraborty D, Verma S, De A. Unusual presentation of nevus lipomatosus cutaneous superficialis: a rare location of a rare diagnosis. Cureus. 2024;16(5):e60902.
5. Nguyen MT, Wu LP, Pham GM. Nevus lipomatosus superficialis with mixed morphologic features: gross, sonographic, and histopathologic correlation. Life. 2026;16(4):693.
6. Kinnera B, Suggu S, Konakanchi V. Dermoscopy of nevus lipomatosus cutaneous superficialis in a patient with skin type IV. Dermatol Pract Concept. 2022;12(1):e2022001.
7. Calonje E, Brenn T, Lazar AJ, Billings SD. McKee's Pathology of the Skin with Clinical Correlations. 5th ed. Philadelphia: Elsevier; 2020.

Tip 1 Diyabetli Hastalarda Karbonhidrat Sayımı Eğitimine Uyumun Glisemik Kontrol ve Metabolik Parametreler Üzerine Etkisi

Gökçen GÜNGÖR SEMİZ[1], Simge YILMAZ KAVCAR[2], Abdurrahman ÇÖMLEKÇİ[1]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları Bölümü, İzmir/Türkiye

[2]Dr Diyetisyen, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları Bölümü, İzmir/Türkiye

Özet

Amaç: Karbonhidrat sayımı (KH sayımı) eğitimine uyumun, tip 1 diabetes mellitus (T1DM) hastalarında glisemik kontrol, lipid profili ve mikroalbüminüri üzerindeki etkisini değerlendirmek. Yöntem: KH sayımı eğitimi almış 61 T1DM hastası, eğitime uyumlarına göre uyumlu (n=28) ve uyumsuz (n=33) olarak sınıflandırıldı; bazal, 6. ve 12. ay HbA1c, lipid paneli ve spot idrarda mikroalbüminüri düzeyleri karşılaştırıldı. Bulgular: İki grup bazal özellikler açısından benzerdi. Bazal HbA1c (p=0.127) ve bazalden 6. ve 12. aya HbA1c değişimi (sırasıyla p=0.813 ve p=0.940) gruplar arasında farklı değildi; lipid parametrelerinde de anlamlı fark yoktu. Bazal mikroalbüminüri uyumlu grupta anlamlı olarak yüksekti (p=0.018). Sonuç: Bu kohortta KH sayımı eğitimine uyumun ölçülen metabolik parametreler üzerinde anlamlı bir katkısı gösterilememiştir; bulguların daha büyük, prospektif çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbonhidrat sayımı, mikroalbüminüri, tedaviye uyum, tip 1 diabetes mellitus.

Abstract

Aim: To evaluate the effect of adherence to carbohydrate counting (CC) education on glycemic control, lipid profile, and microalbuminuria in patients with type 1 diabetes mellitus (T1DM). Methods: Sixty-one T1DM patients who received CC education were classified as adherent (n=28) or non-adherent (n=33); baseline, 6-month, and 12-month HbA1c, lipid panel, and spot urine microalbuminuria levels were compared. Results: The two groups were similar regarding baseline characteristics. Baseline HbA1c (p=0.127) and the change in HbA1c from baseline to 6 and 12 months (p=0.813 and p=0.940, respectively) did not differ between groups; no significant differences were found in lipid parameters. Baseline microalbuminuria was significantly higher in the adherent group (p=0.018). Conclusion: In this cohort, adherence to CC education did not show a measurable contribution to the metabolic parameters assessed; these findings warrant confirmation in larger, prospective studies.

Keywords: Carbohydrate counting, microalbuminuria, treatment adherence, type 1 diabetes mellitus.

GİRİŞ

Tip 1 diabetes mellitus (T1DM), yaşam boyu eksojen insülin tedavisi gerektiren kronik bir hastalıktır; glisemik kontrol düzeyi hem akut metabolik komplikasyonların hem de kronik mikrovasküler ve makrovasküler komplikasyonların önlenmesinde belirleyici rol oynar. Karbonhidrat

sayımı (KH sayımı), öğün insülin dozunun tüketilen besinin karbonhidrat içeriğine göre ayarlanmasına dayanan, esnek yoğun insülin tedavisinin temel bileşenlerinden biridir ve uluslararası kılavuzlarca T1DM'de önerilen bir tıbbi beslenme tedavisi stratejisidir (1).

Dose Adjustment For Normal Eating (DAFNE) programı, KH sayımına dayalı yapılandırılmış eğitim ile tıbbı beslenme tedavisine bağlı uyum esnekliğini glisemik kontrolle bir arada sağlamayı amaçlayan öncü bir beslenme eğitimidir (2); bu programın uzun dönem izleminde HbA1c'de ılımlı ve kalıcı iyileşmeler bildirilmiştir (3). Bununla birlikte, karbonhidrat sayımının glisemik kontrol üzerindeki etkinliğine ilişkin bulgular çalışmalar arasında heterojenlik göstermektedir. Bell ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, karbonhidrat sayımının kontrol veya standart bakım ile karşılaştırıldığında HbA1c düzeylerinde sağladığı genel azalmanın istatistiksel anlamlılığa ulaşmadığı; buna karşın paralel grup tasarımına sahip yetişkin çalışmalarında karbonhidrat sayımı lehine anlamlı bir HbA1c azalması bulunduğu bildirilmiştir (1). Daha güncel bir sistematik derleme ve meta-analizde de benzer biçimde, karbonhidrat sayımının diğer diyet yaklaşımlarının tümüyle karşılaştırıldığı genel analizde HbA1c açısından anlamlı bir üstünlük gösterilememiş; ancak standart diyabet eğitimi ile karşılaştırılan alt grup analizinde karbonhidrat sayımı lehine anlamlı bir iyileşme saptanmıştır (4). Ayrıca, yakın tarihli bir derlemede karbonhidrat sayımının özellikle yetişkin tip 1 diyabetli bireylerde glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceği, ancak çalışmalar arasındaki sonuçların homojen olmadığı bildirilmiştir (5). Bu bulgular, karbonhidrat sayımının potansiyel yararlarının hasta özellikleri, eğitim yöntemi, karşılaştırılan beslenme yaklaşımı ve çalışmanın tasarımı gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir. Literatürde bildirilen heterojen sonuçların olası nedenlerinden biri, karbonhidrat sayımı eğitiminin etkinliğinin değerlendirilmesinde hastaların eğitime uyum düzeylerinin yeterince dikkate alınmamış olmasıdır. Eğitim içeriğinin yanı sıra, hastaların edindikleri bilgi ve becerileri günlük yaşamlarında uygulama düzeylerinin de klinik sonuçlar üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, standart karbonhidrat sayımı eğitimi almış tip 1 diabetes mellituslu hastalarda eğitime uyum durumunun glisemik kontrol, lipid profili ve mikroalbüminüri üzerindeki etkisini, uyumlu ve uyumsuz hasta gruplarını karşılaştırarak değerlendirmektir.

YÖNTEM

Bu retrospektif kohort çalışmasına, hastanemiz Endokrinoloji Kliniğinde Ocak 2020 ile Aralık 2022 tarihleri arasında KH sayımı eğitimi almış 61 T1DM hastası dahil edildi. KH sayımı eğitimi, Diyabet Diyetisyenliği Derneğinin kanıta dayalı rehberine uygun olarak, aynı birimde aynı diyetisyen tarafından standart bir protokolle verildi. Hastalar, klinik izlemde eğitime gösterdikleri uyuma göre uyumlu (n=28) ve uyumsuz (n=33) olarak sınıflandırıldı (medyan yaş 30 yıl, medyan diyabet süresi 8 yıl).

Bazal (eğitim öncesi), 6. ay ve 12. ay HbA1c, açlık plazma glukozu, lipid paneli (trigliserid, total kolesterol, HDL kolesterol, LDL kolesterol) ve spot idrarda mikroalbüminüri düzeyleri hasta dosyaları ve laboratuvar kayıtlarından elde edildi. Bazalden 6. ve 12. aya değişim (Δ), izlem değerinden bazal değerin çıkarılmasıyla hesaplandı.

İstatistiksel analizde sürekli değişkenlerin dağılımı Shapiro-Wilk testiyle değerlendirildi; normal dağılan değişkenler ortalama±standart sapma olarak sunulup bağımsız örneklem t-testi (Welch), normal dağılmayanlar medyan (çeyrekler arası aralık: 25.–75. persentil) olarak sunulup Mann-Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Kategorik değişkenler sayı (%) olarak sunulup, beklenen hücre değeri <5 olduğunda

Fisher'in kesin testi, aksi halde ki-kare testi kullanılarak karşılaştırıldı. $p<0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Analizler Python (SciPy 1.17) yazılımı ile gerçekleştirildi.

BULGULAR

İki grup; yaş, cinsiyet, medeni durum, yaşadığı yer, tedavi şekli ve kronik komplikasyon (retinopati, nefropati, nöropati, koroner arter hastalığı, serebrovasküler olay, diyabetik ayak, periferik arter hastalığı, hipertansiyon, hiperlipidemi) sıklıkları açısından benzerdi (tüm $p>0.05$); diyabet süresi uyumlu grupta sayısal olarak daha uzundu (144'e karşı 72 ay, $p=0.093$).

Bazal HbA1c gruplar arasında farklı değildi ($p=0.127$). Tablo 1'de özetlendiği gibi, bazalden 6. aya ($p=0.813$) ve 12. aya ($p=0.940$) ΔHbA1c açısından da anlamlı fark saptanmadı. Lipid parametrelerinin (trigliserid, total kolesterol, HDL, LDL) hiçbirinde bazal, izlem veya değişim değerlerinde anlamlı grup farkı yoktu (tüm $p>0.05$).

Bazal mikroalbüminüri uyumlu grupta anlamlı olarak daha yüksekti ($p=0.018$); bu fark 6. ayda korunmuş ($p=0.032$), ancak izlemdeki değişim değerlerinde kaybolmuştu. Halen insülin pompası kullanmakta olan hastaların %80'i eğitime uyumsuz grupta yer alıyordu ($p=0.092$).

Tablo 1. *Uyumlu ve uyumsuz gruplarda HbA1c ve mikroalbüminüri düzeyleri*

Değişken	Uyumlu Medyan (ÇAA) / n	Uyumsuz Medyan (ÇAA) / n	p
HbA1c – bazal (%)	9.30 (7.88–11.47), n=28	8.30 (7.50–10.50), n=33	0.127
Δ HbA1c bazal→6. ay	-0.30 (-1.10–0.20), n=19	-0.40 (-1.00–0.30), n=25	0.813
Δ HbA1c bazal→12. ay	-0.30 (-1.35–0.27), n=20	-0.40 (-1.60–0.40), n=32	0.940
Mikroalbüminüri – bazal	9.00 (5.00–25.00), n=21	5.00 (4.00–8.00), n=26	0.018
Δ Mikroalbüminüri bazal→6. ay	-1.00 (-5.50–6.00), n=15	0.00 (-1.00–3.00), n=17	0.437

Not: ÇAA = çeyrekler arası aralık (25.–75. persentil); değerler Mann-Whitney U testi ile karşılaştırılmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, standart bir KH sayımı eğitimi almış T1DM hastalarında, eğitime uyumun glisemik kontrol ve lipid profili üzerinde ölçülebilir bir katkısı gösterilememiştir. Bu bulgu, KH sayımının etkinliğine ilişkin literatürdeki heterojenlikle örtüşmektedir: Bell ve arkadaşları tarafından yapılan meta-analiz de, çalışma tasarımına bağlı olarak genel etkinin anlamlılığa ulaşmadığını, yalnızca paralel-grup yetişkin çalışmalarında anlamlı iyileşme bulunduğunu göstermiştir (1). Çalışmamızda örneklem

küçüklüğü (n=61) ve izlem verisindeki kayıp oranı, gerçek bir etkisizlik ile istatistiksel güç yetersizliği arasında ayrım yapmayı güçleştirmektedir.

Halen insülin pompası kullanan hastaların büyük çoğunluğunun (%80) uyumsuz grupta toplanması (p=0.092), REPOSE çalışmasının bulgusuyla örtüşür niteliktedir: pompa tedavisinin, yapılandırılmış doz ayarlama eğitimine ek bir katkı sağlamadığı, asıl belirleyicinin hastanın kendi yönetimine katılım düzeyi olduğu gösterilmiştir (6). Bu bulgu, pompa kullanan hastalarda eğitime uyumun neden daha düşük seyredebileceğine ilişkin ayrı bir araştırma sorusu doğurmaktadır.

Bazal mikroalbüminürinin uyumlu grupta anlamlı yüksek olması, iki grubun tesadüfen farklı bazal renal risk profiliyle başladığını düşündürmektedir; glisemik maruziyetin böbrek hastalığı gelişiminde en güçlü belirleyicilerden biri olduğu bilindiğinden (7), bu bazal dengesizliğin mikroalbüminüri sonuçlarının yorumunda bir konfüzör olarak dikkate alınması gerekmektedir.

Çalışmamızın temel kısıtlılıkları; retrospektif ve tek merkezli tasarımı, küçük örneklem büyüklüğü, izlem verisindeki kayıp oranı ve "uyum" değişkeninin standardize bir ölçekle değil klinik değerlendirmeyle belirlenmiş olmasıdır. Sonuç olarak, bu kohortta KH sayımı eğitimine uyumun ölçülen metabolik parametreler üzerinde anlamlı bir etkisi gösterilememiştir; bulguların, standardize uyum ölçütleri kullanan, daha büyük ve prospektif çalışmalarla doğrulanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1-Bell, K. J., Barclay, A. W., Petocz, P., Colagiuri, S., & Brand-Miller, J. C. (2014). Efficacy of carbohydrate counting in type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. The lancet. Diabetes & endocrinology, 2(2), 133–140. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(13)70144-X

2-DAFNE Study Group (2002). Training in flexible, intensive insulin management to enable dietary freedom in people with type 1 diabetes: dose adjustment for normal eating (DAFNE) randomised controlled trial. BMJ (Clinical research ed.), 325(7367), 746. https://doi.org/10.1136/bmj.325.7367.746

3- Speight, J., Amiel, S. A., Bradley, C., Heller, S., Oliver, L., Roberts, S., Rogers, H., Taylor, C., & Thompson, G. (2010). Long-term biomedical and psychosocial outcomes following DAFNE (Dose Adjustment For Normal Eating) structured education to promote intensive insulin therapy in adults with sub-optimally controlled Type 1 diabetes. Diabetes research and clinical practice, 89(1), 22–29. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2010.03.017

4- Builes-Montaño, C. E., Ortiz-Cano, N. A., Ramirez-Rincón, A., & Rojas-Henao, N. A. (2022). Efficacy and safety of carbohydrate counting versus other forms of dietary advice in patients with type 1 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. Journal of human nutrition and dietetics : the official journal of the British Dietetic Association, 35(6), 1030–1042. https://doi.org/10.1111/jhn.13017

5-AlBabtain, S. A., AlAfif, N. O., AlDisi, D., & AlZahrani, S. H. (2023). Manual and Application-Based Carbohydrate Counting and Glycemic Control in Type 1 Diabetes Subjects: A Narrative Review. Healthcare (Basel, Switzerland), 11(7), 934. https://doi.org/10.3390/healthcare11070934

6-REPOSE Study Group (2017). Relative effectiveness of insulin pump treatment over multiple daily injections and structured education during flexible intensive insulin treatment for type 1 diabetes: cluster randomised trial (REPOSE). BMJ (Clinical research ed.), 356, j1285. https://doi.org/10.1136/bmj.j1285

7-Perkins, B. A., Bebu, I., de Boer, I. H., Molitch, M., Tamborlane, W., Lorenzi, G., Herman, W., White, N. H., Pop-Busui, R., Paterson, A. D., Orchard, T., Cowie, C., Lachin, J. M., & Diabetes Control and Complications Trial (DCCT)/Epidemiology of Diabetes Interventions and Complications (EDIC) Research Group (2019). Risk Factors for Kidney Disease in Type 1 Diabetes. Diabetes care, 42(5), 883–890. https://doi.org/10.2337/dc18-2062

Periferik Fasiyal Paralizide Modifiye Labbé Tekniği (Uzatılmış Temporal Miyoplasti) Ve Altın Ağırlık İmplantasyonu İle Multimodal Cerrahi Reanimasyon: Bir Olgu Sunumu

MULTIMODAL SURGICAL REANIMATION WITH THE MODIFIED LABBÉ TECHNIQUE (LENGTHENING TEMPORALIS MYOPLASTY) AND GOLD WEIGHT IMPLANTATION IN PERIPHERAL FACIAL PARALYSIS: A CASE REPORT

Arif Yılmaz[1]

[1]*Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Plastik, Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye*

Arif Yılmaz, Dr. Öğretim Üyesi — ORCID: 0000-0003-2141-2648

ÖZET

Uzun süreli periferik fasiyal paralizi, yüzün dinamik fonksiyonlarında kayıp, belirgin fasiyal asimetri ve göz kapama yetersizliği ile seyredebilmekte ve hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu olgu sunumunda, uzun süreli periferik fasiyal paralizisi bulunan bir hastada dinamik oral reanimasyon ve oküler korumaya yönelik multimodal cerrahi yaklaşım sunulmaktadır. İki yaşından beri sol periferik fasiyal paralizisi bulunan 22 yaşındaki kadın hasta House-Brackmann sınıflamasına göre grade V olarak değerlendirildi. Uzun süreli fizik tedavi ve rehabilitasyona rağmen anlamlı fonksiyonel düzelme sağlanamayan hastaya modifiye Labbé tekniği ile temporal kas-tendon ünitesinin oral komissür bölgesine transferi uygulandı. Kas-tendon ünitesinin pozisyonlaması intraoperatif elektriksel stimülasyon ile doğrulandı ve yumuşak doku süspansiyonu ile desteklendi. Üst göz kapağındaki lagoftalmusun tedavisi amacıyla hastaya özel planlanan 1 g, 24 ayar altın ağırlık tarsus üzerine yerleştirildi ve alt göz kapağı desteği amacıyla kantoplasti uygulandı. Postoperatif dördüncü ayda fasiyal simetri ve göz kapama fonksiyonunda belirgin iyileşme gözlenirken, hasta estetik ve fonksiyonel sonuçtan memnun olduğunu belirtti. Hastanın fizik tedavi ve rehabilitasyon programına devam etmesi planlandı. Uzun süreli periferik fasiyal paralizide modifiye Labbé tekniği, altın

ağırlık implantasyonu ve kantoplastinin aynı seansta uygulanması, dinamik oral reanimasyon ile oküler korumanın eş zamanlı olarak sağlanmasına yönelik uygulanabilir bir cerrahi yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Periferik fasiyal paralizi, fasiyal reanimasyon, uzatılmış temporal miyoplasti, altın ağırlık, lagoftalmus, kantoplasti.

ABSTRACT

Long-standing peripheral facial paralysis can present with loss of dynamic facial function, marked facial asymmetry, and inadequate eyelid closure, adversely affecting patients' quality of life. This case report presents a multimodal surgical approach for dynamic oral reanimation and ocular protection in a patient with long-standing peripheral facial paralysis. A 22-year-old woman with left peripheral facial paralysis since the age of two was classified as House-Brackmann grade V. Despite prolonged physiotherapy and rehabilitation with no meaningful functional improvement, the patient underwent transfer of the temporalis muscle-tendon unit to the oral commissure using the modified Labbé technique. Positioning of the muscle-tendon unit was confirmed with intraoperative electrical stimulation and reinforced with soft tissue suspension. To correct upper eyelid lagophthalmos, a patient-specific, custom-planned 1 g, 24-karat gold weight was placed on the tarsus, and a canthoplasty was performed for lower eyelid support. At four months postoperatively, marked improvement in facial symmetry and eyelid closure was observed, and the patient reported satisfaction with the aesthetic and functional outcome. Continuation of physiotherapy and rehabilitation was planned. Combining the modified Labbé technique, gold weight implantation, and canthoplasty in a single surgical session offers a feasible approach for simultaneously achieving dynamic oral reanimation and ocular protection in long-standing peripheral facial paralysis.

Keywords: Peripheral facial paralysis, facial reanimation, lengthening temporalis myoplasty, gold weight, lagophthalmos, canthoplasty.

GİRİŞ

Periferik fasiyal paralizi, yüzün motor fonksiyonlarında bozulmaya ve belirgin fasiyal asimetriye neden olarak hastaların fonksiyonel ve psikososyal durumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Fasiyal sinir fonksiyonunun değerlendirilmesinde House-Brackmann derecelendirme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır (1).

Uzun süreli fasiyal paralizide denervasyona bağlı kas atrofisi gelişebilmekte ve spontan fonksiyonel iyileşme olasılığı azalabilmektedir. Bu hastalarda dinamik fasiyal reanimasyon amacıyla bölgesel kas transferleri uygulanabilmektedir. Uzatılmış temporal miyoplasti, temporal kasın uzatılarak koronoid proses ile ilişkili tendonun dudak ve oral komissür bölgesine transfer edilmesine dayanan dinamik bir reanimasyon yöntemidir (2). Tekniğin, koronoid çıkıntının nazolabial insizyon yoluyla ele alındığı ve temporal kas-tendon ünitesinin ara greft kullanılmaksızın doğrudan oral komissüre transfer edildiği modifiye uygulamaları da tanımlanmış, bu sayede cerrahi süre kısalmış ve donör saha morbiditesi azaltılmıştır (3).

Fasiyal paralizinin önemli sonuçlarından biri göz kapaklarının kapanmasındaki yetersizliktir. Orbikülaris okuli kas fonksiyonunun kaybına bağlı gelişen lagoftalmus, korneal ekspozisyon ve oküler yüzey hasarı riskini artırabilmektedir. Üst göz kapağına altın ağırlık implantasyonu, göz kapama fonksiyonunun desteklenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir (4). Hastaya özgü implant ağırlığının belirlenmesi, bir yandan ağırlığa bağlı yeterli göz kapatmayı sağlarken diğer yandan olası estetik sorunları en aza indirmeye yardımcı olabilir (5). Alt göz kapağında gelişen gevşeklik veya ektropion varlığında kantoplasti ile göz kapağı desteğinin artırılması sağlanabilmektedir (6).

Bu olgu sunumunda, uzun süredir devam eden periferik fasiyal paralizisi bulunan bir hastada modifiye Labbé tekniği ile dinamik oral reanimasyon, üst göz kapağına altın ağırlık implantasyonu ve kantoplastinin aynı seansta uygulanması sunulmaktadır.

OLGU SUNUMU

Yirmi iki yaşında kadın hasta, iki yaşından beri devam eden sol periferik fasiyal paralizi nedeniyle değerlendirildi. Daha önce dış merkezde uzun süreli fizik tedavi ve rehabilitasyon uygulanmasına rağmen anlamlı fonksiyonel düzelme sağlanamadığı öğrenildi. Fasiyal sinir fonksiyonu House-Brackmann sınıflamasına göre grade V olarak değerlendirildi (1).

Hastanın özgeçmişinde akondroplazi ve opere glokom öyküsü bulunmaktaydı. Düzenli ilaç kullanımı, antikoagülan veya antiagregan ilaç kullanımı ve bilinen ilaç alerjisi bulunmamaktaydı.

Fizik muayenede sol alın hareketinin olmadığı, göz kapamada yetersizlik, sol nazolabial oluğun silinmiş olduğu ve ağız köşesinde belirgin asimetri bulunduğu gözlendi (Figure 1).

Fasiyal reanimasyon ameliyatı genel anestezi altında gerçekleştirildi. Sol temporal bölge disseke edilerek temporal kas ortaya konuldu ve serbestlendi. Sol nazolabial bölgeden açılan insizyonla ilerletilen disseksiyonun ardından koronoid proses osteotomisi uygulandı. Temporal kas-tendon ünitesi, modifiye Labbé tekniğine uygun şekilde nazolabial oluk ve oral komissür bölgesine transpoze edilerek sütüre edildi. Kas-tendon ünitesinin pozisyonlaması intraoperatif elektriksel stimülasyon (ENS) ile doğrulandı. Yumuşak doku süspansiyonu ile fasiyal simetri desteklendi.

Üst göz kapağındaki lagoftalmusun giderilmesi amacıyla, hastaya özel planlanan 1 g, 24 ayar altın implant tarsus üzerine yerleştirilerek fikse edildi. Alt göz kapağı desteğinin sağlanması amacıyla kantoplasti uygulandı. Uygun kapama yapılarak operasyon sonlandırıldı.

Postoperatif dördüncü ayda hastanın estetik ve fonksiyonel sonuçtan memnun olduğu görüldü. Fasiyal simetride ve göz kapama fonksiyonunda belirgin iyileşme gözlendi. Hastanın fizik tedavi ve rehabilitasyon programına devam etmesi planlandı (Figure 2).

TARTIŞMA

Uzun süreli periferik fasiyal paralizide gelişen kas atrofisi ve fonksiyon kaybı, dinamik fasiyal reanimasyon yöntemlerini önemli bir tedavi seçeneği haline getirmektedir. Bölgesel kas transferleri ile oral komissür hareketinin yeniden oluşturulması ve fasiyal simetrinin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

Uzatılmış temporal miyoplasti, temporal kasın oral komissür bölgesine transfer edilmesi esasına dayanan dinamik bir reanimasyon yöntemidir (2). Tekniğin modifiye uygulamalarında koronoid prosesin nazolabial insizyon yoluyla ele alınması ve temporal kas-tendon ünitesinin doğrudan transferi tanımlanmıştır (3). Rehabilitasyon sürecinin temporal kasın yeni fonksiyonuna adaptasyonunda önemli olduğu bildirilmektedir (7).

İntraoperatif elektriksel stimülasyonun temporal kas-tendon ünitesinin kontraksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (8).

Fasiyal paralizide oküler komplikasyonların önlenmesi cerrahi tedavinin önemli bileşenlerinden biridir. Üst göz kapağına altın ağırlık implantasyonu, lagoftalmusun düzeltilmesi ve göz kapama fonksiyonunun desteklenmesi amacıyla uygulanabilmektedir (4). Hastaya özgü implant ağırlığının belirlenmesi, bir yandan ağırlığa bağlı yeterli göz kapatmayı sağlarken diğer yandan olası estetik sorunları en aza indirmeye yardımcı olabilir (5).

Alt göz kapağında paralitik gevşeklik veya ektropion bulunması durumunda kantoplasti ile göz kapağı desteğinin artırılması gerekebilmektedir. Alt göz kapağı desteğinin lateral kantoplasti ile sağlanmasının, üst göz kapağına altın ağırlık implantasyonu ile birlikte uygulanabileceği bildirilmiştir (6).

Sunulan olguda modifiye Labbé tekniği ile dinamik oral reanimasyon sağlanırken, aynı seansta üst göz kapağına altın ağırlık implantasyonu ve kantoplasti uygulanmıştır. Böylece uzun süreli fasiyal paralizinin hem dinamik oral fonksiyon hem de göz kapama yetersizliği açısından eş zamanlı olarak ele alınması amaçlanmıştır.

Postoperatif dördüncü ayda hastanın estetik ve fonksiyonel sonuçtan memnun olması olumlu bir erken dönem sonuç olarak değerlendirilebilir. Rehabilitasyon sürecinin temporal kasın yeni fonksiyonuna adaptasyonuna katkı sağladığı bildirilmektedir (7). Hastanın fizik tedavi ve rehabilitasyon programına devam etmesi planlanmıştır. Daha uzun süreli takip, fonksiyonel sonucun değerlendirilmesi açısından gereklidir.

SONUÇ

Uzun süreli periferik fasiyal paralizide modifiye Labbé tekniği, altın ağırlık implantasyonu ve kantoplastinin tek seansta uygulanması, dinamik oral reanimasyon ile oküler korumanın eş zamanlı olarak ele alınmasına olanak sağlayan uygulanabilir bir cerrahi yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. House JW, Brackmann DE. Facial nerve grading system. Otolaryngol Head Neck Surg. 1985;93(2):146-147. doi:10.1177/019459988509300202.

2. Labbé D. Lengthening of temporalis myoplasty and reanimation of lips. Technical notes. Ann Chir Plast Esthet. 1997;42(1):44-47. PMID: 9768135.

3. Hayashi A, Maruyama Y, Okada E, et al. Experience and anatomical study of modified lengthening temporalis myoplasty for established facial paralysis. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2015;68(1):63-70. doi:10.1016/j.bjps.2014.09.037.

4. Jobe RP. A technique for lid loading in the management of the lagophthalmos of facial palsy. Plast Reconstr Surg. 1974;53(1):29-32. doi:10.1097/00006534-197401000-00004.

5. Jayashankar N, Morwani KP, Shaan MJ, Bhatia SR, Patil KT. Customised gold weight eyelid implantation in paralytic lagophthalmos. J Laryngol Otol. 2008;122(10):1088-1091. doi:10.1017/S0022215108001886.

6. Foda HMT. Surgical management of lagophthalmos in patients with facial palsy. Am J Otolaryngol. 1999;20(6):391-395. doi:10.1016/S0196-0709(99)90079-0.

7. Guerreschi P, Labbé D. Lengthening temporalis myoplasty: a surgical tool for dynamic labial commissure reanimation. Facial Plast Surg. 2015;31(2):123-127. doi:10.1055/s-0035-1549039.

8. Boahene KDO, Ishii LE, Byrne PJ. In vivo excursion of the temporalis muscle-tendon unit using electrical stimulation. JAMA Facial Plast Surg. 2014;16(1):15-19. doi:10.1001/jamafacial.2013.1236.

ŞEKİLLER (FIGURES)

Figure 1. Preoperatif görünüm.

Sol periferik fasiyal paralizi — göz kapamada yetersizlik, nazolabial oluğun silinmesi ve ağız köşesinde belirgin asimetri izlenmektedir.

Figure 2. Postoperatif 4. ay görünümü.

Modifiye Labbé tekniği, altın ağırlık implantasyonu ve kantoplasti sonrası fasiyal simetride ve göz kapama fonksiyonunda elde edilen düzelme izlenmektedir.