CONFERENCE BOOK

BALKAN 16. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

ÜSKÜP
24 - 29 EYLÜL 2026

BALKAN
16. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 24 – 29, 2026
SKOPJE

Published by Academy Global Publishing House

www.balkankongresi.org

BALKAN 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 24 – 29, 2026
SKOPJE

Edited By
PROF. DR. HULYA CICEK

Issued: 20.10.2026
ISBN: 978-625-8795-50-9

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 51 papers have been presented by Turkish participants and 61 papers by international participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.balkankongresi.org Contact: balkankongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

BALKAN 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
SEPTEMBER 24 – 29, 2026
SKOPJE

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Germany– Tajikistan - Eritrea- Serbia – Oman- Egypt- Iran- Nigeria – Azerbaijan- Romania- Algeria – Georgia – Ethiopia –India – Russia- Kazakhstan- Singapore- Pakistan- Armenia- Bangladesh- Czech Republic – China – Japan -

PRESENTATION
Oral presentation

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.
Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

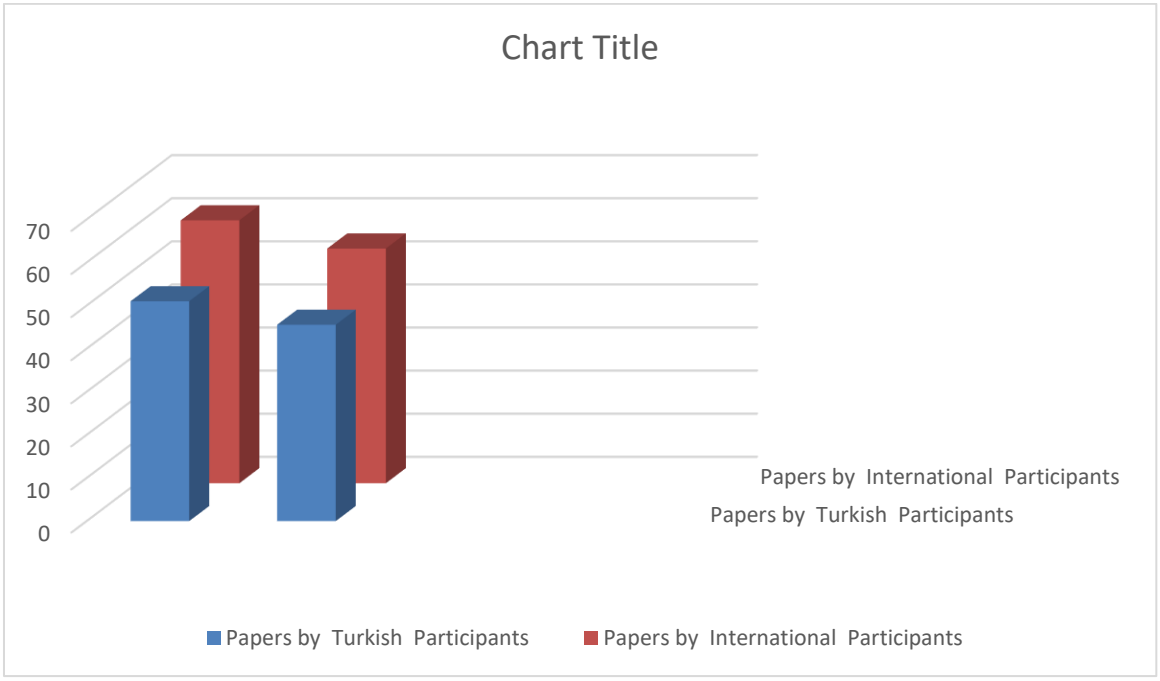
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	51	45,54
Papers by International Participants (23 Countries)	61	54,46



BALKAN 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 24 – 29, 2026
SKOPJE

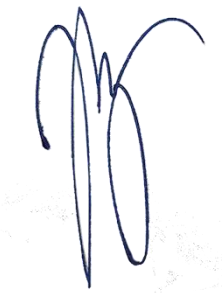
NO : **AC- 16B - 2026. 373Ü– 3821**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 10/10/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 24-29 Eylül 2026 tarihlerinde Üsküp'te 24 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 112 bildirinin 51'i Türkiye'den, 61'i ise farklı 23 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla



Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK

T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi

Sayı : E-98102723-903.07-475454
Konu : Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:
Gereği:
Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:
Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 - GAZİANTEP
Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17
e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi
Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ARTWorld 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
September 24 – 29, 2026
SKOPJE

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of "Meeting ID
- or Personal Link Name" and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Serpil Özdemir**	1	SECONDARY SCHOOL TURKISH TEXTBOOKS: AN ANALYSIS OF NARRATIVE TEXTS IN TERMS OF SOCIAL AND EMOTIONAL SKILLS	Yüksek Lisans Öğrencisi Özgür Ozan Kandemir Prof. Dr. Serpil Özdemir
		2	DİJİTALLEŞME SÜRECİNDE BALKAN SÖZLÜ KÜLTÜRÜNÜN EĞİTİM TEKNOLOJİLERİYLE AKTARILMASI	Mahmut ÖĞ
		3	TÜRKÇE ÖĞRETİMİNDE SÖZLÜ KÜLTÜR UNSURLARININ KULLANIMI: BALKANLAR BAĞLAMINDA EĞİTİMSEL BİR DEĞERLENDİRME	Mahmut ÖĞ
		4	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN MESLEKİ GELİŞİM SÜREÇLERİ ÜZERİNE BİR OLGUBİLİM ÇALIŞMASI	Öğretmen, Çimen AKTAŞ Prof. Dr., İkbal Tuba ŞAHİN SAK
		5	PANDEMİ DÖNEMİNDE DOĞAN ÇOCUKLARIN GELİŞİMSEL PROFİLİ: OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN GÖZLEMLERİ VE DENEYİMLERİ	Öğretmen, Mihriban BEYTEKİN Prof. Dr., İkbal Tuba ŞAHİN SAK
		6	ÖĞRETMEN ADAYLARININ MATEMATİK DENEYİMLERİ ÜZERİNE FENOMENOLOJİK BİR İNCELEME	Öğretim Görevlisi, Betül Kübra ŞAHİN YONCA Bağımsız Araştırmacı Hilal Güşta ŞAHİN
		7	ÇOCUKLARIN AKRAN TERCİHLERİ: NİTEL BİR ANALİZ	Öğretim Görevlisi, Betül Kübra ŞAHİN YONCA Bağımsız Araştırmacı Hilal Güşta ŞAHİN
		8	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN ÖRGÜTSEL SİNİZM DÜZEYLERİ İLE İNOVATİF DÜŞÜNME EĞİLİMLERİNİN İNCELENMESİ	Öğretmen, Zeynep GÜLLE Öğretmen, Halime KİYAĞ Prof. Dr., Ramazan SAK
		9	TÜRKİYE'DE OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN DEPRESYON, KAYGI VE STRESLERİNE İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ	Öğretmen, Suna TAMBAHÇECİ Prof. Dr., Ramazan SAK

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi Ayhan TERZİBAŞ**	1	SINIRDA KARBON DÜZENLEME MEKANİZMASININ (SKDM) TEDARİK ZİNCİRİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: ÇİMENTO VE ÇELİK SEKTÖRÜ FİRMALARINA YÖNELİK BİR DEĞERLENDİRME	Öğretim Görevlisi Doktor, FATMANUR AVAR ÇALIŞKAN
		2	THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF GREEN MANAGEMENT	Dr.Öğretim Üyesi ASİYE GÖLPEK KARABABA
		3	ÇOK NESİLLİ İŞGÜCÜ YAPISINDA PSİKOLOJİK SERMAYE, PSİKOLOJİK GÜVENLİK, TÜKENMİŞLİK VE FİNANSAL RİSK ALMA	Beyza Nur ÖZDEMİR Dr. Öğr. Üyesi Hatice NAYMAN HAMAMCI
		4	ÇALIŞANLARIN İŞVEREN MARKASI ALGILARININ İŞTEN AYRILMA NİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE ALGILANAN İSTİHDAM EDİLEBİLİRLİĞİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ: MÜCEVHER SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	YL. Öğrencisi, Muhammet Cihan UÇAN Prof. Dr., Esra ALNIAÇIK
		5	JEOTERMAL ENERJİ SEKTÖRÜNDE ÇALIŞANLARIN PATERNALİSTİK LİDERLİK ALGISI ÜZERİNE NİTEL BİR ARAŞTIRMA	YL. Öğrencisi SEDA CAMGÖZ Prof. Dr. HATİCE ÖZUTKU
		6	AKILLI FABRİKALARDA ÜRETİM YÖNETİMİ: ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ VE ETKİLERİ	Kübra Nur Kalı Prof.Dr. Mehmet Mustafa Yücel
		7	KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE İLİŞKİN FARKINDALIK DÜZEYLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: ULUSLARARASI LİSANS ÖĞRENCİLERİ ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Eliza YRYSBEK KYZY Doç. Dr., Canan YILDIRAN
		8	TÜRKİYE'S POSITION IN EUROPE IN TERMS OF HIGH-GROWTH ENTREPRENEURSHIP: A COMPARATIVE ANALYSIS OF HIGH-GROWTH ENTERPRISES AND GAZELLES	Dr. Öğr. Üyesi Ayhan TERZİBAŞ

No:2

No:3

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖNDES**	1	KONUT KRİZİ BİR DEMOGRAFİ KRİZİNE Mİ DÖNÜŞÜYOR? SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİNDE KONUT ERİŞİLEBİLİRLİĞİ VE DOĞURGANLIK ARASINDAKİ UZUN DÖNEMLİ İLİŞKİ	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖNDES
		2	ÇALIŞMA SÜRELERİ VE REFAH İLİŞKİSİ: MAKROEKONOMİK GÖSTERGELERLE KADIN İSTİHDAMI	Öğretim Görevlisi Dr. Ersel Ertürk
		3	AVRUPA BİRLİĞİ FİNANSAL ENTEGRASYONU VE TÜRKİYE: FİNANSAL DÜZENLEMELER, SERMAYE PİYASALARI VE UYUM SÜRECİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Younes GHOLİZADEH Dr. Öğr. Üyesi Eda KAYHAN
		4	CUMA'DAN PAZAR'A, GELENEKTEN KÜRESEL PİYASAYA: TÜRKİYE'DE HAFTA TATİLİ POLİTİKALARININ İKTİSAT VE MALİYE POLİTİKALARI EKSENİNDE DÖNÜŞÜMÜ	Gökhan SAYAR
		5		

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ**	1	SOME FACTORS AFFECTING HEALTHY NUTRITION	Dr. Öğr. Üyesi ÇİĞDEM YEL
		2	60+ REFRESHMENT UNİVERSITIES IN ACTIVE AGING: THE CASE OF SIVAS PROVENCE	Dr. Öğr. Üyesi ÇİĞDEM YEL Yüksek Lisans Öğrencisi DUYGU ÖNCÜ
		3	PARENTAL AWARENESS, EXPERİENCES, AND PROTECTİVE STRATEGİES REGARDİNG ONLİNE CHİLD SEXUAL ABUSE İN TÜRKİYE	Doç. Dr. ZEYNEP TURHAN ZEYNEP SENA GÜVENER ZEYNEP SUDE OCAK TUĞBA GÜVEN
		4	"NE YAPACAĞIM BEN BU ÇOCUKLA?" ÇOCUĞUNUN OYUN BAĞIMLISI OLDUĞUNU DÜŞÜNEN ANNELERİN GÖRÜŞLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans öğrenci, HİLAL AKCA Dr. Öğr. Üyesi, HAKAN KARAMAN
		5	CAM UÇURUM OLGUSUNUN SOSYAL HİZMET PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		6	DİJİTALLEŞEN TOPLUMDA YAŞLILIK: SOSYAL HİZMET PERSPEKTİFİNDEN BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		7	HİKİKOMORİ ve SOSYAL HİZMETLE İLİŞKİSİ	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		8	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KARŞISINDA ÇOCUKLARIN KORUNMASININ SOSYAL HİZMET PERSPEKTİFİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ

No:4

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK**	1	INTERACTIVE INVESTIGATION OF MATHEMATICAL PATTERNS AND SEQUENCES WITH MATHEMATICA	Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK
		2	DYNAMIC INVESTİGATİON OF POLYNOMIAL FUNCTIONS AND ROOT BEHAVIORS WITH MATHEMATICA TOOLS	Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK
		3	A WEARABLE DUAL SENSOR-GLOVE SYSTEM FOR THE RECOGNITION OF TURKISH SIGN LANGUAGE	Liudmila LVOVA Prof.Dr. Mehmet Serhat ODABAS
		4	REPRESENTATION BEFORE ARCHITECTURE: A CONTROLLED TIME-FREQUENCY AND CNN BENCHMARK FOR FOUR-CLASS RESPIRATORY SOUND CLASSIFICATION ON ICBHI	Ömer Atılım KOCA Emre TURAN Murat UÇAR Orhan ER
		5	CONTRIBUTION OF METEOROLOGICAL INFORMATION AND WEATHER FORECASTS TO NEXT-DAY NO_2 FORECASTING IN MADRID: A CONTROLLED COMPARISON WITH OPEN DATA	Emre TURAN Ömer Atılım KOCA Murat UÇAR Orhan ER
		6	MACHINE LEARNING BASED CLASSIFICATION OF DELIVERY STATUS IN COLD CHAIN LOGISTICS WITH FEATURE IMPORTANCE ANALYSIS	Mehmet Safa BİNGÖL
		7	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REMOTELY CONTROLLED QUADCOPTER UNMANNED AERIAL VEHICLE PROTOTYPE FOR CARGO TRANSPORTATION SIMULATION	AYBARS AYAZ HAYATİ MAMUR
		8	DESIGN, IMPLEMENTATION, AND REAL-TIME REMOTE MONITORING OF A PORTABLE WATER QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS	EREN EMEN HAYATİ MAMUR

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Hrant Sahakyan**	1	LOGIC AND DIALECTIC IN MEDIEVAL ARMENIAN PHILOSOPHY: THE LEGACY OF THE HELLENISING SCHOOL AND ITS CONTEMPORARY RELEVANCE	Prof. Dr. Hrant Sahakyan
		2	FREEDOM, RESPONSIBILITY AND THE COMMON GOOD IN POST-INDEPENDENCE ARMENIAN POLITICAL THOUGHT	Dr. Ani Vardanyan, Assoc. Prof. Dr. Armen Ghukasyan
		3	ATTENTION, AWARENESS AND THE SELF: COMPARATIVE PERSPECTIVES FROM YOGA, NYAYA AND BUDDHIST PHILOSOPHIES OF MIND	Prof. Dr. Sanjay Mukherjee, Dr. Lakshmi Iyer, Arvind Rao
		4	NON-DUALISM AND THE PHILOSOPHY OF PHYSICS: REASSESSING VEDANTIC METAPHYSICS IN LIGHT OF QUANTUM THEORY	Dr. Vivek Menon, Assoc. Prof. Dr. Kavitha Krishnan
		5	MORAL OBJECTIVITY WITHOUT A SELF: RECONSIDERING ETHICAL REALISM IN THE MADHYAMAKA AND YOGACARA TRADITIONS	Dr. Arindam Chatterjee, Prof. Dr. Khalfan Al Rawahi
		6	JUSTICE, CONSULTATION AND SOCIAL RESPONSIBILITY IN MODERN OMANI INTELLECTUAL DISCOURSE	Prof. Dr. Saleh Al Kindi, Dr. Zainab Al Hosni
		7	RATIONALITY AND REVELATION IN CLASSICAL AND CONTEMPORARY ISLAMIC PHILOSOPHY: DEBATES ON THE LIMITS OF REASON	Assoc. Prof. Dr. Mohammed Al Shukaili, Dr. Asma Al Rashdi, Hamad Al Saadi

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assis. Prof. Dr. Badriya Al Habsi**	1	VALUES EDUCATION AND THE FORMATION OF NATIONAL IDENTITY IN OMANI SCHOOLS: A PHILOSOPHICAL AND RELIGIOUS PERSPECTIVE	Assis. Prof. Dr. Badriya Al Habsi
		2	URBAN BELONGING AND ADAPTATION STRATEGIES OF RURAL-TO-URBAN MIGRANTS IN ALMATY AND ASTANA	Assoc. Prof. Dr. Gulmira Baigabylova, Dr. Arman Seitkazy
		3	NEGOTIATING TRADITION AND MODERNITY: CHANGING GENDER EXPECTATIONS AND FAMILY FORMATION AMONG URBAN YOUTH IN KAZAKHSTAN	Dr. Aizhan Mukhtarova, Prof. Dr. Serik Abenov, Dinara Kaliyeva
		4	EDUCATIONAL ASPIRATIONS, OPPORTUNITY STRUCTURES AND LIFE PLANS OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS IN ERITREA	Dr. Yonas Tesfamariam
		5	CUSTOMARY INSTITUTIONS, VILLAGE ASSEMBLIES AND PARTICIPATORY DEVELOPMENT IN RURAL ERITREA	Assoc. Prof. Dr. Mussie Ghebreab, Dr. Helen Woldu
		6	NEIGHBOURHOOD SOCIAL NETWORKS, SOCIAL SUPPORT AND WELLBEING AMONG ELDERLY RESIDENTS IN ALEXANDRIA	Prof. Dr. Sherif Abdel-Moneim, Dr. Heba El-Sayed
		7	MARRIAGE COSTS, DELAYED MARRIAGE AND SHIFTING INTERGENERATIONAL RELATIONS IN EGYPTIAN FAMILIES	Dr. Hoda Ibrahim, Assoc. Prof. Dr. Tarek Youssef, Dr. Amr Shalaby
		8	HISTORICAL MEMORY, LANGUAGE AND CITIZENSHIP IN THE FORMATION OF NATIONAL IDENTITY AMONG AZERBAIJANI UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Rashad Huseynli, Dr. Nargiz Aliyeva
		9	DIGITAL MEDIA USE AND CHANGING FAMILY, RELIGIOUS AND GENDER VALUES IN BAKU	Dr. Kamala Rzayeva, Assis. Prof. Dr. Orkhan Abbasov, Gunay Hasanli

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Hui Min Wong**	1	INFLATION TARGETING, EXCHANGE RATE DYNAMICS AND OUTPUT GROWTH IN THE IRANIAN ECONOMY UNDER EXTERNAL CONSTRAINTS	Assoc. Prof. Dr. Hossein Sadeghi, Dr. Maryam Hashemi
		2	DIGITAL TRANSFORMATION, INNOVATION CAPABILITY AND EXPORT PERFORMANCE OF SMALL AND MEDIUM-SIZED MANUFACTURING FIRMS IN IRAN	Dr. Ali Rezaei, Assis. Prof. Dr. Shirin Mousavi, Prof. Dr. Kourosh Nazari, Dr. Fatemeh Yazdani
		3	AUTOMATION, SKILLS UPGRADING AND WAGE POLARISATION IN SINGAPORE'S SERVICE AND MANUFACTURING SECTORS	Assoc. Prof. Dr. Kenneth Lim, Dr. Hui Min Wong
		4	DIGITAL BANKING, SAVINGS BEHAVIOUR AND FINANCIAL RESILIENCE OF LOW-INCOME HOUSEHOLDS IN SINGAPORE	Dr. Grace Tan, Assoc. Prof. Dr. Ravi Shankar, Dr. Elaine Foo
		5	RENEWABLE ENERGY TRANSITION, ENVIRONMENTAL REGULATION AND GREEN PRODUCTIVITY IN INDIAN MANUFACTURING INDUSTRIES	Assoc. Prof. Dr. Rajiv Malhotra, Dr. Ananya Banerjee, Dr. Vikas Yadav
		6	SELF-HELP GROUP LENDING, WOMEN'S EMPOWERMENT AND HOUSEHOLD CONSUMPTION SMOOTHING IN RURAL MAHARASHTRA	Prof. Dr. Sunil Patwardhan, Dr. Rekha Jadhav, Assis. Prof. Dr. Nitin Kulkarni, Pallavi Shinde
		7	HYDROCARBON REVENUE VOLATILITY, FISCAL POLICY AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Mourad Bensalem, Dr. Leila Bouchareb

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Ji-Young Choi**	1	FROM NASTALIQ TO CALLIGRAFFITI: CONTINUITY AND INNOVATION IN CONTEMPORARY PERSIAN CALLIGRAPHIC ART	Assoc. Prof. Dr. Hamid Rezvani, Dr. Mahnaz Soltani, Arezoo Ghorbani
		2	MEMORIAL SCULPTURE AND COLLECTIVE MEMORY IN TWENTIETH-CENTURY SERBIA: FROM SOCIALIST MODERNISM TO POST-YUGOSLAV COMMEMORATION	Assoc. Prof. Dr. Nenad Đurić, Dr. Jelena Marković
		3	PUBLIC ART, PLACEMAKING AND CULTURAL IDENTITY IN THE URBAN TRANSFORMATION OF LUSAIL AND MSHEIREB	Assoc. Prof. Dr. Hessa Al-Mannai, Dr. Khalid Al-Naimi
		4	LETTERS AS IMAGE: ARABIC CALLIGRAPHY, ABSTRACTION AND IDENTITY IN THE WORK OF CONTEMPORARY QATARI ARTISTS	Dr. Maryam Al-Sulaiti
		5	REVISITING SUPREMATISM AND CONSTRUCTIVISM: THE LEGACY OF THE RUSSIAN AVANT-GARDE IN CONTEMPORARY RUSSIAN PAINTING	Assoc. Prof. Dr. Andrei Belyaev, Dr. Yulia Kuzmina, Maria Orlova
		6	INDEPENDENT ART SPACES, INSTITUTIONS AND INTERNATIONAL NETWORKS IN THE DEVELOPMENT OF CONTEMPORARY ART IN MOSCOW AND SAINT PETERSBURG	Dr. Elena Romanova, Assoc. Prof. Dr. Dmitry Zaitsev, Kirill Smirnov
		7	IMMERSIVE DIGITAL INSTALLATIONS, INTERACTIVITY AND AUDIENCE EXPERIENCE IN CONTEMPORARY KOREAN EXHIBITION SPACES	Assoc. Prof. Dr. Seung-Hoon Yoon, Da-Eun Kang
		8		

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Satoshi Watanabe**	1	THE DOCUMENTARY LENS AND THE SELF: PHOTOGRAPHY, MEMORY AND IDENTITY IN CONTEMPORARY KOREAN ART	Prof. Dr. Eun-Ji Shin, Dr. Tae-Yang Oh, Assoc. Prof. Dr. Hye-Rin Baek
		2	REGIONAL INEQUALITIES IN UNIVERSITY ACCESS AND THE EFFECTIVENESS OF QUOTA AND SCHOLARSHIP POLICIES IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Mahmoud Ebrahimi, Dr. Narges Sadeghi, Parisa Noori
		3	INTERACTIVE WHITEBOARDS, LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS AND BEHAVIOURAL, EMOTIONAL AND COGNITIVE ENGAGEMENT OF IRANIAN HIGH SCHOOL STUDENTS	Dr. Zahra Hosseinzadeh, Assis. Prof. Dr. Behnam Rostami
		4	IMPLEMENTING INCLUSIVE EDUCATION FOR CHILDREN WITH DISABILITIES AND ROMA PUPILS IN SERBIAN PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Milan Jovanović, Dr. Sanja Đokić
		5	PROFESSIONAL LEARNING COMMUNITIES, MENTORING AND THEIR EFFECTS ON TEACHING QUALITY AND STUDENT ACHIEVEMENT IN SERBIAN SECONDARY SCHOOLS	Prof. Dr. Vesna Ilić, Dr. Nemanja Pavlović, Tijana Milosavljević
		6	COMPETENCY-BASED CURRICULUM REFORM AND QUALITY ASSURANCE IN IRAQI PUBLIC UNIVERSITIES	Prof. Dr. Haider Al-Musawi, Assis. Prof. Dr. Noor Al-Dulaimi, Dr. Mustafa Jassim
		7	TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE AND READINESS FOR DIGITAL TEACHING AMONG PRE-SERVICE TEACHERS IN IRAQ	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Obaidi, Dr. Huda Al-Saadi
		8	LEARNING ANALYTICS, INTERACTIVE PEDAGOGY AND QUALITY OF ONLINE INSTRUCTION IN RUSSIAN HIGHER EDUCATION	Assoc. Prof. Dr. Alexander Popov, Dr. Irina Volkova
		9	ACADEMIC MOTIVATION, SELF-REGULATION STRATEGIES AND ACHIEVEMENT OF STUDENTS IN BLENDED LEARNING PROGRAMMES AT RUSSIAN UNIVERSITIES	Dr. Svetlana Nikitina, Prof. Dr. Mikhail Grigoriev, Artem Lebedev

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Maryam Ghasemi**	1	INQUIRY-BASED STEM EDUCATION AND INTERDISCIPLINARY PROJECT LEARNING IN JAPANESE UPPER SECONDARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Hiroshi Nakamura, Dr. Keiko Yamada, Daisuke Ito
		2	ACTIVE LEARNING AND FLIPPED CLASSROOM STRATEGIES FOR ENHANCING CRITICAL THINKING IN KUWAITI HIGHER EDUCATION	Dr. Fahad Al-Ajmi, Dr. Noura Al-Enezi
		3	GAMIFIED LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS AND STUDENT ENGAGEMENT IN UNDERGRADUATE COURSES AT IRANIAN UNIVERSITIES	Assis. Prof. Dr. Saeed Jafari, Prof. Dr. Mina Ahmadi, Dr. Omid Nikbakht
		4	DESIGNING LANGUAGE-RESPONSIVE CURRICULA FOR REFUGEE AND MULTILINGUAL LEARNERS IN JORDANIAN PUBLIC SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Reem Al-Khatib, Yazan Obeidat
		5	REFLECTIVE PRACTICE AND COACHING IN TEACHER TRAINING PROGRAMMES AND THEIR INFLUENCE ON STUDENT LEARNING IN LEBANESE SCHOOLS	Dr. Georges Haddad, Assoc. Prof. Dr. Rima Saade, Dr. Karim Abou Jaoude
		6	INTEGRATING EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT INTO PRIMARY SCHOOL SCIENCE AND SOCIAL STUDIES CURRICULA IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Maryam Ghasemi, Dr. Hossein Moradi
		7	EFFECTIVENESS OF BLENDED LEARNING MODELS ON ACHIEVEMENT, SATISFACTION AND DIGITAL COMPETENCE OF STUDENTS IN EGYPTIAN UNIVERSITIES	Dr. Mai Abdelhamid, Assoc. Prof. Dr. Wael Elsayed, Prof. Dr. Samia Fouad
		8	STUDENT-CENTRED INSTRUCTIONAL PRACTICES, LEARNER AUTONOMY AND ACADEMIC ACHIEVEMENT IN SAUDI SECONDARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Abdullah Al-Qahtani, Dr. Hessa Al-Otaibi
		9	TEACHERS' DIGITAL COMPETENCE, INSTITUTIONAL SUPPORT AND TECHNOLOGY INTEGRATION PRACTICES IN BAHRAINI PUBLIC SCHOOLS	Dr. Ebrahim Al-Mahmood, Dr. Fatima Al-Mannai, Assis. Prof. Dr. Yousif Al-Aradi, Prof. Dr. Layla Al-Mutawa

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Bassam Darwish**	1	LANGUAGE AND IDENTITY IN CONTEMPORARY ARABIC NOVELS	Ahmed Al-Farouqi Layla Hassan
		2	POETIC TRADITIONS AND SYMBOLISM IN PERSIAN LITERATURE	Dr. Reza Mahdavi Niloofar Azimi Farhad Ghanbari
		3	THE INFLUENCE OF CLASSICAL TURKISH POETRY ON MODERN PROSE	Prof. Dr. Mehmet Erdem Zeynep Kaya
		4	ORAL STORYTELLING AND CULTURAL MEMORY IN IRAQI LITERATURE	Samira Al-Khalidi Ali Hussein Dr. Fadwa Salman
		5	THEMES OF EXILE AND BELONGING IN PALESTINIAN POETRY	Dr. Rami Barakat Aisha Khalil
		6	WOMEN'S VOICES IN CONTEMPORARY SYRIAN FICTION	Nour Haddad Rana Al-Shami Prof. Dr. Bassam Darwish
		7	LINGUISTIC HERITAGE AND IDENTITY FORMATION IN LEBANESE DRAMA	Karim Mansour Dr. Leila Choueiri

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Özge ERDEM**	1	SUSTAINABLE HYBRID LAMINATES WITH CARBON AND CHICKEN FEATHER FIBER INTERLAYERS: EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF MECHANICAL PROPERTIES	Prof. Dr. AHMET DEMİRER Prof. Dr. Ayhan EROL Prof. Dr. Ahmet YÖNETKEN Assoc. Prof. Dr Günnur PEŞMEN
		2	INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE STRESS RELIEF ON THE ELECTROCHEMICAL CORROSION BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED 316L STAINLESS STEEL	Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR Prof. Dr. Tuba YETİM
		3	DESIGN, FABRICATION, AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF A CYCLONE SEPARATOR	Ahmet Topcuoglu
		4	NUMERICAL ANALYSIS OF MOISTURE EXTRACTION VIA DIELECTROPHORETIC-DRIVEN CAPTURE ON CHARGED DROPLETS	Ahmet Topcuoglu
		5	YENİ NESİL METALİK BİYOMALZEMELER: TİTANYUM ESASLI ALAŞIMLARDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER	Şevval AYDOĞAN Prof. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU
		6	EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN NİKEL ESASLI SÜPERALAŞIM TOZLARI: ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TOZ KAYNAKLI KUSURLAR	Merve AY Prof. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU
		7	BIPHENYL-DRIVEN CHANGES IN THE MICROSTRUCTURE AND FLUX PINNING BEHAVIOUR OF BULK MgB 2	Assoc. Prof. Özge ERDEM

No: 1

No:2

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Asst. Prof. Dr. MEHTAP YALÇINKAYA**	1	33 kV ŞEBEKE VOLTAJ TESPİTİ İÇİN KULLANILACAK 10 MVA 33/33 kV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Muhammed Bilal KODAZ
		2	DÜŞÜK GERİLİMLİ DÖKME REÇİNELİ ÇATI TRAFOLARI TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ	HALİME BOZ
		3	KIBRIS ŞARTNAMESİNE UYGUN YÜKSEK GERİLİM–ORTA GERİLİM TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Sevilay YALAVAZ Ender SUNAL
		4	AFET YÖNETİMİNDE AKUSTİK KİRLİLİĞİ MİNİMİZE EDEN KABLOLU VE AEROSTATİK HİBRİT AYDINLATMA SİSTEMİ	Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa TAŞCI Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet AKKAYA Dr. Öğr. Üyesi, Muhammet ARUCU
		5	GAMMA-RAY SHIELDING POTENTIAL OF HIGH-Z QUSONGITE (WC) MINERAL	Asst. Prof. Dr. MEHTAP YALÇINKAYA

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doktor Öğretim Üyesi BERNA BAŞ**	1	The Environmental Impact of Input Use in Agricultural Enterprises Engaged in Crop Production	Kardelen UĞUR Zuhal KARAKAYACI
		2	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SUSTAINABILITY RESEARCH IN GOAT FARMING: GLOBAL TRENDS AND THEMATIC EVOLUTION	Doktora Öğrencisi Damla ARTIKASLAN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU Prof. Dr. Turgay TAŞKIN
		3	TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH IN SHEEP FARMING: BIBLIOMETRIC PROFILE OF THE GLOBAL LITERATURE	Doktora Öğrencisi Damla ARTIKASLAN Prof. Dr. Turgay TAŞKIN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU
		4	PLANT-ROOT MICROBIOME INTERACTIONS UNDER DROUGHT STRESS: HARNESSING THE RHIZOBIOME FOR CLIMATE-RESILIENT AGRICULTURE	Doktor Öğretim Üyesi BERNA BAŞ
		5	STRUCTURE AND FUNCTIONAL POTENTIAL OF THE BIOLOGICAL SOIL CRUST MICROBIOME IN DRYLAND AGRICULTURAL ECOSYSTEMS	Doktor Öğretim Üyesi BERNA BAŞ
		6	TİYOFEN VE 1,2,4-TRİAZOL- HALKASINA SAHİP SCHİFF BAZI TÜREVLERİNİN İN VİTRO ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİ	Dr. Öğr. Üyesi Fevzi AYTEMİZ Doç. Dr. Sevda MANAP Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK Dr. Öğr. Üyesi Gül ÖZDEMİR TORAMAN

No:3

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ**	1	INVESTIGATION OF TRAFFIC-INDUCED NOISE LEVELS IN BURSA	Prof.Dr.Melike YALILI KILIÇ Haluk GÜLNAR
		2	EFFECTS OF URBAN NOISE POLLUTION ON QUALITY OF LIFE AND HEALTH	Prof.Dr.Melike YALILI KILIÇ Haluk GÜLNAR
		3	THE AESTHETIC AND FUNCTIONAL DIMENSIONS OF SPATIAL FORM DESIGN IN LANDSCAPE ARCHITECTURE	Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ Prof. Dr. Elif Merve ALPAK
		4	TOPOGRAPHY-INTEGRATED FURNITURE DESIGNS	Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ Prof. Dr. Elif Merve ALPAK
		5	KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMINDA FARKLI YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, EMEL GÖNÜLTAŞ Dr. Öğr. Üyesi, ESRA GÜNERİ
		6	A BIBLIOMETRIC AND SYSTEMATIC ANALYSIS OF HIGH-SPEED RAIL SYSTEMS IN TÜRKİYE: CURRENT IMPACTS AND FUTURE CORRIDOR PRIORITIES	Yüksek Lisans Öğrencisi Samet ÇINAR Dr. Öğr. Üyesi AYŞE ÜNAL

No: 4

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. UMUT CANLI**	1	TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇOCUKLARIN GELİŞİM ALANLARINA OLAN ETKİLERİ	Çocuk Gelişimci ve Y.L. Öğrencisi Ümran TURHAN Doç. Dr. Özlem YILMAZ DEMİREL
		2	OPTIMAL NUTRITION IN EARLY CHILDHOOD: A REVIEW ON BIOACTIVE COMPONENTS OF BREAST MILK AND COGNITIVE/NEURODEVELOPMENTAL PROCESSES	Çocuk Gelişimci ve Y.L. Öğrencisi Elif ULUDAĞ Doç. Dr. Özlem YILMAZ DEMİREL
		3	FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANI PROGRAMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Prof. Dr. UMUT CANLI
		4	FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANININ FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ VE PSİKOLOJİK DURUM ÜZERİNE ETKİLERİ	Prof. Dr. UMUT CANLI
		5	GLİOBLASTOMA MULTİFORME TANILI HASTALARDA NORMAL BEYİN DOKUSUNUN ALDIĞI RADYASYON DOZLARININ SAĞKALIM, PROGNOZ ÜZERİNE ETKİSİ	Uzman Dr. EYLEM ALİŞ ODABAŞI Prof. Dr. SEMA YILMAZ RAKICI
		6	KÜÇÜK HÜCRELİ DIŞI AKCİĞER KANSERİ HASTALARINDA RADYOTERAPİNİN SERUM VEGF VE GM-CSF DÜZEYLERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE KLİNİKOPATOLOJİK DEĞERLENDİRMESİ	Uzman Dr. EYLEM ALİŞ ODABAŞI
		7	CLINICAL DECISION-MAKING FOR THE RESTORATION OF ENDODONTICALLY TREATED POSTERIOR TEETH: A CROSS-SECTIONAL SURVEY AMONG DENTISTS	Assis. Prof. Dr. Mehmet Kutluhan UÇUK Assis. Prof. Dr. Didar Dilan HARTAVİ

No: 5

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu**	1	SPATIAL ANALYSIS OF FOOTBALL PERFORMANCE USING DIGITAL TRACKING TECHNOLOGIES	Prof. Dr. Kamran Mammadov Assoc. Prof. Dr. Leyla Aliyeva Rashad Huseynli
		2	THE ROLE OF SPORTS NUTRITION IN ENHANCING ATHLETIC ENDURANCE: A CASE STUDY IN YOUTH TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Aygun Taghizada Nijat Safarov
		3	PSYCHOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE SUCCESS OF ELITE WRESTLERS	Prof. Dr. Elchin Abbasov Samira Karimova Assis. Prof. Dr. Rauf Mehdiyev
		4	KINEMATIC APPROACHES TO OPTIMIZE GYMNASTIC TRAINING ROUTINES	Prof. Dr. Andrei Popescu Maria Ionescu Assoc. Prof. Dr. Elena Dobre
		5	EFFECTIVENESS OF RECOVERY STRATEGIES IN PROFESSIONAL HANDBALL TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu Ioana Marinescu
		6	MOTIVATIONAL DYNAMICS IN YOUTH SPORTS DEVELOPMENT PROGRAMS Prof. Dr. Sorin Vasilescu	Anca Radu Dr. Mihai Florescu
		7	THE IMPACT OF CLIMATE CONDITIONS ON MARATHON PERFORMANCE IN EAST AFRICA	Assoc. Prof. Dr. John Mwangi Peter Otieno Samuel Njoroge
		8	ANALYSIS OF INJURY PATTERNS IN PROFESSIONAL FOOTBALL LEAGUES OF WEST AFRICA	Dr. Kofi Mensah Assoc. Prof. Dr. Ama Boateng

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof. Dr. Sevda Mammadli**	1	HIGH-RISE HOUSING, NEIGHBOURLY RELATIONS AND THE TRANSFORMATION OF MAHALLA LIFE IN CONTEMPORARY BAKU	Dr. Elvin Ismayilov, Sevinj Mammadova, Assoc. Prof. Dr. Ramin Gurbanov
		2	INSTAGRAM, TIKTOK AND THE NEGOTIATION OF CULTURAL IDENTITY AMONG AZERBAIJANI UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Javid Aliyev, Narmin Karimova
		3	WOMEN'S EMPLOYMENT, HOUSEHOLD DECISION-MAKING AND CHANGING GENDER RELATIONS IN AZERBAIJANI FAMILIES	Prof. Dr. Sevda Mammadli, Dr. Kamran Ahmadov
		4	RETURN MIGRATION, TRANSNATIONAL TIES AND SOCIAL COHESION IN ROMANIAN RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Cristina Radu, Dr. Andrei Munteanu, Bianca Stan
		5	SCHOOL SEGREGATION, FAMILY BACKGROUND AND UNEQUAL EDUCATIONAL TRAJECTORIES IN ROMANIA	Prof. Dr. Daniela Constantinescu, Dr. Radu Vlad
		6	TRUST, AFFORDABILITY AND CULTURAL BELIEFS IN HEALTHCARE UTILISATION AMONG RESIDENTS OF INFORMAL SETTLEMENTS IN ACCRA	Assoc. Prof. Dr. Kofi Asante, Dr. Efua Owusu
		7	ANCESTRAL BELIEFS, RELIGIOUS PLURALISM AND THE RECONFIGURATION OF SOCIAL NORMS IN CONTEMPORARY WEST AND SOUTHERN AFRICA	Prof. Dr. Sipho Dlamini, Dr. Aminata Ndiaye, Dr. Emeka Eze

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Sahar Ghaffari**	1	APARTMENT LIVING, DECLINING NEIGHBOURHOOD TIES AND NEW FORMS OF COMMUNITY IN TEHRAN	Assoc. Prof. Dr. Hossein Mirzaei, Dr. Elham Rahimi
		2	ONLINE SELF-PRESENTATION, PEER APPROVAL AND IDENTITY CONSTRUCTION AMONG IRANIAN ADOLESCENTS	Dr. Sahar Ghaffari
		3	WOMEN'S HIGHER EDUCATION, DELAYED MARRIAGE AND THE RENEGOTIATION OF FAMILY ROLES IN URBAN IRAN	Prof. Dr. Shahla Kazemi, Dr. Roya Nasiri, Arash Bahrami
		4	SHADOW EDUCATION, CULTURAL CAPITAL AND INTERGENERATIONAL MOBILITY IN IRAN	Assis. Prof. Dr. Mohsen Abbasi
		5	HERITAGE SITES, COMMEMORATIVE PRACTICES AND THE POLITICS OF COLLECTIVE MEMORY IN URBAN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Yasser Abdel-Aziz, Dr. Nadia Mostafa
		6	OUT-OF-POCKET SPENDING, SOCIAL CLASS AND UNEQUAL ACCESS TO PRIMARY HEALTHCARE IN GREATER CAIRO	Dr. Ayman Shehata, Assoc. Prof. Dr. Rasha Salem, Mahmoud Ghoneim
		7	SKILLS MISMATCH, INFORMAL EMPLOYMENT AND THE SOCIAL CONSEQUENCES OF YOUTH UNEMPLOYMENT IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Saule Ospanova, Dr. Nurlan Kenzhebayev, Aruzhan Bekova
		8	CUSTOMARY PRACTICES, KINSHIP NETWORKS AND SOCIAL ADAPTATION TO MODERNISATION IN RURAL KAZAKHSTAN	Dr. Bakhyt Nurmukhanov, Assoc. Prof. Dr. Raushan Ermekova

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Svetlana Karpova**	1	ENHANCING EDUCATIONAL EQUITY THROUGH UNIVERSAL ACCESS POLICIES IN IRANIAN SECONDARY SCHOOLS	Prof. Dr. Fereshteh Davoudi Assis. Prof. Dr. Vahid Mahmoudi Marjan Zarei
		2	ADAPTING UNIVERSITY TEACHING FOR DIGITAL LEARNERS: CHALLENGES AND INNOVATIONS IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Saeed Rohani Dr. Niloofar Taghavi
		3	MULTILINGUAL EDUCATION AND INTEGRATION: POLICY EXPERIENCES IN SERBIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Katarina Jovanović Vladimir Ilić Assis. Prof. Dr. Slobodan Milenković
		4	THE IMPACT OF TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON STUDENT ACHIEVEMENT IN SERBIAN SECONDARY SCHOOLS	Dr. Jelena Petrović Assis. Prof. Dr. Marko Vuković Nikola Filipović Marina Mihajlović
		5	CURRICULUM REFORM AND EMPLOYABILITY SKILLS DEVELOPMENT IN IRAQI UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Zainab Al-Musawi Mustafa Aziz Ali Taha
		6	BARRIERS TO GIRLS' SECONDARY EDUCATION PARTICIPATION IN RURAL IRAQ: SOCIAL AND STRUCTURAL FACTORS	Dr. Rasha Al-Tamimi Assoc. Prof. Dr. Samir Jameel
		7	INNOVATIVE TEACHING METHODS AND STUDENT ENGAGEMENT IN LARGE RUSSIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Irina Sokolova Oleg Novikov Assis. Prof. Dr. Tatiana Demidova Mikhail Petrov
		8	DISTANCE LEARNING AND STUDENT WELLBEING: EXPERIENCES FROM REGIONAL UNIVERSITIES IN RUSSIA	Assoc. Prof. Dr. Svetlana Karpova Natalia Smirnova Lyudmila Ivanova

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Shalini Kaur**	1	LEGAL CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF DATA PRIVACY REGULATIONS IN INDIA	Prof. Dr. Priya Srivastava Dr. Rajiv Menon
		2	ACCESS TO JUSTICE AND THE ROLE OF PUBLIC INTEREST LITIGATION IN INDIAN CONSTITUTIONAL LAW	Prof. Dr. Shalini Kaur
		3	THE EVOLUTION OF PROPERTY LAW IN POST-COMMUNIST ROMANIA	Assoc. Prof. Dr. Ioana Popescu Dr. Alexandru Stan Dr. Corina Petrescu
		4	CONSTITUTIONAL REFORM AND JUDICIAL INDEPENDENCE IN MODERN ROMANIA	Radu Ionescu Mircea Dragomir
		5	LEGAL FRAMEWORKS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION IN INDONESIA: ANALYSIS OF THE BASIC ENVIRONMENTAL LAW	Prof. Dr. Indah Yuliana Dr. Farid Arifin
		6	THE EMERGENCE OF CYBER LAW IN INDONESIAN E-COMMERCE AND DIGITAL ECONOMY	Dr. Wira Pratama Assoc. Prof. Dr. Siti Rahmawati Dr. Agung Nugroho
		7	TRENDS IN JUDICIAL REFORM AND ACCESS TO LEGAL AID IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Serik Akhmetov
		8	ADOPTION OF MEDIATION IN CIVIL DISPUTE RESOLUTION: THE KAZAKHSTAN EXPERIENCE	Prof. Dr. Gulmira Rakhimova Dr. Dauren Zhaksybek Aigerim Sarsembay

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Neha Saxena**	1	CIVIL DISOBEDIENCE, PROVINCIAL LEGISLATURES AND THE TRANSFORMATION OF BRITISH COLONIAL ADMINISTRATION IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Rajesh Chaturvedi,
		2	PERSIAN, RAJPUT AND INDIGENOUS ELEMENTS IN THE GARDEN TOMBS AND PALACES OF MUGHAL ARCHITECTURE	Dr. Neha Saxena
		3	COLONIAL MUNICIPALITIES, THE PRINCIPALÍA AND THE ORIGINS OF LOCAL POLITICAL ELITES IN THE SPANISH PHILIPPINES	Assoc. Prof. Dr. Ramon Villanueva, Dr. Angelica Reyes
		4	SCHOOLS, TEXTBOOKS AND THE MAKING OF A FILIPINO NATIONAL IDENTITY AFTER THE SECOND WORLD WAR	Prof. Dr. Corazon Mendoza, Dr. Antonio Dela Paz, Kristine Aquino
		5	MERCHANT NETWORKS, DHOW TRADE AND OMANI INFLUENCE ON THE EAST AFRICAN COAST	Assoc. Prof. Dr. Sultan Al-Hinai, Dr. Muna Al-Busaidi
		6	BRONZE AGE SETTLEMENTS, COPPER PRODUCTION AND EARLY URBANISM IN NORTHERN OMAN	Dr. Nasser Al-Jahwari, Assis. Prof. Dr. Salma Al-Kalbani, Hilal Al-Shuaili
		7	COMMEMORATION, SCHOOL HISTORY AND FOUNDING MYTHS IN THE CONSTRUCTION OF POST-SOVIET AZERBAIJANI NATIONAL IDENTITY	Assoc. Prof. Dr. Tural Musayev, Dr. Gunel Rzayeva
		8	OIL BARONS, LABOUR MIGRATION AND THE SOCIAL TRANSFORMATION OF BAKU IN THE LATE NINETEENTH AND EARLY TWENTIETH CENTURIES	Dr. Elnur Hasanov, Assoc. Prof. Dr. Aynur Mustafayeva, Rashad Ismayilzada
		9	ALBANIAN NOTABLES, OTTOMAN REFORM POLICIES AND THE EMERGENCE OF ALBANIAN NATIONAL CONSCIOUSNESS	Dr. Arben Hoxha, Assoc. Prof. Dr. Mirela Kola

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Eylül / Sept 25, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Claire Lefebvre**	1	ROBOTIC FABRICATION, PARAMETRIC DESIGN AND THE TRANSFORMATION OF STUDIO PEDAGOGY IN FRENCH SCHOOLS OF ARCHITECTURE	Assoc. Prof. Dr. Camille Bernard, Dr. Julien Fontaine, Élise Garnier
		2	ABSTRACTION, COLOUR AND SPATIAL EXPERIMENTATION IN THE WORK OF CONTEMPORARY AZERBAIJANI PAINTERS	Assoc. Prof. Dr. Elmira Huseynova, Orkhan Mammadzade
		3	REINTERPRETING CARPET ORNAMENTS AND FOLK SYMBOLS IN CONTEMPORARY AZERBAIJANI FASHION AND TEXTILE DESIGN	Dr. Shahla Abbasova, Assis. Prof. Dr. Rufat Valiyev
		4	HERITAGE, SAVOIR-FAIRE AND NATIONAL SYMBOLISM IN CONTEMPORARY FRENCH HAUTE COUTURE	Assoc. Prof. Dr. Claire Lefebvre
		5	MURALS, YOUTH WORKSHOPS AND PARTICIPATORY ART PROJECTS AS CATALYSTS FOR SOCIAL CHANGE IN URBAN ETHIOPIA	Assoc. Prof. Dr. Bethlehem Tadesse, Dr. Yared Mekonnen
		6	GENDER, MATERIAL AND MEANING: MALE AND FEMALE VOICES IN CONTEMPORARY ETHIOPIAN SCULPTURE	Dr. Hirut Alemu, Assoc. Prof. Dr. Getachew Worku, Meskerem Desta
		7	VISUAL LANGUAGE OF THE SAFAVID MINIATURE IN CONTEMPORARY IRANIAN POSTER AND BOOK COVER DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Nasrin Hosseini, Dr. Behrouz Kamali

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
September 24 – 29, 2026
SKOPJE

YÜZ YÜZE

26 Eylül / Sept 26, 2026 / 10:00 – 13:00 Time zone in Skopje (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Yunus Emre Karakaya	1	ALGORİTMİK AKIŞLARDA GÖNÜLLÜ ÇOCUKSUZLUK : AİLE NORMLARI VE ÇOCUK SAHİBİ OLMA KARARININ YENİDEN ANLAMLANDIRILMASI	Doktorant FATMA HAMAMCI
		2	ARE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DEEPFAKE TECHNOLOGIES DANGEROUS? THE TRANSFORMATION OF DISINFORMATION IN THE AGE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Dr. Öğr. Üyesi SEMRA GEÇKİN ONAT
		3	DEVELOPING PHYSICAL EDUCATION TEACHERS' PROFESSIONAL COMPETENCIES FOR TEACHING STUDENTS WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS: A CONCEPTUAL APPROACH	Prof. Dr. Yunus Emre Karakaya Esra Genç Seda Demir Ayçiçek Melih Dikmen Aykut Şahin
		4	AN EXAMINATION OF INTERSECTIONAL BARRIERS TO SPORT PARTICIPATION AMONG WOMEN WITH DISABILITIES	Mualla Dikmen Yunus Emre Karakaya Zeki Coşkuner
		5	DEVELOPMENT AND PSYCHOMETRIC EVALUATION OF AN ACHIEVEMENT TEST OF INSTRUCTIONAL KNOWLEDGE FOR TEACHING STUDENTS WITH SPECIAL NEEDS	Semih Dikmen Erhan Özmen Yunus Emre Karakaya Doç. Dr. Melih Dikmen
		6	INCLUSIVITY FOR STUDENTS WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS IN THE PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS CURRICULUM OF THE TÜRKIYE CENTURY EDUCATION MODEL	Semih Dikmen Erhan Özmen Aykut Şahin Tamer Karademir Cumaali Yavuz
		7	NEEDS ANALYSIS ON THE ROLE OF PHYSICAL EDUCATION TEACHERS IN DIRECTING TO SPORTS FROM THE PERSPECTIVE OF DISABILITY SPORTS FEDERATION REPRESENTATIVES	Aykut Şahin Yunus Emre Karakaya Melih Dikmen Cumaali Yavuz Tamer Karademir
		8	SORUŞTURMANIN GİZLİLİĞİ İLE BASIN ÖZGÜRLÜĞÜ ARASINDAKİ DENGE: AİHM'İN BÉDAT v. İSVİÇRE KARARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üye. NURÇİN KÜÇÜKYAZICI
		9	EŞLER ARASINDAKİ GÜNDELİK HİTAPLARIN BOŞANMA HUKUKUNDA KUSURA ETKİSİ: YARGITAY 2. HUKUK DAİRESİNİN "TOMBİK" KARARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Av. Esra Pınar Bilgin
		10	SINIF ÖĞRETMENLERİNİN DERS PLANLARI, MATERYAL GELİŞTİRME VE ÖLÇME DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİNDE YAPAY ZEKA KULLANIMINA İLİŞKİN DENEYİMLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe IŞIK ÖNER
		11	BALKANLAR'DA DEVLETLEŞME SÜRECİNDE HANEDAN SEÇİMİ VE SİYASAL MEŞRUİYET: ARNAVUTLUK MERKEZLİ KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	SELİM TAŞÇI

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026
SKOPJE

YÜZ YÜZE

26 Eylül / Sept 26, 2026 / 14:00 – 16:00 Time zone in Skopje (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Süleyman Ersöz	1	OPTIMIZATION OF HOSPITAL CLEANING PROCESSES AND AN APPLICATION IN A FACULTY OF MEDICINE	Prof. Dr. Süleyman Ersöz Res. Asst. Semra Tebrizcik
		2	DIGITALIZATION OF HOSPITAL CLEANING PROCESSES AND AN APPLICATION	Prof. Dr. Süleyman Ersöz Res. Asst. Semra Tebrizcik Prof. Dr. Adnan Aktepe Res. Asst. Merve Asiloğulları Ayan
		3	ZEKİ TEMİZLİK YÖNETİM SİSTEMİ: IOT, RTLS VE ATP TABANLI DİJİTAL VERİ TOPLAMA VE ANALİZİ	Prof.Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER Prof.Dr. Süleyman ERSÖZ Prof.Dr. Adnan AKTEPE Merve ASİLOĞULLARI AYAN
		4	A FUZZY LOGIC-BASED MODEL PROPOSAL AND APPLICATION FOR SAFETY STOCK DETERMINATION UNDER UNCERTAINTY	Prof. Dr. Adnan AKTEPE Kübra GÖNDER
		5	TIYOFEN HALKALI SÜLFAMERAZIN SCHIFF BAZ LIGANDI VE BAZI METAL KOMPLEKSLERININ SENTEZI VE KARAKTERIZASYONLARI	Prof. Dr. Mehmet SÖNMEZ
		6	PSO TABANLI ÖZELLIK SEÇIMI ILE KALP HASTALIĞI TAHMIN PERFORMANSININ İYILEŞTIRILMESI	Melih Alperen Birkaya, Prof. Dr. Murat Lüy
		7	BILGISAYARLI TOMOGRAFI GÖRÜNTÜLERINDE U-NET MODEL VARYANTLARI ILE KARACİĞER SEGMENTASYONU	Buğra Hatipoğlu, Prof. Dr. Murat Lüy
		8	COMPARATIVE TRANSCRIPTOMIC ANALYSIS OF CARBOHYDRATE METABOLISM FOLLOWING TOR1 DELETION AND RAPAMYCIN TREATMENT IN YEAST	HAZAL DENİZ YÜKSEL TÜLAY TURGUT GENÇ

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 10:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Serpil ERSÖZ**	1	THE CONSTRUCT OF "STANDARD ENGLISH"	Blagica Upcheva Dr. Sashka Jovanovska
		2	KUZEY VE DOĞU BULGARİSTAN'DA TÜRKÇE ÖĞRETİMİ: MEVCUT DURUM VE GÜNCEL SORUNLAR	Doç. Dr. MENENT SHUKRİEVA
		3	EXPRESSIONS OF AFFECTION THROUGH NEGATIVE-MEANING FORMULAE IN THE AHISKA DIALECT: A PRAGMATIC AND RELATIONAL ANALYSIS	Prof. Dr. Serpil ERSÖZ
		4	A PRAGMATIC ANALYSIS OF STRATEGIES FOR CONCEALING AND DISCLOSING LOVE IN AHISKA MÂNIS	Prof. Dr. Serpil ERSÖZ
		5	BİR GÖSTERGE OLARAK RUMELİ TÜRKÜLERİNDE HİTAP BİÇİMLERİNİN PRAGMATİĞİ	Doç. Dr. Betül B. OĞUZ
		6	RUMELİ TÜRKÜLERİNDE RENK GÖSTERGELERİ: KARA, AL VE MOR	Doç. Dr. Betül B. OĞUZ
		7	THE PROBLEM OF COMMENTARY AND INTERPRETATION IN THE ANALYSIS OF A LITERARY TEXT	Assoc. Prof. Nazile Abdullazade

No: 4

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER**	1	FROM WASTE TO VALUE-ADDED BIO-ADSORBENT: SUSTAINABLE REMOVAL OF ORANGE II USING CHITOSAN-MODIFIED TOMATO STEM	Elif Beyza KARAKAŞ Batuhan YARDIMCI Nergiz KANMAZ
		2	SUSTAINABLE TOXIC MALACHITE GREEN DYE REMOVAL VIA METAL OXIDE SUPPORTED BIOWASTES	Batuhan YARDIMCI Nergiz KANMAZ
		3	REPAIR AND EXTENSION OF THE SERVICE LIFE OF LEATHER PRODUCTS: A REVIEW FROM A CIRCULAR ECONOMY PERSPECTIVE	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER Öğr. Gör. ERTAN EROL
		4	CHEMICAL EXPOSURE RISKS İN LEATHER PRODUCTION: A REVIEW OF THE PICKLING AND TANNING STAGES	Öğr. Gör. ERTAN EROL Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER
		5	İZMİR İLİ KAPSAMINDA ŞEV STABİLİTESİNE ETKİ EDEN İKLİMSEL FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, DUYGU ÖZMEN Dr. Öğr. Üyesi, ESRA GÜNERİ

No: 1

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğretim Üyesi SVITLANA NESTEROVA COŞKUN**	1	THE SCOPES MONKEY TRIAL IN THE EARLY REPUBLICAN TURKISH PRESS (1925–1927)	Arş. Gör. Dr. Batuhan AKGÜNDÜZ
		2	DÜŞÜNCENİN UZAMSAL METAFORLARI: TÜRKÇEDE BİLİŞSEL SÜREÇLERİN KAVRAMSALLAŞTIRILMASI	Dr. Öğretim Üyesi SVITLANA NESTEROVA COŞKUN
		3	AÇIKLAYANDAN AÇIKLANANA: BRUNO LATOUR'UN AKTÖR-AĞ KURAMINDA MODERN DOĞA VE ÖZNE ANLAYIŞININ ELEŞTİRİSİ	Arş. Gör. Dr. Adnan AKAN
		4	PETER BERGER'İN SEKÜLERLEŞME TARTIŞMALARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Araştırma Görevlisi Meryem DİLEK
		5	AYDINLANMA'DAN ELEŞTİREL PERSPEKTİFE SOSYAL BİLİMLER: YÖNTEM, İNSAN DOĞASI VE İTİRAZLAR	Araştırma Görevlisi Meryem DİLEK

No: 1

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Serkan Volkan SARI**	1	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN SOSYAL BAŞARI HEDEFİ DÜZEYLERİNİN ÇEŞİTLİ DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Öznur Akpınar Doç. Dr. Melek Kurşunel Doç. Dr. Hande Baba Kaya Prof. Dr. Selahattin Akpınar
		2	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME EĞİLİMLERİNİN BAZI DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Öznur Akpınar Doç. Dr. Melek Kurşunel Doç. Dr. Hande Baba Kaya Prof. Dr. Selahattin Akpınar
		3	AN INVESTIGATION INTO INDIVIDUAL AND TEAM ATHLETES' AWARENESS OF MENTAL FATIGUE AND THEIR LEVELS OF SOCIAL INTEGRATION IN SPORT	Kübra KEY ÖLMEZOĞLU Dr. Mesut BULUT Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Merve DURAN
		4	AN EXAMINATION OF BASIC PSYCHOLOGICAL NEEDS AND LEVELS OF EFFECTIVE DECISION-MAKING IN INDIVIDUAL AND TEAM ATHLETES DURING EXERCISE	Dr. Mesut BULUT Kübra KEY ÖLMEZOĞLU Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Merve DURAN
		5	HAYALLER VE GERÇEKLER: SPOR AKADEMİSİ MEZUNU SPORCULARIN ERKEN KARİYER DÖNEMİNDEKİ ÇİFT KARİYER DENEYİMLERİ: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Serkan Volkan SARI Dr.Öğretim Üyesi Halil İbrahim ÇAKIR
		6	YENİDEN BAŞLAMAK: AKADEMİ YÜZÜCÜLERİNDE BAŞARISIZLIK SONRASI PSİKOLOJİK TOPARLANMA DENEYİMLERİ	Doç. Dr. Serkan Volkan SARI
		7	KADIN VOLEYBOLCULARDA POSTERİOR ZİNCİR KUVVETİ VE COUNTERMOVEMENT JUMP PERFORMANSI: ORAN VE ALLOMETRİK ÖLÇEKLENDİRME YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Dr. Öğr. Üyesi, BURAK TAŞ Dr. Öğr. Üyesi, ONUR YILDIRIM ÇAĞLA CAN YENİEV
		8	SUSTAINABLE ATHLETE IDENTITY: THE ROLE OF ENVIRONMENTAL AWARENESS AND THE CONCEPT OF CARBON FOOTPRINT IN SPORTS SCIENCES	MELİSA GÜNDOĞDU

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr., Ali Murat AKTEMUR**	1	ABOUT THE ROMA ROAD REMAINS IN ARAPGIR	Prof. Dr., Ali Murat AKTEMUR
		2	RAIMONDO D'ARONCO'S ARCHITECTURAL STYLE WITH A FEW EXAMPLES.	Prof. Dr., Ali Murat AKTEMUR
		3	IRREGULAR WARFARE IN OTTOMAN PERIOD: THE TURKISH REPUBLIC OF WESTERN THRACE	Avrupa Birliği Yüksek Lisans Öğrencisi, Orçun Balcıner
		4	BİR SÛFÎNİN SELÇUKLU DEVLET YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ: MECDÜDDİN İSHAK VE I. GIYÂSEDDİN KEYHÜSREV İLİŞKİSİ	MUHAMMED AKBAŞ PROF. DR. HASAN HÜSEYİN ADALIOĞLU
		5	II. MEŞRUTİYET DÖNEMİ'NDE REJİME KARŞI GELİŞEN KOLEKTİF TEPKİLER	Doktora Öğrencisi Eda Şahin Prof. Dr. Süleyman Tekir
		6	TÜRKİYE AFTER THE 27 MAY 1960 COUP THROUGH THE LENS OF U.S. INTELLIGENCE: AN EVALUATION OF THE FORECASTS IN A CIA REPORT	Doç. Dr. Ahmet Çelik
		7	THE DEFENCE OF PLEVNA THROUGH ENGRAVİNGS FROM THE RUSSİAN PERSPECTİVE THE NİVA MAGAZİNE	Doç. Dr. Ahmet Çelik
		8	TWO WAVES OF ETHNIC CLEANSING IN THE BALKANS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EARLY AND LATE 20TH CENTURY	Ulfar Mammadli
		9	COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERNIZATION DISCOURSE IN THE PRESS OF RUMELIA AND THE CAUCASUS: PROVINCIAL PRESS AND ENLIGHTENMENT IN THE SECOND HALF OF THE 19TH CENTURY	Müslüm Demir

No: 5

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Lina Najjar**	1	CHILD PROTECTION STRATEGIES IN RURAL COMMUNITIES OF KYRGYZSTAN	Prof. Dr. Bakytbek Isakov Assis. Prof. Dr. Aizada Amanova
		2	INTEGRATING FAMILY SYSTEMS THEORY INTO SOCIAL WORK EDUCATION IN KYRGYZSTAN	Assis. Prof. Dr. Gulnur Koichumanova
		3	POST-CONFLICT SOCIAL WORK PRACTICES AMONG INTERNALLY DISPLACED PERSONS IN SYRIA	Assoc. Prof. Dr. Fadi Al-Hamdan Dr. Nada Saoud Maysoun Khalil
		4	WOMEN'S EMPOWERMENT INITIATIVES THROUGH SOCIAL SERVICES IN SYRIAN UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Lina Najjar
		5	INNOVATION IN SOCIAL WORK PRACTICES IN RUSSIAN URBAN CENTERS	Natalia Smirnova Assis. Prof. Dr. Zalina Danilova Dr. Yulia Roslova
		6	THE ROLE OF SOCIAL WORKERS IN ADDRESSING ADDICTION AND SUBSTANCE ABUSE IN RUSSIA	Assis. Prof. Dr. Anna Sokolova Dmitry Ivanov
		7	YOUTH ENGAGEMENT IN COMMUNITY DEVELOPMENT PROGRAMS IN PALESTINIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Amira Khalil Assis. Prof. Dr. Ramzi Barakat
		8		

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Meena Raval Assis. Prof. Dr. Amatma Sharma**	1	POSTCOLONIAL THEMES IN MODERN INDIAN NOVELS: RECONSTRUCTING IDENTITY AND CULTURE	Prof. Dr. Kavita Choudhury Dr. Rajesh Mishra
		2	TRANSLATION, GENDER, AND POLITICS IN SOUTH ASIAN WOMEN'S POETRY	Dr. Meena Raval Assis. Prof. Dr. Amatma Sharma
		3	REPRESENTING INDIGENOUS MYTHS AND FOLKLORE IN CONTEMPORARY PHILIPPINE SHORT STORIES	Assis. Prof. Dr. Maria Lourdes Sanchez Dr. Ricardo Ramos Isabel Bautista
		4	SOCIAL REALISM IN PHILIPPINE POETRY: REFLECTIONS ON HISTORY, CLASS, AND RESISTANCE	Dr. Patricia Gomez James Dela Cruz Carlotta Pascual Dr. George Castor
		5	MODERNITY AND TRADITION IN KOREAN LITERARY NARRATIVES: A GENERATIONAL DIALOGUE	Assoc. Prof. Dr. Min-Seok Kim Soojin Park
		6	FEMINIST CRITICISM AND WOMEN'S NARRATIVES IN KOREAN NOVELS AFTER 2000	Dr. Jiyoung Lee Assis. Prof. Dr. Hana Park
		7	NEGRITUDE, LANGUAGE, AND IDENTITY IN SENEGALESE FRANCOPHONE NOVELS	Prof. Dr. Moussa Diop Dr. Fatou Ndiaye Samba Fall
		8	THE AESTHETICS OF ORAL STORYTELLING AND SONG IN SENEGAL'S CONTEMPORARY LITERARY SCENE	Dr. Aminata Sarr Daouda Faye Babacar Ndoye Ibrahima Ba

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Anna Petraki**	1	COLD CHAIN LOGISTICS, SUPPLIER DIVERSIFICATION AND RISK MITIGATION IN NIGERIAN FRESH PRODUCE SUPPLY CHAINS	Dr. Abdullahi Garba, Assoc. Prof. Dr. Funke Oladipo
		2	LEAN MANUFACTURING, WORK MEASUREMENT AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN SOUTHEASTERN NIGERIA	Dr. Obinna Ugwu, Assis. Prof. Dr. Adaobi Nnamdi, Chukwudi Okeke
		3	LIFE CYCLE COST ANALYSIS AND MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FOR RENEWABLE POWER GENERATION PLANNING IN PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Usman Ghani, Dr. Saima Nawaz, Dr. Faisal Qureshi
		4	QUEUEING MODELS AND INTEGER PROGRAMMING FOR HOSPITAL BED AND STAFF ALLOCATION IN PUBLIC HOSPITALS OF PUNJAB	Assoc. Prof. Dr. Ayesha Malik, Dr. Kamran Butt
		5	ENERGY EFFICIENCY, PREDICTIVE MAINTENANCE AND PRODUCTION SCHEDULING OPTIMISATION IN IRAQI OIL REFINERIES	Prof. Dr. Ammar Al-Saadi, Dr. Zainab Al-Khafaji, Ahmed Najim
		6	COST–BENEFIT EVALUATION OF BUS RAPID TRANSIT SCENARIOS USING AGENT-BASED TRAFFIC SIMULATION IN BAGHDAD	Assoc. Prof. Dr. Mustafa Al-Rubaie, Dr. Hiba Jawad
		7	CARRYING CAPACITY ASSESSMENT AND COST–BENEFIT MODELLING FOR SUSTAINABLE ISLAND TOURISM IN THE CYCLADES	Assoc. Prof. Dr. Nikolaos Georgiou, Dr. Maria Antonopoulou, Konstantinos Makris
		8	REAL OPTIONS VALUATION AND RISK-BASED DECISION ANALYSIS FOR PUBLIC–PRIVATE PARTNERSHIP INFRASTRUCTURE PROJECTS IN GREECE	Dr. Georgios Alexiou, Assis. Prof. Dr. Sofia Panagiotou

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Noor Al Harthy**	1	REASONING, DEFINITION AND PROOF IN THE MEDIEVAL ARMENIAN SCHOLARLY TRADITION: IMPLICATIONS FOR CONTEMPORARY ARGUMENTATION THEORY	Prof. Dr. Samvel Hovhannisyan
		2	JUSTICE, MEMORY AND MORAL RESPONSIBILITY IN ARMENIAN POLITICAL PHILOSOPHY AFTER THE VELVET REVOLUTION	Dr. Mariam Arakelyan, Assoc. Prof. Dr. Levon Zakaryan
		3	WITNESS CONSCIOUSNESS AND CONTEMPLATIVE AWARENESS: VEDANTIC AND JAINA PERSPECTIVES ON MINDFULNESS	Prof. Dr. Suresh Pandey, Dr. Ananya Mishra
		4	MAYA, EMERGENCE AND COGNITIVE SCIENCE: ADVAITA VEDANTA IN DIALOGUE WITH CONTEMPORARY THEORIES OF CONSCIOUSNESS	Dr. Lakshmi Narayanan, Assoc. Prof. Dr. Rohit Deshmukh
		5	KARMA, COMPASSION AND MORAL FACTS: DHARMAKIRTI AND SHANTIDEVA ON ETHICAL OBJECTIVITY	Dr. Sourav Ghosh, Aditya Prakash, Prof. Dr. Salim Al Wahaibi
		6	TOLERANCE, COEXISTENCE AND THE ETHICS OF PUBLIC WELFARE IN CONTEMPORARY OMANI INTELLECTUAL LIFE	Assoc. Prof. Dr. Maryam Al Riyami
		7	MU'TAZILITE RATIONALISM AND CONTEMPORARY ISLAMIC THOUGHT: REASON, REVELATION AND THE CHALLENGE OF MODERNITY	Dr. Ali Al Ismaili, Prof. Dr. Fatma Al Ghaithi
		8	RELIGIOUS TRADITION, PHILOSOPHICAL INQUIRY AND THE FORMATION OF CIVIC IDENTITY IN OMANI HIGHER EDUCATION	Dr. Shaima Al Maskari, Assoc. Prof. Dr. Nasser Al Kharusi

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assis. Prof. Dr. Dauren Tulepov**	1	SOCIAL INTEGRATION OF INTERNAL MIGRANTS IN URBAN KAZAKHSTAN: CHALLENGES AND POLICY RESPONSES	Prof. Dr. Nurzhan Akhmetov Dr. Aigerim Sadykova Assis. Prof. Dr. Dauren Tulepov
		2	GENDER ROLES AND FAMILY TRANSFORMATION AMONG YOUNG ADULTS IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Aliya Zhaparova Dr. Yerbolat Kassenov
		3	YOUTH ASPIRATIONS AND EDUCATIONAL MOBILITY IN ERITREA: SOCIOLOGICAL INSIGHTS	Dr. Selam Habtemariam Samuel Berhane
		4	THE IMPACT OF TRADITIONAL STRUCTURES ON COMMUNITY DEVELOPMENT IN CONTEMPORARY ERITREA	Prof. Dr. Amanuel Tesfay Kibrom Menghisteab
		5	SOCIAL CAPITAL AND HEALTH OUTCOMES AMONG OLDER ADULTS IN CAIRO NEIGHBORHOODS	Dr. Noura Fathy Prof. Dr. Hatem Abdelrahman
		6	CHANGING MARRIAGE PRACTICES AND THEIR IMPACT ON FAMILY DYNAMICS IN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Sorour Dr. Mona Gaber
		7	NATIONAL IDENTITY CONSTRUCTION AMONG YOUTH IN POST-SOVIET AZERBAIJAN	Prof. Dr. Elchin Gasimov Dr. Zaur Mammadli
		8	MEDIA CONSUMPTION AND VALUES SHIFT IN URBAN AZERBAIJANI SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Leyla Guliyeva Aysel Jafarova

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem,**	1	MURABAHA, IJARA AND SUKUK STRUCTURES: SHARIA GOVERNANCE AND CONTRACTUAL ENFORCEABILITY IN THE SAUDI COMMERCIAL COURTS	Assoc. Prof. Dr. Turki Al-Dosari, Dr. Reem Al-Zahrani, Faisal Al-Shehri
		2	THE PERSONAL DATA PROTECTION LAW AND INSTITUTIONAL CYBERSECURITY GOVERNANCE IN SAUDI ARABIA: COMPLIANCE CHALLENGES FOR PUBLIC AND PRIVATE ENTITIES	Dr. Bandar Al-Mutairi, Assis. Prof. Dr. Nourah Al-Dossary
		3	LEGAL CAPACITY, GUARDIANSHIP REFORM AND THE EXPANSION OF WOMEN'S RIGHTS IN THE SAUDI PERSONAL STATUS LAW	Prof. Dr. Maha Al-Shammari, Dr. Abeer Al-Qurashi, Omar Al-Juhani
		4	SEPARATION OF POWERS, JUDICIAL REVIEW AND THE CONSTITUTIONAL COUNCIL IN THE ALGERIAN CONSTITUTIONAL ORDER	Dr. Mohamed Benyoucef, Assoc. Prof. Dr. Souad Mebarki
		5	TREATY INCORPORATION AND THE JUDICIAL APPLICATION OF INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS STANDARDS BY ALGERIAN COURTS	Assoc. Prof. Dr. Djamila Rahmani, Dr. Riad Kaddour, Imane Saidi
		6	INVESTMENT LAW REFORM, INTERNATIONAL ARBITRATION AND THE LEGAL PROTECTION OF FOREIGN INVESTORS IN ALGERIA	Prof. Dr. Rachid Hamdani, Dr. Nesrine Khelifi
		7	BANKING SECRECY, CLOUD OUTSOURCING AND CROSS-BORDER DATA TRANSFER REGULATION IN THE LEBANESE FINANCIAL SECTOR	Dr. Joseph Khoury, Assoc. Prof. Dr. Rania Gemayel
		8	DEPORTATION, DETENTION AND THE PRINCIPLE OF NON-REFOULEMENT IN LEBANESE JUDICIAL PRACTICE CONCERNING SYRIAN REFUGEES	Assoc. Prof. Dr. Maya Fakhoury, Dr. Tony Bou Said, Assis. Prof. Dr. Nour Sleiman

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç.Dr. Hilal Süreyya Yılmaz**	1	THE IMPORTANCE OF MULTIDISCIPLINARY APPROACH IN FINE ARTS EDUCATION: A CASE STUDY	Doç.Dr. Hilal Süreyya Yılmaz
		2	CULTURAL REPRESENTATION OF ISTANBUL IN HOLLYWOOD FILMS: CLICHÉS AND REALITIES	Doç.Dr., Hilal Süreyya Yılmaz
		3	BEYOND GREEN AESTHETICS: REVISING STEREOTYPICAL REPRESENTATIONS OF SUSTAINABILITY IN AI-GENERATED INTERIOR DESIGN	Assoc Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		4	CULTURE OR STEREOTYPE? VISUAL REPRESENTATIONS OF CULTURAL IDENTITY IN AI-GENERATED RESİDENTIAL INTERIORS	Assoc Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		5	RESİM SANATINDA PORTRELERİN MORFOPSİKOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ	Doç. Dr., BUŞRA İNCİRKUŞ ULUSHAN
		6	TUTORIAL-BASED AUTHENTIC ASSESSMENT IN THE AGE OF AI: A VIDEO EDITING PEDAGOGY MODEL	Ersin Ertan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi Ülkü SÖNMEZ**	1	THE CONSTRUCTION OF ARABESQUE MASCULINITY IN OSMAN F. SEDEN'S FERDİ TAYFUR FILMS: VICTIMHOOD, PRIDE, AND SELF-SACRIFICE	Öğr. Gör. Dr. MELİH TOMAK
		2	THE LIMITS OF CINEMATIC PERSPECTIVE: THE VISUAL POSITIONING OF IDENTITIES	Öğr. Gör. Dr. MELİH TOMAK
		3	GÜNÜMÜZ SOSYAL MEDYA OLGUSUNDA ANDY WARHOL'UN SANAT VE TİCARET ANLAYIŞININ BELİRGİN İZLERİ	Dr. Ögr. Üyesi TURAN YİGİN
		4	SANATTA ANLAM VE ALGI DEVRİMİ; MARCEL DUCHAMP, KAVRAMSAL SANATIN ASİ DEVRİMCİSİ	Dr. Ögr. Üyesi TURAN YİGİN
		5	OSMANLI SARAY KADIN GİYİMİNDE AKSESUAR KULLANIMI: BAŞLIK, KEMER VE AYAKKABI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Hilal Koca Prof. Dr. Hülya TEZCAN
		6	ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ İLE HAZIRLANAN TELEVİZYON REKLAMLARINDA İNSAN DIŞI KARAKTERLERİN KİŞİLEŞTİRİLMESİ VE GÖRSEL RETORİK	Dr. Öğr. Üyesi Ülkü SÖNMEZ

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Dr. Fatma İNCE**	1	İNSAN MAKİNE İLETİŞİMİNDE GÜVENİN KIRILGANLIĞI VE OKURYAZARLIK İHTİYACI: MEDYA PROFESYONELLERİ BAĞLAMINDA BİR TARTIŞMA	Lisans Öğrencisi AHSEN GÜMÜŞ
		2	AN ANALYSIS OF DOMESTIC HOMICIDES REPORTED IN THE MEDIA	Doç. Dr. MEVLÜT CAN KOÇAK Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		3	DERVİŞ ZAİM'S APPROACH TO CINEMA:THE DIRECTOR'S DISCOURSE IN YOUTUBE INTERVIEWS	Doç. Dr. MEVLÜT CAN KOÇAK Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		4	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A JOB RESOURCE OR JOB DEMAND? RETHINKING WORK IN THE AGE OF AI	Prof. Dr. Fatma İNCE
		5	HUMAN MOBILITY IN A CHANGING CLIMATE: SOCIAL DIMENSIONS OF ENVIRONMENTAL CHANGE	Prof. Dr. Fatma İNCE
		6	CONNECTED BUT LONELY: THE PARADOX OF DIGITAL COMMUNICATION IN CONTEMPORARY WORKPLACES	Prof. Dr. Fatma İNCE
		7	BEYOND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: THE SOCIAL DIMENSION OF UNIVERSITY LIFE	Prof. Dr. Fatma İNCE
		8	GENERATIVE AI-ENABLED DECISION SYSTEMS IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: APPLICATION AREAS, LIMITATIONS, AND IMPLEMENTATION CONDITIONS	Dilara DİKEN Dr. Öğr. Üyesi, Bilge MEYDAN

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Fatih GÜLER**	1	SALGIN DÖNEMLERİNDE KORUYUCU SAĞLIK DAVRANIŞLARINI AÇIKLAYICI DAVRANIŞ DEĞİŞİKLİĞİ KURAMLARININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi, Muhammed Ali TATLI
		2	DIGITAL NOMAD VISAS: A NEW PUBLIC POLICY TOOL IN INTER-STATE TALENT COMPETITION/?	Doç. Dr. Sinem ŞAHNAGİL
		3	THE IMPORTANCE OF CRIMINAL LAW FOR POLITICAL SCIENCE AND PUBLIC ADMINISTRATION STUDENTS: AN EXAMINATION OF KPSS LAW QUESTIONS	Doç. Dr. Fatih GÜLER
		4	THE DEGREE OF SIMILARITY BETWEEN POLICE ACADEMY UNDERGRADUATE EDUCATION AND UNDERGRADUATE EDUCATION IN LAW AND PUBLIC ADMINISTRATION: A COMPARATIVE EXAMINATION OF CURRICULA	Doç. Dr. Fatih GÜLER
		5	IN THE BALKANS THE ESTABLISHMENT OF THE BIOLOGICAL CONCEPT OF THE STATE (1918–1945)	Dr. Öğr. Üyesi, ERTUĞRUL ERYÜCEL
		6	AMERİKAN ANAYASAL DÜZENİNDE KUVVETLER AYRILIĞI VE KONGRE'NİN DIŞ POLİTİKA ÜZERİNDEKİ NORMATİF ÜSTÜNLÜĞÜ: S-400, CAATSA VE F-35 ÖRNEĞİ	Öğr. Gör. Dr. Müberra Çakmak Çelik
		7	THE BALKANS IN THE US NATIONAL SECURITY	Dr. Öğretim Üyesi, TURGAY DEMİR
		8	GLOBAL INTERNATIONAL RELATIONS AS PASSIVE REVOLUTION: A MARXIST RE-EVALUATION OF THE CRITIQUE OF EUROCENTRISM	Dr. Öğr. Üyesi, YASİN AVCI Yüksek Lisans Öğrencisi, RAVZA DİLARA KÖŞGER

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assis. Prof. Dr. Jelena Milenkovic**	1	EVALUATING THE ROLE OF DIGITAL HEALTH CONSULTATIONS IN IMPROVING PRIMARY CARE ACCESS IN RURAL BAVARIA	Prof. Dr. Markus HoffmannDr. Julia Wagner
		2	EXAMINING THE ASSOCIATION BETWEEN FINE PARTICULATE MATTER EXPOSURE AND CHRONIC RESPIRATORY CONDITIONS IN URBAN HAMBURG	Assoc. Prof. Dr. Andreas Fischer Dr. Sabine Krüger Lukas Hartmann
		3	DETERMINANTS OF MALARIA INFECTION AND PREVENTIVE PRACTICES AMONG PRIMARY SCHOOL PUPILS IN THE GASH-BARKA REGION OF ERITREA	Dr. Yohannes Ghebremedhin Feven Tekle Assis. Prof. Dr. Daniel Kidane
		4	EFFECTS OF COMMUNITY HEALTH WORKER PROGRAMMES ON ANTENATAL CARE UTILISATION AND NEWBORN SURVIVAL IN RURAL ERITREA	Prof. Dr. Tsegai Woldemariam Dr. Rahel Habte
		5	HYPERTENSION MANAGEMENT AND CARDIOVASCULAR RISK REDUCTION IN SERBIAN FAMILY MEDICINE PRACTICES: A CROSS-SECTIONAL ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr. Dragan Nikolić Dr. Ivana Stanković Prof. Dr. Miloš Đorđević Dr. Tamara Pavlović Aleksandar Radovanović
		6	AVAILABILITY AND UTILISATION OF COMMUNITY MENTAL HEALTH SERVICES IN CENTRAL SERBIA	Prof. Dr. Vesna Todorović
		7	IMMUNIZATION COMPLETENESS AND VACCINE-PREVENTABLE DISEASE BURDEN AMONG PRIMARY SCHOOL CHILDREN IN ALEXANDRIA	Prof. Dr. Hany Abdel-Rahman Dr. Rania Mostafa , Ahmed Samir1Bakr
		8	FACTORS INFLUENCING BREAST AND CERVICAL CANCER SCREENING UPTAKE AMONG EGYPTIAN WOMEN: A HOSPITAL-BASED STUDY	Assis. Prof. Dr. Dina Abdelaziz, Prof. Dr. Khaled Mansour, Dr. Yasmin Farouk, Dr. Omar Shawky

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Mahsa Rahmani**	1	GENOTYPIC DETECTION OF VIRULENCE GENES AND MULTIDRUG RESISTANCE IN ESCHERICHIA COLI RECOVERED FROM BOVINE MASTITIS CASES	Dr. Reza Karimi Zahra Moradi Prof. Dr. Hamid Reza Ahmadi
		2	SEROPREVALENCE AND ASSOCIATED RISK FACTORS OF TOXOPLASMA GONDII INFECTION IN SHEEP AND GOATS IN FARS PROVINCE	Assis. Prof. Dr. Leila Jafari Dr. Ali Asghari
		3	CLINICAL OUTCOMES OF INTERNAL FIXATION TECHNIQUES FOR LONG BONE FRACTURES IN POLICE AND SERVICE DOGS	Prof. Dr. Dejan Lazarević Dr. Milica Janković Assis. Prof. Dr. Vladimir Popović
		4	SEROLOGICAL SURVEILLANCE OF BRUCELLA INFECTION IN CATTLE, SHEEP AND OCCUPATIONALLY EXPOSED FARM WORKERS IN VOJVODINA	Dr. Branislav Kovačević Assoc. Prof. Dr. Snežana Simić
		5	MOLECULAR DETECTION AND RISK FACTORS OF CANINE PARVOVIRUS INFECTION IN DOGS PRESENTED TO VETERINARY CLINICS IN SOUTHEASTERN NIGERIA	Dr. Emeka Nwankwo Assoc. Prof. Dr. Ngozi Okonkwo Ifeanyi Obi Dr. Adaeze Chukwu
		6	PREVALENCE OF BABESIA, ANAPLASMA AND THEILERIA INFECTIONS IN WHITE FULANI CATTLE AND ASSOCIATED PRODUCTION LOSSES	Prof. Dr. Abubakar Sani
		7	PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN COMMERCIAL LAYER FARMS AND FARM WORKERS	Dr. Oluwaseun Adeyemi Dr. Babatunde Ogunley Assis. Prof. Dr. Funmilayo Adebayo Kehinde Akinola Prof. Dr. Olufemi Ajayi
		8		

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Levan Gelashvili**	1	RECENT DEVELOPMENTS IN THE DESIGN AND SYNTHESIS OF HETEROCYCLIC SCAFFOLDS FOR DRUG DISCOVERY	Prof. Dr. Vugar Mammadov, Assoc. Prof. Dr. Leyla Hasanova, Nigar Guliyeva
		2	EVALUATION OF ZEOLITE-BASED CATALYSTS FOR SELECTIVE HYDROCARBON CRACKING IN PETROCHEMICAL REFINING	Dr. Kamran Huseynov, Aysel Abbasova, Assoc. Prof. Dr. Farid Ismayilov, Dr. Gunel Babayeva
		3	FABRICATION OF COVALENT ORGANIC FRAMEWORKS FOR THE ADSORPTIVE REMOVAL OF DYES AND PHARMACEUTICAL POLLUTANTS FROM WASTEWATER	Prof. Dr. Ioana Dumitrescu, Dr. Mihai Constantin
		4	MECHANISTIC AND KINETIC INVESTIGATION OF PALLADIUM-CATALYZED CROSS-COUPLING REACTIONS IN GREEN SOLVENTS	Assoc. Prof. Dr. Andrei Stoica, Elena Vasilescu, Dr. Tamar Beridze
		5	DEVELOPMENT OF CHITOSAN-BASED BIODEGRADABLE SCAFFOLDS FOR TISSUE ENGINEERING APPLICATIONS	Dr. Levan Gelashvili
		6	VOLTAMMETRIC SENSORS BASED ON MODIFIED CARBON ELECTRODES FOR TRACE DETERMINATION OF LEAD AND CADMIUM IN NATURAL WATERS	Assoc. Prof. Dr. Nino Kiknadze, Ketevan Japaridze
		7	HYDROTHERMAL LIQUEFACTION OF AGRICULTURAL RESIDUES INTO BIO-OIL USING NICKEL- AND COBALT-BASED CATALYSTS	Dr. Bereket Haile, Meron Alemayehu, Assis. Prof. Dr. Dawit Bekele

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Dmitry Sokolov**	1	MICROSTRUCTURE AND THERMAL STABILITY OF CERAMIC-REINFORCED ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE COMPONENTS	Prof. Dr. Firuz Saidov, Dr. Zarina Nazarova
		2	SYNTHESIS OF DOPED TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES FOR VISIBLE-LIGHT PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC CONTAMINANTS	Dr. Nilufar Rahimova, Assoc. Prof. Dr. Jamshed Safarov
		3	CRYSTAL PLASTICITY AND MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION OF DEFORMATION MECHANISMS IN ULTRAFINE-GRAINED NICKEL-BASED SUPERALLOYS	Prof. Dr. Vikram Nair, Dr. Ananya Gupta, Assis. Prof. Dr. Arjun Kulkarni, Rohan Desai
		4	FRICTION STIR WELDING OF ALUMINIUM AND COPPER ALLOYS: MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND MECHANICAL PROPERTIES	Assoc. Prof. Dr. Karthik Subramanian, Dr. Priya Menon, Dr. Natalia Volkova
		5	FABRICATION AND CHARGE TRANSPORT PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL HETEROSTRUCTURES FOR WEARABLE SENSORS	Prof. Dr. Dmitry Sokolov
		6	THERMAL SPRAY AND NANOCOMPOSITE COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE OXIDATION AND CORROSION PROTECTION OF BOILER TUBE STEELS	Assis. Prof. Dr. Olga Lebedeva, Dr. Sergey Morozov, Assoc. Prof. Dr. Pavel Belov
		7		

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026
SKOPJE
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Amina Belkacem**	1	ULTRASOUND-ASSISTED ENZYMATIC EXTRACTION OF FUNCTIONAL PROTEINS FROM CHICKPEA AND LENTIL VARIETIES GROWN IN KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Gulnara Abdrakhmanova, Dr. Yerlan Nurmagambetov, Aigerim Seitkali
		2	ACTIVE AND INTELLIGENT PACKAGING FILMS FROM WHEAT AND POTATO STARCH ENRICHED WITH NATURAL COLORIMETRIC INDICATORS	Assoc. Prof. Dr. Bauyrzhan Iskakov, Dr. Saule Zhumabekova
		3	CULTIVATION OF SPIRULINA AND CHLORELLA IN AQUACULTURE WASTEWATER FOR THE PRODUCTION OF PROTEIN-RICH FOOD SUPPLEMENTS IN BANGLADESH	Prof. Dr. Shahidul Islam, Dr. Farzana Akter
		4	EFFECTIVENESS OF LOW-COST COLD STORAGE AND EDIBLE COATINGS IN REDUCING POST-HARVEST LOSSES OF TOMATO AND MANGO IN BANGLADESH	Dr. Kamrul Hasan, Assoc. Prof. Dr. Sharmin Sultana, Dr. Rafiqul Islam, Mithila Chowdhury
		5	EXTRUSION-BASED THREE-DIMENSIONAL FOOD PRINTING OF PROTEIN-ENRICHED PURÉES FOR ELDERLY PATIENTS WITH DYSPHAGIA	Assoc. Prof. Dr. Jonathan Lim, Dr. Michelle Chan
		6	MACHINE LEARNING-ASSISTED PROCESS CONTROL OF PRECISION FERMENTATION FOR THE PRODUCTION OF ALTERNATIVE DAIRY PROTEINS	Dr. Benjamin Teo, Assoc. Prof. Dr. Rachel Ong, Dr. Daniel Koh, Prof. Dr. Vincent Lau
		7	VALORISATION OF OLIVE MILL BY-PRODUCTS AS NATURAL ANTIOXIDANT SOURCES FOR IMPROVING THE OXIDATIVE STABILITY OF ALGERIAN VIRGIN OLIVE OIL	Assoc. Prof. Dr. Amina Belkacem
		8	FORMULATION AND STABILITY MODELLING OF PLANT-BASED OIL-IN-WATER EMULSIONS FOR YOGHURT AND CHEESE ANALOGUES	Dr. Karim Boudjemaa, Assis. Prof. Dr. Lamia Hamdi, Rachid Mebarki

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Shawn Lee**	1	STRETCHABLE PRINTED ELECTRONIC PATCHES FOR CONTINUOUS MONITORING OF PHYSIOLOGICAL SIGNALS IN WEARABLE HEALTHCARE	Dr. Yerzhan Baimukhanov, Assis. Prof. Dr. Madina Kassymova, Arman Tokhtarov
		2	ENERGY HARVESTING AND DUTY-CYCLING STRATEGIES FOR LONG-LIFE WIRELESS SENSOR NODES IN PRECISION IRRIGATION	Assoc. Prof. Dr. Askar Mukhamediyev, Dr. Dana Utepova
		3	APPROXIMATE COMPUTING TECHNIQUES FOR LOW-POWER HARDWARE ACCELERATORS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS ON EDGE DEVICES	Prof. Dr. Mahmudul Karim, Dr. Sabrina Yasmin, Md. Habibur Rahman, Assis. Prof. Dr. Ashikur Rahman
		4	REINFORCEMENT LEARNING-BASED VOLTAGE REGULATION AND LOAD FORECASTING IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH HIGH SOLAR PENETRATION	Assoc. Prof. Dr. Mohammad Ziaul Haque, Dr. Rumana Khatun, Dr. Arif Mahmud
		5	LIQUID CRYSTAL-BASED BEAM-STEERING ANTENNA ARRAYS FOR MILLIMETRE-WAVE FIFTH-GENERATION WIRELESS SYSTEMS	Dr. Shawn Lee
		6	DESIGN OF LOW-LOSS SILICON NITRIDE AND SILICON HYBRID PHOTONIC CIRCUITS FOR HIGH-CAPACITY DATA CENTRE INTERCONNECTS	Assoc. Prof. Dr. Eugene Chia, Dr. Jasmine Yeo, Ryan Ho
		7	FABRICATION AND PERFORMANCE OF GRAPHENE FIELD-EFFECT TRANSISTOR BIOSENSORS FOR RAPID DETECTION OF PATHOGENIC BIOMARKERS	Prof. Dr. Nadia Merabet, Dr. Sofiane Boukhalfa, Assoc

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026
SKOPJE
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Zainab Memon**	1	PERFORMANCE-BASED SEISMIC RETROFITTING OF SOVIET-ERA REINFORCED CONCRETE RESIDENTIAL BUILDINGS IN GYUMRI AND YEREVAN	Assoc. Prof. Dr. Hovhannes Sargsyan, Dr. Anahit Petrosyan
		2	USE OF VOLCANIC TUFF AND BASALT FIBRES IN THE PRODUCTION OF LOW-CARBON CONCRETE COMPOSITES	Prof. Dr. Vahagn Martirosyan, Dr. Narine Avetisyan, Assis. Prof. Dr. Tigran Ghazaryan
		3	INTEGRATING REMOTE SENSING AND HYDRODYNAMIC MODELLING FOR URBAN FLOOD RISK MAPPING AND EARLY WARNING IN RAWALPINDI	Assoc. Prof. Dr. Bilal Ahmed, Dr. Ayesha Siddiqui
		4	SITE ASSESSMENT AND LAYOUT OPTIMISATION OF WIND FARMS ALONG THE SINDH AND BALOCHISTAN COASTAL CORRIDOR	Prof. Dr. Imran Shah, Dr. Sadia Baloch, Assis. Prof. Dr. Kashif Raza, Hamza Iqbal
		5	SILVER NANOPARTICLE-COATED CERAMIC FILTERS AND ACTIVATED CARBON COMPOSITES FOR HOUSEHOLD DRINKING WATER TREATMENT IN HYDERABAD	Dr. Zainab Memon
		6	SEEPAGE CONTROL AND SLOPE STABILITY ANALYSIS OF RECHARGE DAMS IN WADI SYSTEMS UNDER HYPER-ARID CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Hinai, Dr. Mohammed Al-Maskari, Assis. Prof. Dr. Badar Al-Mamari
		7	EVALUATION OF ADAPTIVE SIGNAL CONTROL AND CONNECTED VEHICLE TECHNOLOGIES FOR REDUCING CONGESTION ON URBAN CORRIDORS IN MUSCAT	Dr. Maryam Al-Lawati, Prof. Dr. Saif Al-Busaidi
		8	TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF HYBRID SOLAR PHOTOVOLTAIC AND BATTERY STORAGE MICROGRIDS FOR OFF-GRID VILLAGES IN DHOFAR AND AL WUSTA	Assis. Prof. Dr. Talal Al-Kharusi, Dr. Huda Al-Zadjali, Ahmed Al-Ghafri

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Aditya Venkataraman**	1	SYMMETRY PROPERTIES OF CAYLEY GRAPHS AND THEIR ROLE IN THE DESIGN OF FAULT-TOLERANT INTERCONNECTION NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Gor Avagyan
		2	WELL-POSEDNESS AND NUMERICAL APPROXIMATION OF NONLINEAR PARABOLIC EQUATIONS WITH NONLOCAL BOUNDARY CONDITIONS	Dr. Hasmik Tadevosyan, Assis. Prof. Dr. Davit Mkrtchyan
		3	MULTIPLE TIME SCALE METHODS AND BIFURCATION ANALYSIS OF COUPLED NONLINEAR OSCILLATORS IN PHYSICAL SYSTEMS	Prof. Dr. Karen Simonyan, Dr. Gayane Hovsepyan, Ashot Galstyan
		4	IDEAL CLASS GROUPS AND LATTICE STRUCTURES IN ALGEBRAIC NUMBER FIELDS WITH APPLICATIONS TO POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY	Assoc. Prof. Dr. Shreya Kulkarni, Dr. Aditya Venkataraman
		5	DEEP REINFORCEMENT LEARNING STRATEGIES FOR SOLVING LARGE-SCALE COMBINATORIAL OPTIMISATION PROBLEMS	Prof. Dr. Ramesh Iyer, Dr. Pooja Srinivasan, Assis. Prof. Dr. Harish Bhat
		6	REACTION–DIFFUSION MODELS FOR THE SPATIOTEMPORAL SPREAD OF GROUNDWATER CONTAMINANTS IN HETEROGENEOUS AQUIFERS	Assoc. Prof. Dr. Manoj Tiwari, Dr. Kavya Reddy, Dr. Siddharth Chauhan, Neha Pandey, Dr. Gaurav Mishra
		7	SPECTRAL THEORY AND FIXED POINT METHODS FOR NONLINEAR INTEGRAL OPERATORS IN BANACH SPACES	Assoc. Prof. Dr. Fatma Al-Kindi, Dr. Hilal Al-Siyabi
		8	INTUITIONISTIC FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY IN ENVIRONMENTAL AND HEALTH DATA	Dr. Yousuf Al-Hashmi, Assis. Prof. Dr. Muna Al-Farsi, Dr. Rashid Al-Jabri

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Eylül / Sept 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Emily Carter**	1	SPATIAL ANALYSIS OF INFORMAL SETTLEMENT EXPANSION AND FUTURE URBAN GROWTH SCENARIOS IN HERAT CITY, AFGHANISTAN	Mohammad Nasir Rahimi, Prof. Dr. Hiroshi Takeuchi
		2	THE ROLE OF SENSE OF PLACE AND STREET DESIGN QUALITIES IN PEDESTRIAN ACTIVITY: A COMPARISON OF HISTORIC STREETS IN TABRIZ AND FAMAGUSTA	Assoc. Prof. Dr. Shahram Mahdavinejad, Dr. Negar Saberi
		3	TRANSFORMING POST-INDUSTRIAL RIVERFRONTS: PUBLIC SPACE QUALITIES AND SPATIAL CONFIGURATION IN CONTEMPORARY GERMAN CITIES	Prof. Dr. Katrin Hofmann, Jonas Weber, Dr. Matthias Schulze
		4	RETHINKING STREETS FOR PEOPLE: MICROCLIMATE, GREEN INFRASTRUCTURE AND ACTIVE MOBILITY IN THE SUPERBLOCKS OF VITORIA-GASTEIZ	Dr. Emily Carter
		5	OPERATIONAL PERFORMANCE AND SAFETY EVALUATION OF ROUNDABOUTS CONVERTED TO SIGNALISED INTERSECTIONS IN ENUGU METROPOLIS	Assoc. Prof. Dr. Chukwuemeka Obiora Nnadi, Dr. Ifeoma Agu
		6	FLEXIBILITY AND RIGIDITY IN TERRITORIAL SPATIAL PLANNING: THE IMPLEMENTATION OF URBAN MASTER PLANS IN YUZHONG DISTRICT, CHONGQING	Li Wenjing, Prof. Dr. Chen Guoliang, Dr. Wang Haoran
		7	SHARED LIVING IN DIVIDED CITIES: ARCHITECTURE, COLLECTIVE HOUSING AND EVERYDAY COEXISTENCE IN NICOSIA	Assoc. Prof. Dr. Andreas Constantinou, Dr. Eleni Georgiou
		8	BOARD INTERLOCKS, OWNERSHIP CONCENTRATION AND FIRM PERFORMANCE IN CENTRAL EUROPEAN LISTED COMPANIES	Dr. Tomáš Dvořák, Assoc. Prof. Dr. Lucie Svobodová

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
September 24 – 29, 2026
SKOPJE
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

27 Eylül / Sept 27, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assist. Prof. Merve COSKUN**	1	SINIRDA KARBON DÜZENLEME MEKANİZMASI ÇERÇEVESİNDE KARBON MUHASEBESİNİN KURUMSAL RAPORLAMAYA ENTEGRASYONU	Dr. Öğr. Görevlisi, ABDULLAH YILDIZ
		2	DİJİTALLEŞMENİN MUHASEBE MESLEK MENSUPLARININ ÇALIŞMA DENEYİMLERİNE YANSIMALARI: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi BÜŞRA MİHRİOĞLU Prof. Dr. HATİCE ÖZUTKU
		3	KOBİ'LERDE REKABET STRATEJİLERİNİN FİRMA PERFORMANSINA ETKİSİ	Dr. Erkan DÖNER
		4	VUCA GÖLGESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR LİDERLİK	Dr. Erkan DÖNER
		5	MAPPING CONSUMER MOTIVATIONS FOR SUSTAINABLE FASHION CONSUMPTION: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	Assist. Prof. Merve COSKUN
		6	MÜBADELEDEN HAFIZA TURİZMİNE: KAPADOKYA	Y.L. Öğrencisi, Zehra Büşra KULLUK Dr. Öğr. Üyesi Fatma Betül URHAN
		7	BIRDWATCHING WITHIN THE SCOPE OF ECOTOURISM: THE CASE OF GÖKÇEADA	Nazlı ÖZCAN
		8	GASTRONOMİ TURİZMİ DENEYİMİNİN DAVRANIŞSAL NİYETLERE ETKİSİ: PLANLI DAVRANIŞ TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE KÜTAHYA ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Mustafa Tuna ÖZKUL Dr. Öğr. Üyesi Tuncay ÇANAKÇI Dr. Öğr. Üyesi Erol GEÇGİN
		9	EVALUATION OF SAVINGS HABITS IN THE INFLATIONARY PROCESS: THE CASE OF TÜRKİYE	Yaprak ÇİFTÇİOĞLU AYAR Prof. Dr. Abdulkadir IŞIK

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Eylül / Sept 27, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi, ZEYNEP GÜNGÖR**	1	POMAKLAR ÖRNEĞİNDE KÜLTÜR, MEKÂN, KİMLİK İLİŞKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Nurşah ÇAKMAK Doç. Dr. Okan TÜRKAN
		2	BACHELORETTE PARTIES IN TÜRKİYE: CULTURAL ADAPTATION AND SOCIAL MEANINGS	Doç. Dr., SÜLEYMAN YURTTAŞ Doç. Dr., İLHAN KARACA Dr. Öğr. Üyesi, ZEYNEP GÜNGÖR
		3	DYNAMICS OF PREPARATION, PRESENTATION, AND CRITICISM IN WOMEN'S "ALTIN GÜNLERİ"	Doç. Dr., SÜLEYMAN YURTTAŞ Doç. Dr., İLHAN KARACA Dr. Öğr. Üyesi, ZEYNEP GÜNGÖR
		4	TÜRK DİASPORASINDA DİNİ ÇOĞULLUK VE AVRUPA AİDİYETİ: ALMANYA VE HOLLANDA'NIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Dr., İbrahim YILDIZ

No: 2

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 24 – 29, 2026 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Eylül / Sept 27, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Dr. Yasemin BAKİ**	1	KUMAR OYNAYAN BABANIN ÇOCUĞU OLMAK: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi, ZEYNEP SUDE OCAK Dr. Öğr. Üyesi, HAKAN KARAMAN
		2	THE PSYCHOLOGICAL STRUCTURE OF THE MASCULINE AND FEMININE PRINCIPLES IN THE CONTEXT OF MYTHOLOGICAL DUALITIES	Lec. Ezgi YILDIRIM
		3	MATRESCENCE: ANNELİĞE GEÇİŞTE KİMLİK DÖNÜŞÜMÜ	Öğr. Gör. Dr., Eda ÖZTÜRK BELET
		4	ROMANTIC LOVE MYTHS AS PREDICTORS OF RELATIONSHIP SATISFACTION IN ROMANTIC RELATIONSHIPS	Assoc. Prof. Dr. Timuçin AKTAN
		5	ÇOCUKLUK ÇAĞI ÖRSELENMESİ VE GENÇ YETİŞKİNLİK DÖNEMİNE YANSIMALARI	Gülhan İÇEN Dr. Öğr. Üyesi Rüstem Göktürk HAYLI
		6	AN ANALYSIS OF THE POETRY COLLECTION CHILDREN OF MOUNT QAF ACCORDING TO PARROTT'S CLASSIFICATION OF EMOTIONS	Prof. Dr. Yasemin BAKİ
		7	RESEARCH TRENDS IN CINEMATHERAPY	Prof. Dr. Yasemin BAKİ

No:4

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Contents

MATHEMATİCA ARAÇLARI İLE POLİNOM FONKSİYONLARIN VE KÖK DAVRANIŞLARININ DİNAMİK İNCELENMESİ 1

MATHEMATİCA İLE MATEMATİKSEL ÖRÜNTÜLERİN VE DİZİLERİN ETKİLEŞİMLİ İNCELENMESİ 11

A WEARABLE DUAL SENSOR-GLOVE SYSTEM FOR THE RECOGNITION OF TURKISH SIGN LANGUAGE ... 20

CONTRIBUTION OF METEOROLOGICAL INFORMATION AND WEATHER FORECASTS TO NEXT-DAY NO_2 FORECASTING IN MADRID: A CONTROLLED COMPARISON WITH OPEN DATA 27

REPRESENTATION BEFORE ARCHITECTURE: A CONTROLLED TIME-FREQUENCY AND CNN BENCHMARK FOR FOUR-CLASS RESPIRATORY SOUND CLASSIFICATION ON ICBHI 39

MACHINE LEARNING BASED CLASSIFICATION OF DELIVERY STATUS IN COLD CHAIN LOGISTICS WITH FEATURE IMPORTANCE ANALYSIS 50

DESIGN, IMPLEMENTATION, AND REAL-TIME REMOTE MONITORING OF A PORTABLE WATER QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS 60

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REMOTELY CONTROLLED QUADCOPTER UNMANNED AERIAL VEHICLE PROTOTYPE FOR CARGO TRANSPORTATION SIMULATION 67

SUSTAINABLE HYBRID LAMINATES WITH CARBON AND CHICKEN FEATHER FIBER INTERLAYERS: EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF MECHANICAL PROPERTIES 71

INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE STRESS RELIEF ON THE ELECTROCHEMICAL CORROSION BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED 316L STAINLESS STEEL 73

DÜŞÜK SICAKLIK GERİLİM GİDERME İŞLEMİNİN EKLEMELİ ÜRETİMLE İMAL EDİLEN 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN ELEKTROKİMYASAL KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ 74

DESIGN, FABRICATION, AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF A CYCLONE SEPARATOR 75

NUMERICAL ANALYSIS OF MOISTURE EXTRACTION VIA DIELECTROPHORETIC-DRIVEN CAPTURE ON CHARGED DROPLETS 76

YENİ NESİL METALİK BİYOMALZEMELER: TİTANYUM ESASLI ALAŞIMLARDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER 77

EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN NİKEL ESASLI SÜPERALAŞIM TOZLARI: ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TOZ KAYNAKLI KUSURLAR 91

BIPHENYL-DRIVEN CHANGES IN THE MICROSTRUCTURE AND FLUX PINNING BEHAVIOUR OF BULK MgB_2 104

33 kV ŞEBEKE VOLTAJ TESPİTİ İÇİN KULLANILACAK 10 MVA 33/33 kV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ 113

DÜŞÜK GERİLİMLİ DÖKME REÇİNELİ ÇATI TRAFOLARI TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ 114

KIBRIS ŞARTNAMESİNE UYGUN YÜKSEK GERİLİM–ORTA GERİLİM TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, ÜRETİMİ VE TESTLERİ 115

AFET YÖNETİMİNDE AKUSTİK KİRLİLİĞİ MİNİMİZE EDEN KABLOLU VE AEROSTATİK HİBRİT AYDINLATMA SİSTEMİ 116

GAMMA-RAY SHIELDING POTENTIAL OF HIGH-Z QUSONGITE (WC) MINERAL 134

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KOYUN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TEKNİK VE EKONOMİK ARAŞTIRMALAR: KÜRESEL LİTERATÜRÜN BİBLİYOMETRİK PROFİLİ 143

KEÇİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ: KÜRESEL EĞİLİMLER VE TEMATİK GELİŞİM 159

KURAKLIK STRESİNDE BİTKİ-KÖK MİKROBİYOM İNTERAKSİYONLARI: İKLİME DAYANIKLI TARIM İÇİN RİZOBİYOMDAN YARARLANMA 187

KURAK TARIM EKOSİSTEMLERİNDE BİYOLOJİK TOPRAK KABUĞU MİKROBİYOMUNUN YAPISI VE FONKSİYONEL POTANSİYELİ 197

TİYOFEN VE 1,2,4-TRİAZOL HALKASINA SAHİP SCHİFF BAZI TÜREVLERİNİN *İN VİTRO* ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİ 209

INVESTIGATION OF TRAFFIC-INDUCED NOISE LEVELS IN BURSA 219

EFFECTS OF URBAN NOISE POLLUTION ON QUALITY OF LIFE AND HEALTH 225

TOPOGRAPHY-INTEGRATED FURNITURE DESIGNS 233

THE AESTHETIC AND FUNCTIONAL DIMENSIONS OF SPATIAL FORM DESIGN IN LANDSCAPE ARCHITECTURE 234

KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMINDA FARKLI YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 236

TÜRKİYE'DE YÜKSEK HIZLI TREN SİSTEMİNİN BİBLİYOMETRİK VE SİSTEMATİK ANALİZİ: MEVCUT ETKİLER VE YENİ KORİDOR ÖNCELİKLERİ 242

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇOCUKLARIN GELİŞİM ALANLARINA ETKİLERİ 258

ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE OPTİMAL BESLENME ANNE SÜTÜNÜN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE BİLİŞSEL/NÖROGELİŞİMSEL SÜREÇLER ÜZERİNE BİR DERLEME 264

FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANININ FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ VE PSİKOLOJİK DURUM ÜZERİNE ETKİLERİ 275

FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANI PROGRAMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 282

GLİOBLASTOMA MULTİFORME TANILI HASTALARDA NORMAL BEYİN DOKUSUNUN ALDIĞI RADYASYON DOZLARININ SAĞKALIM, PROGNOZ ÜZERİNE ETKİSİ 290

KÜÇÜK HÜCRELİ DIŞI AKCİĞER KANSERLİ HASTALARDA RADYOTERAPİNİN SERUM VEGF VE GM-CSF DÜZEYLERİNE ETKİSİ VE KLİNİKOPATOLOJİK PARAMETRELERLE İLİŞKİSİ 295

CLINICAL DECISION-MAKING FOR THE RESTORATION OF ENDODONTICALLY TREATED POSTERIOR TEETH: A CROSS-SECTIONAL SURVEY AMONG DENTISTS 301

HASTANE TEMİZLİK SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU 303

HASTANE TEMİZLİK SÜREÇLERİNİN DİJİTALLEŞTİRİLMESİ 310

BELİRSİZLİK ALTINDA GÜVENLİK STOKU BELİRLENMESİNE YÖNELİK BULANIK MANTIK TABANLI BİR MODEL ÖNERİSİ VE UYGULAMASI 320

tiyofen halkalı sülfamerazin schiff baz ligandı ve bazı metal komplekslerinin sentezi ve karakterizasyonları 333

IMPROVING HEART DISEASE PREDICTION PERFORMANCE USING PSO-BASED FEATURE SELECTION 334

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

LIVER SEGMENTATION IN COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGES: A COMMON-PROTOCOL COMPARISON OF SIX U-NET VARIANTS 345

COMPARATIVE TRANSCRIPTOMIC ANALYSIS OF CARBOHYDRATE METABOLISM FOLLOWING *TOR1* DELETION AND RAPAMYCIN TREATMENT IN YEAST 358

TOR1 DELESYONU VE RAPAMİSİN UYGULAMASI SONRASI MAYADA KARBONHİDRAT METABOLİZMASININ KARŞILAŞTIRMALI TRANSKRİPTOMİK ANALİZİ 360

SUSTAINABLE TOXIC MALACHITE GREEN DYE REMOVAL VIA METAL OXIDE SUPPORTED BIOWASTES. 362

FROM WASTE TO VALUE-ADDED BIO-ADSORBENT: SUSTAINABLE REMOVAL OF ORANGE II USING CHITOSAN-MODIFIED TOMATO STEM 368

DERİ ÜRETİMİNDE KİMYASAL MARUZİYET RİSKLERİ: PİKLAJ VE TABAKLAMA AŞAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME 377

DERİ ÜRÜNLERİNDE ONARIM VE KULLANIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI: DÖNGÜSEL EKONOMİ AÇISINDAN BİR İNCELEME 389

İZMİR İLİ KAPSAMINDA ŞEV STABİLİTESİNE ETKİ EDEN İKLİMSEL FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ 400

EVALUATING THE ROLE OF DIGITAL HEALTH CONSULTATIONS IN IMPROVING PRIMARY CARE ACCESS IN RURAL BAVARIA 407

EXAMINING THE ASSOCIATION BETWEEN FINE PARTICULATE MATTER EXPOSURE AND CHRONIC RESPIRATORY CONDITIONS IN URBAN HAMBURG 408

DETERMINANTS OF MALARIA INFECTION AND PREVENTIVE PRACTICES AMONG PRIMARY SCHOOL PUPILS IN THE GASH-BARKA REGION OF ERITREA 409

EFFECTS OF COMMUNITY HEALTH WORKER PROGRAMMES ON ANTENATAL CARE UTILISATION AND NEWBORN SURVIVAL IN RURAL ERITREA 410

HYPERTENSION MANAGEMENT AND CARDIOVASCULAR RISK REDUCTION IN SERBIAN FAMILY MEDICINE PRACTICES: A CROSS-SECTIONAL ANALYSIS 411

AVAILABILITY AND UTILISATION OF COMMUNITY MENTAL HEALTH SERVICES IN CENTRAL SERBIA 412

IMMUNIZATION COMPLETENESS AND VACCINE-PREVENTABLE DISEASE BURDEN AMONG PRIMARY SCHOOL CHILDREN IN ALEXANDRIA 413

FACTORS INFLUENCING BREAST AND CERVICAL CANCER SCREENING UPTAKE AMONG EGYPTIAN WOMEN: A HOSPITAL-BASED STUDY 414

GENOTYPIC DETECTION OF VIRULENCE GENES AND MULTIDRUG RESISTANCE IN ESCHERICHIA COLI RECOVERED FROM BOVINE MASTITIS CASES 415

SEROPREVALENCE AND ASSOCIATED RISK FACTORS OF TOXOPLASMA GONDII INFECTION IN SHEEP AND GOATS IN FARS PROVINCE 416

CLINICAL OUTCOMES OF INTERNAL FIXATION TECHNIQUES FOR LONG BONE FRACTURES IN POLICE AND SERVICE DOGS 417

SEROLOGICAL SURVEILLANCE OF BRUCELLA INFECTION IN CATTLE, SHEEP AND OCCUPATIONALLY EXPOSED FARM WORKERS IN VOJVODINA 418

MOLECULAR DETECTION AND RISK FACTORS OF CANINE PARVOVIRUS INFECTION IN DOGS PRESENTED TO VETERINARY CLINICS IN SOUTHEASTERN NIGERIA 419

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

PREVALENCE OF BABESIA, ANAPLASMA AND THEILERIA INFECTIONS IN WHITE FULANI CATTLE AND ASSOCIATED PRODUCTION LOSSES 420

PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN COMMERCIAL LAYER FARMS AND FARM WORKERS 421

RECENT DEVELOPMENTS IN THE DESIGN AND SYNTHESIS OF HETEROCYCLIC SCAFFOLDS FOR DRUG DISCOVERY 422

EVALUATION OF ZEOLITE-BASED CATALYSTS FOR SELECTIVE HYDROCARBON CRACKING IN PETROCHEMICAL REFINING 423

FABRICATION OF COVALENT ORGANIC FRAMEWORKS FOR THE ADSORPTIVE REMOVAL OF DYES AND PHARMACEUTICAL POLLUTANTS FROM WASTEWATER 424

MECHANISTIC AND KINETIC INVESTIGATION OF PALLADIUM-CATALYZED CROSS-COUPLING REACTIONS IN GREEN SOLVENTS 425

VOLTAMMETRIC SENSORS BASED ON MODIFIED CARBON ELECTRODES FOR TRACE DETERMINATION OF LEAD AND CADMIUM IN NATURAL WATERS 427

HYDROTHERMAL LIQUEFACTION OF AGRICULTURAL RESIDUES INTO BIO-OIL USING NICKEL- AND COBALT-BASED CATALYSTS 428

MICROSTRUCTURE AND THERMAL STABILITY OF CERAMIC-REINFORCED ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE COMPONENTS 429

SYNTHESIS OF DOPED TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES FOR VISIBLE-LIGHT PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC CONTAMINANTS 430

CRYSTAL PLASTICITY AND MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION OF DEFORMATION MECHANISMS IN ULTRAFINE-GRAINED NICKEL-BASED SUPERALLOYS 431

FRICTION STIR WELDING OF ALUMINIUM AND COPPER ALLOYS: MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND MECHANICAL PROPERTIES 432

FABRICATION AND CHARGE TRANSPORT PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL HETEROSTRUCTURES FOR WEARABLE SENSORS 433

ACTIVE AND INTELLIGENT PACKAGING FILMS FROM WHEAT AND POTATO STARCH ENRICHED WITH NATURAL COLORIMETRIC INDICATORS 436

CULTIVATION OF SPIRULINA AND CHLORELLA IN AQUACULTURE WASTEWATER FOR THE PRODUCTION OF PROTEIN-RICH FOOD SUPPLEMENTS IN BANGLADESH 437

EFFECTIVENESS OF LOW-COST COLD STORAGE AND EDIBLE COATINGS IN REDUCING POST-HARVEST LOSSES OF TOMATO AND MANGO IN BANGLADESH 438

EXTRUSION-BASED THREE-DIMENSIONAL FOOD PRINTING OF PROTEIN-ENRICHED PURÉES FOR ELDERLY PATIENTS WITH DYSPHAGIA 439

MACHINE LEARNING-ASSISTED PROCESS CONTROL OF PRECISION FERMENTATION FOR THE PRODUCTION OF ALTERNATIVE DAIRY PROTEINS 440

VALORISATION OF OLIVE MILL BY-PRODUCTS AS NATURAL ANTIOXIDANT SOURCES FOR IMPROVING THE OXIDATIVE STABILITY OF ALGERIAN VIRGIN OLIVE OIL 441

FORMULATION AND STABILITY MODELLING OF PLANT-BASED OIL-IN-WATER EMULSIONS FOR YOGHURT AND CHEESE ANALOGUES 442

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REINFORCEMENT LEARNING-BASED VOLTAGE REGULATION AND LOAD FORECASTING IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH HIGH SOLAR PENETRATION 446

LIQUID CRYSTAL-BASED BEAM-STEERING ANTENNA ARRAYS FOR MILLIMETRE-WAVE FIFTH-GENERATION WIRELESS SYSTEMS 447

DESIGN OF LOW-LOSS SILICON NITRIDE AND SILICON HYBRID PHOTONIC CIRCUITS FOR HIGH-CAPACITY DATA CENTRE INTERCONNECTS 448

FABRICATION AND PERFORMANCE OF GRAPHENE FIELD-EFFECT TRANSISTOR BIOSENSORS FOR RAPID DETECTION OF PATHOGENIC BIOMARKERS 449

PERFORMANCE-BASED SEISMIC RETROFITTING OF SOVIET-ERA REINFORCED CONCRETE RESIDENTIAL BUILDINGS IN GYUMRI AND YEREVAN 450

USE OF VOLCANIC TUFF AND BASALT FIBRES IN THE PRODUCTION OF LOW-CARBON CONCRETE COMPOSITES 451

INTEGRATING REMOTE SENSING AND HYDRODYNAMIC MODELLING FOR URBAN FLOOD RISK MAPPING AND EARLY WARNING IN RAWALPINDI 452

SITE ASSESSMENT AND LAYOUT OPTIMISATION OF WIND FARMS ALONG THE SINDH AND BALOCHISTAN COASTAL CORRIDOR 453

SILVER NANOPARTICLE-COATED CERAMIC FILTERS AND ACTIVATED CARBON COMPOSITES FOR HOUSEHOLD DRINKING WATER TREATMENT IN HYDERABAD 454

SEEPAGE CONTROL AND SLOPE STABILITY ANALYSIS OF RECHARGE DAMS IN WADI SYSTEMS UNDER HYPER-ARID CONDITIONS 455

EVALUATION OF ADAPTIVE SIGNAL CONTROL AND CONNECTED VEHICLE TECHNOLOGIES FOR REDUCING CONGESTION ON URBAN CORRIDORS IN MUSCAT 456

TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF HYBRID SOLAR PHOTOVOLTAIC AND BATTERY STORAGE MICROGRIDS FOR OFF-GRID VILLAGES IN DHOFAR AND AL WUSTA 457

SYMMETRY PROPERTIES OF CAYLEY GRAPHS AND THEIR ROLE IN THE DESIGN OF FAULT-TOLERANT INTERCONNECTION NETWORKS 458

WELL-POSEDNESS AND NUMERICAL APPROXIMATION OF NONLINEAR PARABOLIC EQUATIONS WITH NONLOCAL BOUNDARY CONDITIONS 459

MULTIPLE TIME SCALE METHODS AND BIFURCATION ANALYSIS OF COUPLED NONLINEAR OSCILLATORS IN PHYSICAL SYSTEMS 460

IDEAL CLASS GROUPS AND LATTICE STRUCTURES IN ALGEBRAIC NUMBER FIELDS WITH APPLICATIONS TO POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY 461

DEEP REINFORCEMENT LEARNING STRATEGIES FOR SOLVING LARGE-SCALE COMBINATORIAL OPTIMISATION PROBLEMS 462

REACTION–DIFFUSION MODELS FOR THE SPATIOTEMPORAL SPREAD OF GROUNDWATER CONTAMINANTS IN HETEROGENEOUS AQUIFERS 463

SPECTRAL THEORY AND FIXED POINT METHODS FOR NONLINEAR INTEGRAL OPERATORS IN BANACH SPACES 464

INTUITIONISTIC FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY IN ENVIRONMENTAL AND HEALTH DATA 465

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SPATIAL ANALYSIS OF INFORMAL SETTLEMENT EXPANSION AND FUTURE URBAN GROWTH SCENARIOS IN HERAT CITY, AFGHANISTAN 466

THE ROLE OF SENSE OF PLACE AND STREET DESIGN QUALITIES IN PEDESTRIAN ACTIVITY: A COMPARISON OF HISTORIC STREETS IN TABRIZ AND FAMAGUSTA 467

TRANSFORMING POST-INDUSTRIAL RIVERFRONTS: PUBLIC SPACE QUALITIES AND SPATIAL CONFIGURATION IN CONTEMPORARY GERMAN CITIES 468

RETHINKING STREETS FOR PEOPLE: MICROCLIMATE, GREEN INFRASTRUCTURE AND ACTIVE MOBILITY IN THE SUPERBLOCKS OF VITORIA-GASTEIZ 469

OPERATIONAL PERFORMANCE AND SAFETY EVALUATION OF ROUNDABOUTS CONVERTED TO SIGNALISED INTERSECTIONS IN ENUGU METROPOLIS 470

FLEXIBILITY AND RIGIDITY IN TERRITORIAL SPATIAL PLANNING: THE IMPLEMENTATION OF URBAN MASTER PLANS IN YUZHONG DISTRICT, CHONGQING 471

SHARED LIVING IN DIVIDED CITIES: ARCHITECTURE, COLLECTIVE HOUSING AND EVERYDAY COEXISTENCE IN NICOSIA 472

BOARD INTERLOCKS, OWNERSHIP CONCENTRATION AND FIRM PERFORMANCE IN CENTRAL EUROPEAN LISTED COMPANIES 473

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MATHEMATİCA ARAÇLARI İLE POLİNOM FONKSİYONLARIN VE KÖK DAVRANIŞLARININ DİNAMİK İNCELENMESİ

DYNAMIC INVESTİGATİON OF POLYNOMIAL FUNCTIONS AND ROOT BEHAVIORS WITH MATHEMATICA TOOLS

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU
Ardahan Üniversitesi, aliturkoglu@ardahan.edu.tr-ORCID: 0000-0001-5958-5056

Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK
Ardahan Üniversitesi, zaferozturk@ardahan.edu.tr-ORCID: 0000-0001-5662-4670

ÖZET

Bu çalışmada, Wolfram Mathematica yazılımının sunduğu dinamik ve etkileşimli araçlar aracılığıyla polinom fonksiyonların kök davranışları incelenmiştir. Manipulate, Plot, NSolve, Solve ve Factor gibi Mathematica komutları kullanılarak, polinomların katsayılarındaki değişimlerin kök sayısı, kök konumları ve çarpanlarına ayrılma biçimi üzerindeki etkileri görsel olarak gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında birinci dereceden beşinci dereceye kadar polinom fonksiyonlar ele alınmış; gerçek kök, sanal kök ve çok katlı kök durumları dinamik modellerle karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur. Elde edilen bulgular, Mathematica tabanlı dinamik görselleştirmenin polinom teorisinin kavramsal anlaşılmasını önemli ölçüde güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın matematik eğitimi ve uygulamalı cebir araştırmalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polinom fonksiyonlar, kök davranışı, Mathematica, dinamik görselleştirme, bilgisayar cebiri sistemi

ABSTRACT

In this study, the root behaviors of polynomial functions are examined through the dynamic and interactive tools provided by Wolfram Mathematica software. Using Mathematica commands such as Manipulate, Plot, NSolve, Solve, and Factor, the effects of changes in polynomial coefficients on the number of roots, root locations, and factorization forms are visually observed. Within the scope of the study, polynomial functions from the first to the fifth degree are addressed; real roots, complex roots, and multiple root cases are presented comparatively through dynamic models. The findings reveal that Mathematica-based dynamic visualization significantly enhances the conceptual understanding of polynomial theory. The study aims to contribute to mathematics education and applied algebra research.

Keywords: Polynomial functions, root behavior, Mathematica, dynamic visualization, computer algebra system

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. GİRİŞ

Polinom fonksiyonlar, matematiğin en temel yapı taşlarından birini oluşturmakta; cebir, analiz, sayısal yöntemler ve mühendislik uygulamalarında merkezi bir rol üstlenmektedir. Bir polinomun kökleri, yani fonksiyonun sıfır olduğu noktalara karşılık gelen değerler hem teorik hem de uygulamalı matematik açısından büyük önem taşımaktadır. Kök bulma problemi, yüzyıllar boyunca matematiğin en dikkat çekici konularından biri olmuş; ikinci dereceden denklemler için geliştirilen kapalı form çözümlerinden başlayarak, dördüncü dereceye kadar olan polinomlar için Cardano ve Ferrari formülleri ile sonuçlanmıştır. Beşinci ve daha yüksek dereceli polinomlar için ise Abel-Ruffini teoremi, genel bir cebirsel çözüm bulunmadığını kanıtlamış; bu durum sayısal ve görsel yöntemlere olan ihtiyacı daha da artırmıştır.

Polinom fonksiyonların kök davranışlarının anlaşılması, geleneksel öğretim yöntemleriyle çoğunlukla soyut ve statik bir şekilde sunulmaktadır. Ders kitaplarında yer alan grafikler ve cebirsel ifadeler, öğrencilerin katsayı değişimlerinin kökleri nasıl etkilediğini sezgisel olarak kavramasını güçleştirmektedir. Bu bağlamda, dinamik matematiksel araçların kullanımı, soyut kavramların görsel ve etkileşimli bir şekilde temsil edilmesine olanak tanıyarak öğrenme sürecini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Alves (2013), GeoGebra ve Maple kullanarak polinom köklerinin karmaşık düzlemde görselleştirilmesinin, Cebirin Temel Teoremi'nin kavranmasını önemli ölçüde kolaylaştırdığını göstermiştir.

Wolfram Mathematica, bilgisayar cebiri sistemleri (BCS) arasında köklerin sembolik ve sayısal hesaplanması, grafik çizimi ve dinamik simülasyon konularında en güçlü platformlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Petković ve ark. (2019), Mathematica ortamında gerçekleştirdikleri çalışmada, kök bulma yöntemlerinin dinamik incelenmesi için çekim havuzlarının (basins of attraction) etkili bir metodoloji sunduğunu ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, yinelemeli süreçlerin görsel temsili aracılığıyla yakınsama davranışlarına ilişkin derinlemesine bir kavrayış sağlamaktadır. Söz konusu metodoloji, Mathematica'nın dinamik görselleştirme kapasitesini somut biçimde sergilemektedir.

Bilgisayar cebiri sistemlerinin matematik eğitimine entegrasyonu, 1980'lerin sonundan itibaren köklü bir dönüşüm sürecine girmiştir. Karjanto ve Husain (2021), CAS tabanlı öğretim ortamlarının öğrencilerin sembolik manipülasyon becerilerini geliştirirken kavramsal düşünmeyi ön plana çıkardığını vurgulamıştır. Benzer biçimde, Buteau ve ark. (2010) üniversite düzeyinde matematik derslerinde CAS kullanımının öğretim pratiklerini ve değerlendirme süreçlerini köklü biçimde dönüştürdüğünü belgelemiştir. Mathematica'nın Manipulate fonksiyonu, parametrelerin anlık olarak değiştirilebildiği etkileşimli ortamlar oluşturarak bu dönüşümü en üst düzeyde desteklemektedir.

Dinamik görselleştirmenin matematik eğitimindeki etkinliğine ilişkin kapsamlı meta-analizler, teknoloji destekli öğretimin öğrenci başarısı üzerindeki olumlu etkisini güçlü biçimde ortaya koymaktadır. Jia ve ark. (2023), GeoGebra gibi dinamik matematiksel yazılımların kullanımını inceleyen 20 yıllık araştırmaları kapsayan meta-analizlerinde, dinamik görselleştirmenin öğrencilerin matematik başarısı üzerinde orta-büyük düzeyde (Hedges's $g = 0.653$) olumlu bir etki yarattığını saptamıştır. Bu bulgu, dinamik araçların matematik öğretimindeki pedagojik

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

değerini açıkça teyit etmektedir. Benzer dinamik yaklaşımların Mathematica ortamına aktarılması, polinom teorisinin öğretiminde yeni ufuklar açmaktadır.

Polinom köklerinin görselleştirilmesinde kullanılan yöntemler arasında çekme havuzları, kontur grafikleri, üç boyutlu yüzey temsilleri ve etkileşimli parametre kaydıraçları öne çıkmaktadır. Barry ve ark. (2020), karmaşık polinomların kök bulma sürecine yönelik görselleştirilebilir ve yapıcı bir ispat çerçevesi sunarak, kök lokusu analizi için etkileşimli R Shiny uygulamalarını geliştirmiştir. Bu tür görsel temsiller, polinomların yalnızca kökleri değil, aynı zamanda kök davranışının parametrelere bağlı dinamik evrimini de ortaya koymaktadır. Nguyen ve ark. (2025), bu görselleştirme geleneğini kök izleri, çatallanma noktaları ve sanatsal görselleştirme gibi unsurlarla zenginleştiren yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

Wolfram Mathematica'nın kök bulma yetenekleri, Solve, NSolve, Roots, FindRoot ve RootIntervals gibi farklı fonksiyonlarla son derece kapsamlı bir spektrum sunmaktadır. Wolfram Dil Dokümantasyonu'na göre bu fonksiyonlar; sembolik, sayısal ve karma hesaplama modlarını destekleyerek binlerce terimli yoğun ve seyrek polinomları başarıyla işleyebilmekte, sonuçları sayısal yaklaşımlar, tam kökler ya da özgün sembolik Root nesneleri biçiminde ifade edebilmektedir. Mathematica'nın her yeni sürümünde genişletilen polinom işlem yetenekleri, bu platformu araştırmacılar ve eğitimciler için vazgeçilmez kılmaktadır.

Bu çalışma, Mathematica'nın dinamik görselleştirme araçlarını sistematik biçimde kullanarak polinom fonksiyonların kök davranışlarını kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın özgün katkısı; çeşitli derecelerdeki polinomlar için Manipulate tabanlı etkileşimli modeller geliştirip bu modeller aracılığıyla katsayı-kök ilişkisini, diskriminant analizini ve karmaşık kök geçişlerini dinamik olarak gözlemlemektedir. İzleyen bölümlerde çalışmanın amacı ve önemi, kullanılan matematiksel model ve yöntem, uygulama aşamaları ile tartışma ve sonuç sunulmaktadır.

2. AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Wolfram Mathematica yazılımının sunduğu dinamik ve etkileşimli araçlar yardımıyla polinom fonksiyonların kök davranışlarını görsel, analitik ve pedagojik açılardan kapsamlı biçimde incelemektir. Bu doğrultuda aşağıdaki alt amaçlar belirlenmiştir:

(1) Birinci dereceden beşinci dereceye kadar polinom fonksiyonların gerçek ve karmaşık köklerini Mathematica ortamında sembolik ve sayısal olarak hesaplamak; (2) Katsayı değişimlerinin kök sayısı, kök konumları ve çarpanlara ayrılma biçimi üzerindeki etkilerini Manipulate fonksiyonu ile etkileşimli olarak gözlemlemek; (3) Diskriminant analizi yoluyla bir polinomun gerçek, sanal ve çok katlı kök durumları arasındaki geçişleri dinamik modeller üzerinde görselleştirmek; (4) Elde edilen bulguları matematik eğitimi perspektifinden değerlendirerek Mathematica tabanlı öğretim materyallerinin geliştirilmesine katkı sağlamak.

3. ÖNEM

Polinom fonksiyonların ve kök davranışlarının dinamik incelenmesi hem teorik matematik araştırmaları hem de matematik eğitimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Teorik açıdan

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

bakıldığında, kök dağılımlarının parametre uzayındaki evriminin görsel olarak takip edilmesi; çatallanma teorisi, kararlılık analizi ve cebirsel geometri gibi ileri düzey matematik alanları için temel bir anlayış zemini oluşturmaktadır. Nitekim Nguyen ve ark. (2025), kök konumlarının parametre değişimine bağlı olarak nasıl izler çizdiğinin görselleştirilmesinin, doğrusal olmayan sistemlerdeki kararlılık geçişlerini anlamak açısından büyük değer taşıdığını vurgulamaktadır.

Eğitim açısından ise dinamik görselleştirme araçlarının kullanımı, soyut cebirsel kavramları somutlaştırmada kanıtlanmış bir pedagojik etkinliğe sahiptir. Ziatdinov ve Valles (2022), GeoGebra üzerinden STEM öğretiminde modelleme, görselleştirme ve programlamanın sentezinin öğrencilerin kavramsal anlamasını önemli ölçüde derinleştirdiğini ortaya koymuştur. Mathematica'nın bu çalışmada benimsenen Manipulate tabanlı etkileşimli yaklaşımı, aynı pedagojik ilkeyi polinom teorisi özelinde hayata geçirmektedir. Rozumenko ve ark. (2024) ise görsel modellerin matematik araştırma becerilerinin geliştirilmesindeki rolüne dikkat çekerek etkileşimli görselleştirmenin geleneksel statik sunuma kıyasla üstünlüğünü belgelemiştir.

Bunlara ek olarak, bu çalışma Mathematica platformunun matematik araştırmalarında bir model geliştirme ve doğrulama aracı olarak nasıl etkin biçimde kullanılabileceğini somut örneklerle ortaya koymaktadır. Wolfram Araştırma'nın sürekli güncellenen dokümantasyonu ve Wolfram Demonstrations Project gibi kaynaklar, bu tür çalışmaların tekrar edilebilirliğini ve genişletilebilirliğini güvence altına almaktadır.

4. MATEMATİKSEL MODEL VE YÖNTEM

4.1.Polinom Fonksiyon Modeli

Bu çalışmada ele alınan genel polinom modeli şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mathbf{P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0, \quad a_n \neq 0}$$

Burada $n \in \mathbb{N}$ polinomun derecesini, $a_i \in \mathbb{R}$ $(i = 0, 1, \ldots, n)$ katsayıları temsil etmektedir. Cebirin Temel Teoremi gereği, n. dereceden bir polinom karmaşık sayılar kümesinde, kat sayısıyla birlikte, tam olarak n adet köke sahiptir. Gerçek katsayılı polinomlar için karmaşık kökler eşlenik çiftler halinde ortaya çıkmaktadır.

4.2.Mathematica Araçları ve Yöntem

Çalışmada aşağıdaki Mathematica fonksiyonları ve yöntemleri sistematik biçimde kullanılmıştır:

Solve[p(x) == 0, x]: Polinomun sembolik köklerini tam değerler üzerinden hesaplar. NSolve[p(x) == 0, x]: Yüksek hassasiyetli sayısal kök hesabı yapar; yüksek dereceli polinomlar için özellikle kullanışlıdır. Factor[p(x)]: Polinomu rasyonel katsayılı çarpanlarına ayırır; kök yapısını görünür kılar. Plot[p(x), {x, a, b}]: Polinomun belirlenen aralıktaki grafiğini çizer. Manipulate[..., {katsayı, min, max}]: Katsayıları kaydıraç aracılığıyla değiştirerek köklerin anlık değişimini gözlemlemeye olanak tanıyan etkileşimli dinamik bir ortam sağlar. Discriminant[p(x), x]: Polinomun diskriminantını hesaplayarak kök türünü (gerçek, sanal, çok katlı) belirler.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4.3. Uygulanan Matematiksel Yöntemler

Kök analizi kapsamında dört temel yöntem uygulanmıştır: (1) Sembolik çözüm: Solve komutu ile cebirsel kökler tam biçimde elde edilmiştir. (2) Sayısal yaklaşım: NSolve ve FindRoot komutları aracılığıyla yüksek dereceli polinomların kökleri hesaplanmıştır. (3) Grafik analizi: Plot ve ContourPlot fonksiyonları ile kök davranışı görselleştirilmiştir. (4) Dinamik modelleme: Manipulate ortamı ile parametreler gerçek zamanlı olarak değiştirilerek kök geçişleri izlenmiştir.

4.4. Geliştirilen Mathematica Kodu

Bu çalışmanın merkezinde, üçüncü dereceden (kübik) bir polinom fonksiyon için geliştirilen kapsamlı bir Mathematica kodu yer almaktadır. Kod; karmaşık düzlemdeki |f(z)| yüzeyinin üç boyutlu görselleştirilmesini ve köklerin bu yüzey üzerinde kırmızı noktalar olarak anlık takibini tek bir etkileşimli panel içinde sunmaktadır. Aşağıda kodun tamamı ve bileşen bazında açıklaması verilmektedir.

Kod Listesi 1: Kübik Polinomun Karmaşık Yüzey ve Dinamik Kök Gösterimi

```
Manipulate[
  Show[
    (* 1. Karmaşık Yüzey Çizimi *)
    Plot3D[Abs[(a*z^3 + b*z^2 + c*z + d) /. z -> (x + I*y)],
      {x, -3, 3}, {y, -3, 3},
      PlotRange -> {0, 15},
      Mesh -> 15,
      PlotStyle -> Opacity[0.75, Blue],
      ColorFunction -> "TemperatureMap",
      AxesLabel -> {"Re(z)", "Im(z)", "|f(z)|"},
      PlotLabel -> Style["|f(z)| Yüzeyi ve Köklerin Hareketi", 12,
Bold]],
    (* 2. Köklerin Dinamik Noktalar Olarak Çizilmesi *)
    Graphics3D[{Red, PointSize[0.03],
      Point[Table[{Re[r], Im[r], 0},
        {r, z /. NSolve[a*z^3 + b*z^2 + c*z + d == 0, z]}]]}]],
  (* Dinamik Kontroller *)
  {{a, 1,  "a (z^3)"}, -2, 2, 0.1, Appearance -> "Labeled"},
  {{b, 0,  "b (z^2)"}, -3, 3, 0.1, Appearance -> "Labeled"},
  {{c, -2, "c (z)"},   -5, 5, 0.1, Appearance -> "Labeled"},
  {{d, 0,  "d (sabit)"}, -5, 5, 0.1, Appearance -> "Labeled"}]
```

Kodun temel bileşenleri şu şekilde açıklanabilir:

(i) Karmaşık Düzlem Temsili: $z \rightarrow x + iy$ ikamesi sayesinde kübik polinom $f(z) = az^3 + bz^2 + cz + d$ karmaşık değişken uzayına taşınmakta; |f(z)| modülü ise gerçek (x) ve sanal (y) eksenler

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

üzerinde bir yüzey olarak çizilmektedir. Yüzeyin sıfıra indiği noktalar, tam olarak polinomun köklerine karşılık gelmektedir.

(ii) Plot3D Parametreleri: PlotRange -> {0, 15} ifadesi görüntü penceresini sınırlandırarak kök bölgelerini ön plana çıkarmakta; Mesh -> 15 seçeneği yüzey dokusunu zenginleştirmektedir. ColorFunction -> "TemperatureMap" renk eşlemesi sayesinde düşük |f(z)| değerleri koyu (köklere yakın) ile yüksek değerler sıcak renklerle ifade edilmekte; bu durum köklerin konumunu sezgisel olarak görünür kılmaktadır.

(iii) NSolve Entegrasyonu: Graphics3D bloğunda NSolve[a z^3 + b z^2 + c z + d == 0, z] komutu kübik polinomun tüm karmaşık köklerini sayısal olarak hesaplamaktadır. Her kök r için (Re[r], Im[r], 0) koordinat üçlüsü oluşturularak kökler, karmaşık düzlemi temsil eden z = 0 yüksekliğindeki kırmızı noktalar biçiminde çizilmektedir.

(iv) Manipulate Kontrolleri: Dört kaydıraç (a, b, c, d), kübik polinomun katsayılarını gerçek zamanlı olarak kontrol etmektedir. Katsayı değiştikçe hem |f(z)| yüzeyi hem de köklerin konumları eş zamanlı olarak güncellenmekte; bu sayede katsayı-kök ilişkisi dinamik ve sezgisel bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

4.5. UYGULAMA AŞAMALARI

4.5.1. Aşama 1: Birinci ve İkinci Derece Polinomlar

İlk aşamada, doğrusal ($P(x) = ax + b$) ve ikinci derece ($P(x) = ax^2 + bx + c$) polinomlar incelenmiştir. İkinci derece polinom için diskriminant $\Delta = b^2 - 4ac$ hesaplanmış; $\Delta > 0$, $\Delta = 0$ ve $\Delta < 0$ durumlarına karşılık gelen iki farklı gerçek kök, bir çift kök ve iki karmaşık kök senaryoları Manipulate ortamında dinamik olarak görselleştirilmiştir. Katsayı kaydıraçları aracılığıyla parabol biçiminin ve kök konumlarının anlık değişimi gözlemlenmiştir.

4.5.2. Aşama 2: Üçüncü ve Dördüncü Derece Polinomlar

İkinci aşamada kübik ($P(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$) ve kuartik ($P(x) = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$) polinomlar ele alınmıştır. Bu polinomlar için Cardano ve Ferrari formülleri Mathematica'nın Solve komutu aracılığıyla doğrulanmış, ardından NSolve ile sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kübik polinom için özellikle üç gerçek kökten iki karmaşık köke geçiş süreci dinamik model üzerinde adım adım izlenmiştir. Petković ve ark. (2019) tarafından önerilen çekim havuzları metodolojisi bu aşamada referans alınmıştır.

4.5.3. Aşama 3: Beşinci Derece ve Yüksek Dereceli Polinomlar

Üçüncü aşamada, genel cebirsel çözümü bulunmayan beşinci ve daha yüksek dereceli polinomlar NSolve ve sayısal yöntemlerle analiz edilmiştir. Abel-Ruffini teoreminin pratik sonuçları bu aşamada somutlaştırılmış; Mathematica'nın Root nesnesi aracılığıyla sembolik temsil olanakları da gösterilmiştir. Wolfram Dil Dokümantasyonu'nda belirtilen 'EndomorphismMatrix', 'Homotopy' ve 'Monodromy' gibi farklı NSolve yöntemleri karşılaştırmalı olarak test edilmiştir.

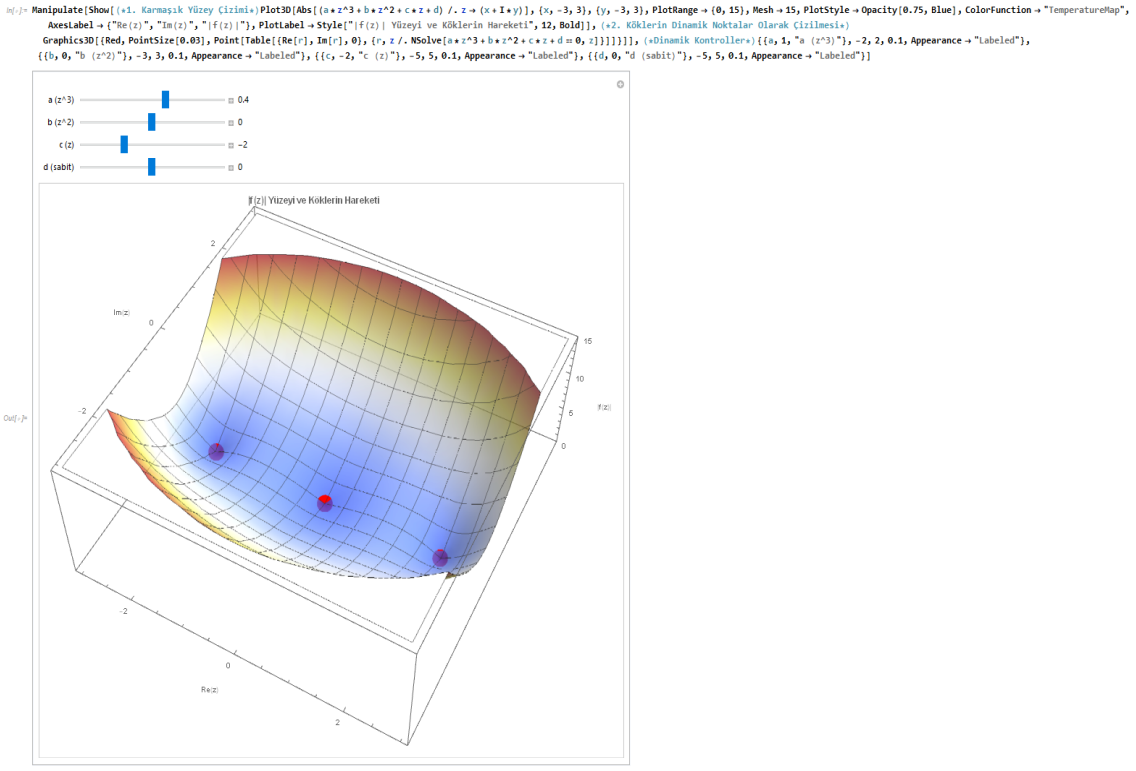
4.5.4. Aşama 4: Dinamik Etkileşimli Model — Kod Uygulaması

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Son aşamada, kübik polinom $f(z) = az^3 + bz^2 + cz + d$ için geliştirilen Manipulate tabanlı etkileşimli model çalıştırılmış ve gözlemler sistematik biçimde kayıt altına alınmıştır. Model; karmaşık yüzey görselleştirmesi ile dinamik kök takibini tek bir panel üzerinde birleştirmekte, dört ayrı katsayı kaydıracı (a, b, c, d) aracılığıyla anlık parametre kontrolü sağlamaktadır.

Uygulama sürecinde $a = 1$, $b = 0$, $c = -2$, $d = 0$ başlangıç değerleriyle elde edilen $f(z) = z^3 - 2z$ polinomu analiz edilmiştir. Bu polinom $z = 0$, $z = \pm\sqrt{2} \approx \pm 1.414$ şeklinde üç gerçek köke sahip olup $|f(z)|$ yüzeyi üzerinde bu değerlere karşılık gelen üç ayrı tepe noktası açıkça gözlemlenmiştir. Kaydıraçlar aracılığıyla d katsayısı 0'dan 2'ye doğru kademeli olarak artırıldıkça köklerin biri gerçek ekseni terk edip karmaşık düzleme taşınmış; bu geçiş süreci yüzeydeki dönüşümle eş zamanlı olarak izlenmiştir.

Ayrıca b katsayısı değiştirildiğinde köklerin simetri ekseninden saptığı, a katsayısının işaret değiştirmesi durumunda ise polinomun yöneliminin tersine döndüğü ve köklerin gerçek eksen boyunca yeniden konumlandığı gözlemlenmiştir. Bu dinamik gözlemler, Vieta formülleri ile öngörülen katsayı-kök ilişkilerini (köklerin toplamı = b/a, köklerin çarpımı = d/a) doğrudan doğrulayan görsel kanıtlar sunmuştur. Petković ve ark. (2019) tarafından Mathematica ortamında benimsenen dinamik inceleme metodolojisi, bu aşamada da temel bir referans çerçevesi işlevi görmüştür.

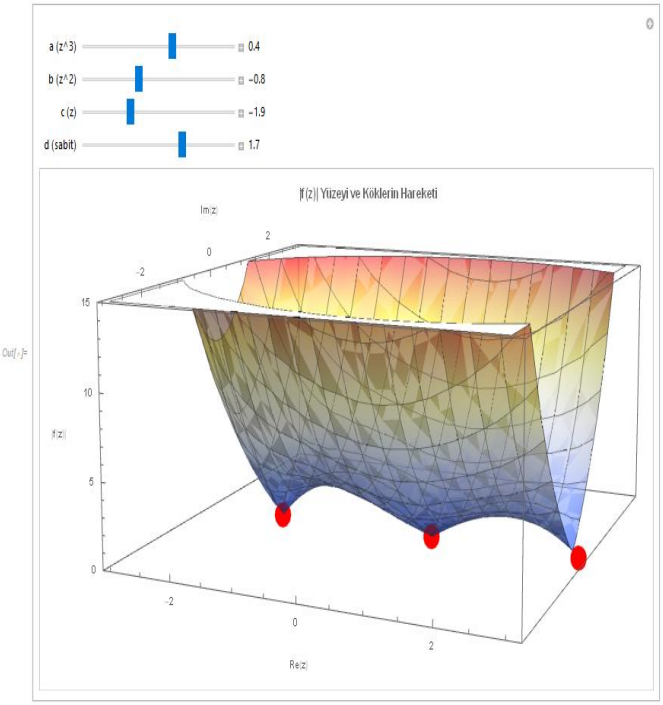


Görsel 1: 3D |f(z)| yüzey görselleştirmesi

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

```
In[•]:= Manipulate[Show[(*1. Karmaşık Yüzey Çizimi*)Plot3D[Abs[(a*z^3+b*z^2+c*z+d) /. z→(x+I*y)], {x, -3, 3}, {y, -3, 3}, PlotRange→{0, 15}, Mesh→15, PlotStyle→Opacity[0.75, Blue], ColorFunction→"TemperatureMap",
    AxesLabel→{"Re(z)", "Im(z)", "|f(z)|"}, PlotLabel→Style["|f(z)| Yüzeyi ve Köklerin Hareketi", 12, Bold]], (*2. Köklerin Dinamik Noktalar Olarak Çizilmesi*)
  Graphics3D[{Red, PointSize[0.03], Point[Table[{Re[r], Im[r], 0}, {r, z /. NSolve[a*z^3+b*z^2+c*z+d==0, z]}]]}]], (*Dinamik Kontroller*){{a, 1, "a (z^3)"}, -2, 2, 0.1, Appearance→"Labeled"},
 {{b, 0, "b (z^2)"}, -3, 3, 0.1, Appearance→"Labeled"}, {{c, -2, "c (z)"}, -5, 5, 0.1, Appearance→"Labeled"}, {{d, 0, "d (sabit)"}, -5, 5, 0.1, Appearance→"Labeled"}]
```

Out[•]=



Görsel 2: katsayı değiştirildikten sonraki dinamik görünüm

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Wolfram Mathematica araçları kullanılarak gerçekleştirilen dinamik polinom analizi, birkaç kritik bulguyu gün yüzüne çıkarmıştır. Her şeyden önce, katsayı değişimlerinin kök davranışı üzerindeki etkisi, etkileşimli Manipulate modelleri aracılığıyla gerçek zamanlı olarak gözlemlenebilir hale gelmiş; bu durum öğrencilerin sezgisel matematik anlayışını güçlendiren önemli bir pedagojik avantaj olarak öne çıkmıştır. Özellikle ikinci dereceden polinomlarda diskriminant işaretinin değişmesiyle gerçek köklerin karmaşık düzleme geçişi, dinamik görselleştirme sayesinde soyutluktan somutluğa doğru bir kavrayış köprüsü kurulmasına olanak tanımıştır.

Petković ve ark. (2019) tarafından vurgulanan çekim havuzu metodolojisi, bu çalışmada NSolve'ün farklı başlangıç koşullarına verdiği tepkilerin incelenmesinde etkin biçimde kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, Mathematica'nın çok yönlü kök bulma yeteneklerinin yalnızca sayısal hesaplama ile sınırlı kalmayıp dinamik görselleştirmeyle entegre edildiğinde çok daha zengin bir analitik perspektif sunduğunu göstermektedir. Barry ve ark. (2020) tarafından önerilen görselleştirilebilir ispat yaklaşımı da bu bulgularla örtüşmekte; kök lokusu analizinin etkileşimli modeller aracılığıyla kavranmasının hem araştırmacılara hem de öğrencilere önemli kazanımlar sağladığını desteklemektedir.

Jia ve ark. (2023) ile Ziatdinov ve Valles (2022) tarafından yürütülen araştırmalar, dinamik görselleştirme araçlarının matematik başarısı üzerindeki olumlu etkisini meta-analiz ve deneysel çalışmalarla ortaya koymuştur. Bu çalışmanın bulguları da söz konusu genel eğilimle

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uyum içindedir; Mathematica'nın etkileşimli ortamı, soyut polinom kavramlarını elle tutulur dinamik deneyimlere dönüştürerek öğrenme sürecini derinleştirmektedir. Rozumenko ve ark. (2024) tarafından belgelenen görsel modellerin araştırma becerisi geliştirmedeki rolü de Mathematica tabanlı bu çalışmanın bulgularıyla örtüşmektedir.

Çalışmanın önemli sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Her şeyden önce, Mathematica ticari bir yazılım olup tüm öğrencilerin erişimine açık değildir. Bununla birlikte, öğrenci sürümü ve bulut tabanlı Wolfram Cloud seçenekleri bu engeli önemli ölçüde azaltmaktadır. Öte yandan, çok değişkenli polinom sistemleri ve cebirsel eğriler bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmış olup gelecek araştırmalar için verimli bir alan oluşturmaktadır. Son olarak, CAS ortamında sembolik ve sayısal hesaplama arasındaki sınırın dikkatli biçimde yönetilmesi gerektiğini Wolfram Dil Dokümantasyonu da açıkça vurgulamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Mathematica'nın Manipulate, NSolve, Solve ve görselleştirme fonksiyonlarının bütünleşik kullanımının polinom fonksiyonların ve kök davranışlarının dinamik incelenmesi için son derece güçlü ve esnek bir platform oluşturduğunu kanıtlamıştır. Geliştirilen etkileşimli modeller, matematik derslerinde kavramsal anlayışı derinleştirmede, araştırma süreçlerinde ise hipotez test etme ve keşif aşamalarında etkili biçimde kullanılabilir. Gelecekteki çalışmalarda bu modellerin öğrenci gruplarıyla deneysel olarak test edilmesi, çok değişkenli polinomlara genişletilmesi ve makine öğrenmesi uygulamalarıyla ilişkilendirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Alves, F. R. V. (2013). Viewing the roots of polynomial functions in complex variable: The use of GeoGebra and the CAS Maple. Academia.edu. https://www.academia.edu/5526809

[2] Barry, J., & Thron, C. (2020). A visualizable, constructive proof of the Fundamental Theorem of Algebra, and a parallel polynomial root estimation algorithm. arXiv:2002.04418. https://arxiv.org/abs/2002.04418

[3] Buteau, C., Marshall, N., Jarvis, D., & Lavicza, Z. (2010). Integrating Computer Algebra Systems in post-secondary mathematics education. International Journal for Technology in Mathematics Education, 17(4), 173–182.

[4] Jia, W., Zhang, A., Chen, G., & Bob, Y.Z. (2023). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. Journal of Research on Technology in Education, 57(2), 437–458. https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[5] Karjanto, N., & Husain, H. S. (2021). Not another computer algebra system: Highlighting wxMaxima in calculus. Mathematics, 9(12), 1317. https://doi.org/10.3390/math9121317

[6] Petković, M. S., & Rancic, L. (2019). Computational geometry as a tool for studying root-finding methods. ResearchGate. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14699.62248

[7] Nguyen, H.D., Pham, A.V., & Nguyen, H.D. (2025). Polynomiogram: An integrated framework for root visualization and generative art. arXiv:2512.04263. https://arxiv.org/abs/2512.04263

[8] Rozumenko, A., Rozumenko, A., Yurchenko, A., Khvorostina, Y., & Semenikhina, O. (2024). Students' research skills development by using visualization. International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS), 16(6), 1–14. https://doi.org/10.5815/ijitcs.2024.06.01

[9] Wolfram Research, Inc. (2024). NSolve — Wolfram Language Documentation. https://reference.wolfram.com/language/ref/NSolve.html

[10] Ziatdinov, R., & Valles, J. R. (2022). Synthesis of modeling, visualization, and programming in GeoGebra as an effective approach for teaching and learning STEM topics. Mathematics, 10(3), 398. https://doi.org/10.3390/math10030398

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MATHEMATİCA İLE MATEMATİKSEL ÖRÜNTÜLERİN VE DİZİLERİN ETKİLEŞİMLİ İNCELENMESİ

INTERACTIVE INVESTIGATION OF MATHEMATICAL PATTERNS AND SEQUENCES WITH MATHEMATICA

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU

Ardahan Üniversitesi, aliturkoglu@ardahan.edu.tr-ORCID: 0000-0001-5958-5056

Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK

Ardahan Üniversitesi, zaferozturk@ardahan.edu.tr-ORCID: 0000-0001-5662-4670

ÖZET

Bu çalışmada, Wolfram Mathematica yazılımının sunduğu sembolik hesaplama, dinamik görselleştirme ve etkileşimli arayüz geliştirme olanakları kullanılarak matematiksel örüntülerin ve sayı dizilerinin incelenmesine yönelik bir öğrenme nesnesi tasarlanmıştır. Çalışmada aritmetik, geometrik, karesel ve Fibonacci tipi diziler ele alınmış; terim değerleri, birinci farklar, ikinci farklar ve büyüme eğilimleri üç boyutlu bir temsil ortamında birlikte gösterilmiştir. Mathematica'nın Manipulate, RecurrenceTable, Differences, Graphics3D, Cuboid, ListLinePlot3D ve FindSequenceFunction gibi komutları, öğrencilerin örüntüleri yalnızca sonuç listeleri olarak değil, değişen parametrelerle hareket eden matematiksel yapılar olarak anlamalarını destekleyecek biçimde kullanılmıştır. Geliştirilen 3D dinamik öğrenme nesnesi, terim sayısı, başlangıç değeri, ortak fark, ortak oran ve karesel katsayılar gibi parametrelerin gerçek zamanlı değiştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede öğrenciler doğrusal büyüme, üstel büyüme, karesel büyüme ve özyinelemeli yapı arasındaki farkları aynı görsel düzlemde karşılaştırabilmektedir. Çalışma, teknoloji destekli matematik öğretiminde çoklu temsil, görselleştirme ve etkileşimli keşif yaklaşımlarının örüntü ve dizi kavramlarının öğretiminde güçlü bir pedagojik zemin oluşturduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel örüntüler, diziler, Mathematica, dinamik görselleştirme, 3D öğrenme nesnesi

ABSTRACT

This study designs an interactive learning object for investigating mathematical patterns and numerical sequences by using the symbolic computation, dynamic visualization, and interface-building capabilities of Wolfram Mathematica. Arithmetic, geometric, quadratic, and Fibonacci-type sequences are examined through a three-dimensional representation that displays term values, first differences, second differences, and growth tendencies simultaneously. Mathematica functions such as Manipulate, RecurrenceTable, Differences, Graphics3D, Cuboid, ListLinePlot3D, and FindSequenceFunction are used to help learners interpret sequences not merely as lists of outputs, but as mathematical structures that evolve under changing parameters. The developed 3D dynamic learning object enables real-time manipulation of parameters such as number of terms, initial value,

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

common difference, common ratio, and quadratic coefficients. Thus, learners can compare linear growth, exponential growth, quadratic growth, and recursive structure within the same visual environment. The study indicates that multiple representations, visualization, and interactive exploration provide a strong pedagogical basis for teaching patterns and sequences in technology-supported mathematics education.

Keywords: Mathematical patterns, sequences, Mathematica, dynamic visualization, 3D learning object

1.GİRİŞ

Matematiksel örüntüler ve diziler, öğrencilerin değişim, düzenlilik, genelleme ve fonksiyonel düşünme becerilerini geliştirmesinde temel bir role sahiptir. Bir örüntünün ardındaki kuralı belirlemek, yalnızca verilen terimleri takip etmekten ibaret değildir; öğrencinin nicelikler arasındaki ilişkiyi fark etmesini, bu ilişkiyi sembolik olarak ifade etmesini ve farklı temsil biçimleri arasında geçiş yapmasını gerektirir. Duval'a (2006) göre matematiksel kavramların anlaşılması, farklı temsil biçimleri arasında dönüşüm yapabilme becerisiyle yakından ilişkilidir. Bu yönüyle örüntü ve dizi çalışmaları, aritmetikten cebire geçişte doğal bir köprü görevi görmektedir.

Geleneksel öğretim ortamlarında diziler çoğunlukla tablo, formül ve sınırlı sayıda grafik aracılığıyla ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle büyüme biçimlerinin karşılaştırılması, birinci ve ikinci farkların yorumlanması veya özyinelemeli yapıların kavranması gibi konularda öğrencinin zihinsel model kurmasını güçleştirebilir. Arcavi (2003), matematiksel görselleştirmenin öğrencilerin soyut ilişkileri anlamlandırmasında önemli bir düşünme aracı olduğunu vurgulamaktadır. Dinamik matematik yazılımları ise aynı matematiksel nesnenin tablo, grafik, sembolik ifade ve hareketli model olarak birlikte incelenmesini sağlayarak bu sınırlılığı azaltmaktadır.

Wolfram Mathematica, sembolik işlem yeteneği ile görselleştirme ve etkileşimli arayüz geliştirme özelliklerini bütünleştiren güçlü bir bilgisayar cebiri sistemidir. Wolfram Language dokümantasyonunda Manipulate komutunun, değişken parametrelere bağlı ifadeler için otomatik etkileşimli kullanıcı arayüzleri oluşturduğu belirtilmektedir. Benzer biçimde RecurrenceTable özyinelemeli dizilerin hesaplanmasında, FindSequenceFunction ise verilen terimlerden olası kapalı form ya da kuralın belirlenmesinde kullanılabilmektedir (Wolfram Research, 2015, 2025a, 2025b).

Örüntülerin öğretiminde karşılaşılan temel güçlüklerden biri, öğrencilerin sınırlı sayıdaki terimden hareketle aşırı hızlı genellemelere ulaşmalarıdır. Örneğin ilk birkaç terimi aynı olan iki farklı dizi, ilerleyen terimlerde tamamen farklı büyüme davranışları gösterebilir. Bu nedenle öğrencilerin yalnızca yüzeysel sayı ilişkilerini değil, dizinin üretim kuralını ve bu kuralın değişim üzerindeki etkisini incelemeleri gerekir. Dinamik görselleştirmelerin değişim sürecini görünür kılması, bu tür genelleme hatalarının tartışılmasına katkı sağlayabilir (Rau ve ark., 2020).

Diziler aynı zamanda fonksiyon kavramının anlaşılması için güçlü bir hazırlık alanıdır. Terim numarası n bağımsız değişken, a_n ise bağımlı değişken olarak yorumlandığında öğrenciler tablo, grafik ve cebirsel ifade arasında doğal bağlantılar kurabilir. Aritmetik diziler doğrusal fonksiyonlarla, karesel diziler ikinci dereceden fonksiyonlarla, geometrik diziler ise üstel büyüme modelleriyle ilişkilendirilebilir. Bu ilişkilendirme, Duval'ın (2006) çoklu temsil yaklaşımıyla uyumlu biçimde, öğrencilerin dizi kavramını daha geniş bir fonksiyonel düşünme çerçevesi içinde ele almalarına yardımcı olur.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Fark analizi, örüntü ve dizi öğretiminde özellikle önemli bir araçtır. Birinci farkların sabit olması doğrusal bir yapıya, ikinci farkların sabit olması karesel bir yapıya işaret ederken; farkların düzenli biçimde değişmesi daha karmaşık modellerin araştırılmasını gerektirir. Ancak fark dizileri çoğu zaman yalnızca tablo üzerinde gösterildiğinde öğrenciler bu yapının görsel anlamını kurmakta zorlanabilir. Görsel temsilin matematiksel düşünmedeki rolünü vurgulayan Arcavi'nin (2003) yaklaşımı doğrultusunda, bu çalışmada fark dizilerinin ayrı temsil katmanlarında gösterilmesi amaçlanmıştır.

Etkileşimli öğrenme nesneleri, öğrencinin matematiksel kavramla yalnızca sonuç üzerinden değil süreç üzerinden ilişki kurmasını sağlar. Öğrenci başlangıç değeri, ortak fark, ortak oran veya katsayıları değiştirdiğinde aynı anda hem sayısal tablo hem de 3D görsel temsil değişmektedir. Wolfram Research (2025b), Manipulate komutunun değişken parametrelere bağlı etkileşimli arayüzler oluşturmak için kullanılabildiğini belirtmektedir. Böylece öğrenme süreci, öğretmenin hazır sonucu sunmasından çok öğrencinin kontrollü denemelerle örüntünün yapısını keşfetmesine dayanır.

Matematik eğitiminde dinamik görselleştirmenin etkisine ilişkin çalışmalar, görsel ve etkileşimli temsil biçimlerinin özellikle fonksiyon, değişim ve kovaryasyon kavramlarının öğrenilmesinde anlamlı katkılar sunabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, dinamik görselleştirmelerin tek başına yeterli olmadığı; öğrenme hedefi, yönlendirilmiş keşif soruları ve temsil geçişleriyle desteklendiğinde daha etkili olduğu vurgulanmaktadır (Rau ve ark., 2020). Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen öğrenme nesnesi yalnızca görsel bir animasyon olarak değil, öğrenciyi matematiksel karşılaştırma ve genelleme yapmaya yönelten bir model olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışma, Mathematica ortamında örüntü ve dizilerin etkileşimli incelenmesine yönelik sistematik bir uygulama geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, terim değerleri ile fark dizilerini aynı 3D uzayda eş zamanlı gösteren, farklı dizi türleri arasında geçiş yapılmasına olanak tanıyan ve öğrencilerin parametre-kural-büyüme ilişkisini görsel olarak keşfetmesini sağlayan bir öğrenme nesnesi sunmasıdır.

2.AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Wolfram Mathematica kullanılarak matematiksel örüntülerin ve sayı dizilerinin etkileşimli, görsel ve analitik biçimde incelenmesini sağlayan 3D dinamik bir öğrenme nesnesi geliştirmektir. Bu genel amaç doğrultusunda aşağıdaki alt amaçlar belirlenmiştir:

(1) Aritmetik, geometrik, karesel ve Fibonacci tipi dizilerin terim üretim kurallarını Mathematica ortamında sembolik ve sayısal olarak modellemek; (2) dizilerin terim değerlerini, birinci farklarını ve ikinci farklarını karşılaştırmalı olarak görselleştirmek; (3) parametre değişimlerinin büyüme davranışı üzerindeki etkilerini gerçek zamanlı olarak incelemek; (4) öğrencilerin örüntüden kurala, tablodan grafiğe ve grafikten cebirsel ifadeye geçişlerini destekleyen bir öğrenme ortamı tasarlamak.

3.ÖNEM

Örüntü ve dizi kavramları, cebirsel düşünmenin erken ve ileri düzey bileşenlerini bir araya getirir. Öğrenciler bir dizinin yalnızca sonraki terimini bulduklarında işlem odaklı bir başarı gösterebilir;

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ancak dizinin nasıl büyüdüğünü, farkların ne söylediğini ve aynı örüntünün hangi fonksiyon ailesiyle ilişkili olduğunu açıklayabildiklerinde kavramsal düzeyde daha güçlü bir anlayış geliştirir.

Bu çalışma, özellikle fark dizilerinin görsel yorumlanmasına odaklandığı için önemlidir. Aritmetik dizilerde birinci farkın sabit, karesel dizilerde ikinci farkın sabit, geometrik dizilerde ise oran temelli büyümenin belirgin olması öğrencilerin dizi türlerini ayırt etmesini sağlar. Bu ayrımlar çoğu zaman sembolik anlatımla soyut kalırken, üç boyutlu bir temsil öğrencinin aynı anda hem terimleri hem de değişim katmanlarını izlemesine imkan verir.

Eğitim teknolojisi açısından bakıldığında, geliştirilen öğrenme nesnesi öğretmenin sınıf içinde canlı örnekler üretmesine, öğrencilerin parametreleri değiştirerek hipotez kurmasına ve örüntü kuralını deneysel gözlemle ilişkilendirmesine olanak tanır. Böylece Mathematica yalnızca hesaplama yapan bir araç olmaktan çıkarak, matematiksel düşünmeyi görünür hale getiren bir keşif ortamına dönüşür.

4.MATEMATİKSEL MODEL VE YÖNTEM

4.1. Örüntü ve Dizi Modeli

Bu çalışmada bir sayı dizisi, pozitif tam sayılar kümesinden reel sayılar kümesine tanımlı bir fonksiyon olarak ele alınmıştır: a: N^+ => R, n => a_n. Bu yaklaşım, dizileri yalnızca sıralı sayı listeleri değil, girdi-çıktı ilişkisi taşıyan fonksiyonel yapılar olarak yorumlamaya olanak sağlar.

İncelenen temel modeller şunlardır: aritmetik dizi $a_n = a_1 + (n - 1)d$, geometrik dizi $a_n = a_1 . r^{(n - 1)}$ karesel dizi $a_n = pn^2 + qn + s$ ve Fibonacci tipi özyinelemeli dizi $a_n = a_{(n-1)} + a_{(n-2)}$. Bu modeller doğrusal, üstel, polinomsal ve özyinelemeli büyüme biçimlerini temsil ettiği için öğretimsel karşılaştırmaya elverişlidir.

4.2. Mathematica Araçları ve Yöntem

Çalışmada aşağıdaki Mathematica fonksiyonları sistematik biçimde kullanılmıştır: Table komutu kapalı formu bilinen dizilerin terimlerini üretmek için; RecurrenceTable komutu özyinelemeli dizileri hesaplamak için; Differences komutu birinci ve ikinci farkları elde etmek için; FindSequenceFunction komutu verilen terimlerden olası kuralı tahmin etmek için; Graphics3D, Cuboid ve Line komutları üç boyutlu temsil oluşturmak için; Manipulate komutu ise tüm modelin parametrelerle etkileşimli biçimde çalışmasını sağlamak için kullanılmıştır.

4.3. Uygulanan Matematiksel Yöntemler

Analiz süreci dört aşamada yürütülmüştür: (1) Terim üretimi: seçilen dizi türüne göre a_n değerleri hesaplanmıştır. (2) Fark analizi: Differences komutu ile birinci ve ikinci fark dizileri elde edilmiştir. (3) Görsel temsil: terim değerleri 3D sütunlar, fark dizileri ise ayrı temsil katmanlarında çizgiler olarak gösterilmiştir. (4) Etkileşimli keşif: kullanıcı parametreleri değiştirdikçe dizi değerleri, fark yapısı ve 3D görünüm eş zamanlı olarak güncellenmiştir.

4.4. Geliştirilen Mathematica Kodu

Bu çalışmanın merkezinde, farklı dizi türlerini aynı 3D öğrenme ortamında karşılaştırmaya imkan veren Manipulate tabanlı bir Mathematica kodu yer almaktadır. Kod, terimleri üç boyutlu sütunlar olarak; birinci ve ikinci farkları ise ayrı temsil katmanlarında çizgisel izler olarak göstermektedir. Bu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yapı, öğrencilerin 'terim değeri', 'değişim miktarı' ve 'değişimin değişimi' kavramlarını aynı anda takip etmelerine olanak tanımaktadır.

Kod Listesi 1: Örüntü ve Diziler İçin 3D Dinamik Öğrenme Nesnesi

```
Manipulate[
 Module[{seq, scaled, points, bars, labels, firstDiff, secondDiff, formulaText},

  seq = Switch[diziTuru,
    "Aritmetik", Table[a + (n - 1) d, {n, 1, terimSayisi}],
    "Geometrik", Table[a r^(n - 1), {n, 1, terimSayisi}],
    "Karesel", Table[p n^2 + q n + s, {n, 1, terimSayisi}],
    "Fibonacci Tipi", RecurrenceTable[{u[n] == u[n - 1] + u[n - 2],
       u[1] == f1, u[2] == f2}, u, {n, 1, terimSayisi}]
    ];

  scaled = If[Max[Abs[seq]] == 0, seq, seq/Max[Abs[seq]]*10];
  points = Table[{n, 0, scaled[[n]]}, {n, 1, Length[scaled]}];
  firstDiff = Differences[seq];
  secondDiff = Differences[seq, 2];

  bars = Table[
    {ColorData["SolarColors"][Rescale[scaled[[n]], MinMax[scaled]]],
     Opacity[0.82],
     Tooltip[Cuboid[{n - .35, -.35, 0}, {n + .35, .35, scaled[[n]]}],
      Row[{"n = ", n, ", a_n = ", NumberForm[seq[[n]], {8, 2}]}]]},
    {n, 1, Length[scaled]}];

  formulaText = Switch[diziTuru,
    "Aritmetik", Row[{"a_n = ", a, " + (n - 1)", d}],
    "Geometrik", Row[{"a_n = ", a, " . ", r, "^(n - 1)"}],
    "Karesel", Row[{"a_n = ", p, "n^2 + ", q, "n + ", s}],
    "Fibonacci Tipi", Row[{"a_n = a_(n-1) + a_(n-2), a_1 = ", f1, ", a_2 = ", f2}]
    ];

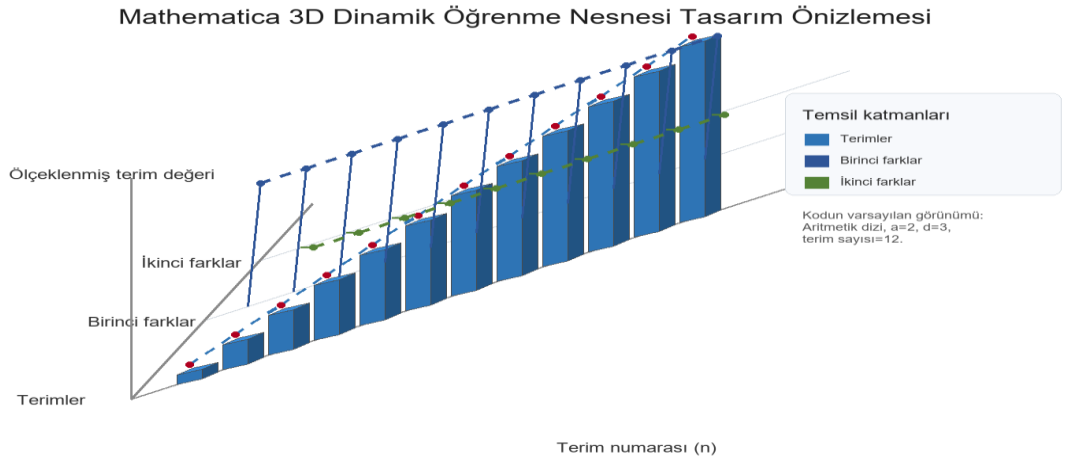
  Column[{
    Style["3D Örüntü ve Dizi Öğrenme Nesnesi", 14, Bold],
    Style[formulaText, 12],
    Show[
     Graphics3D[{
       bars,
       {Black, Thick, Line[points]},
       {Red, PointSize[0.018], Point[points]},
       {Blue, Dashed,
        Line[Table[{n + .5, 1.2,
```

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

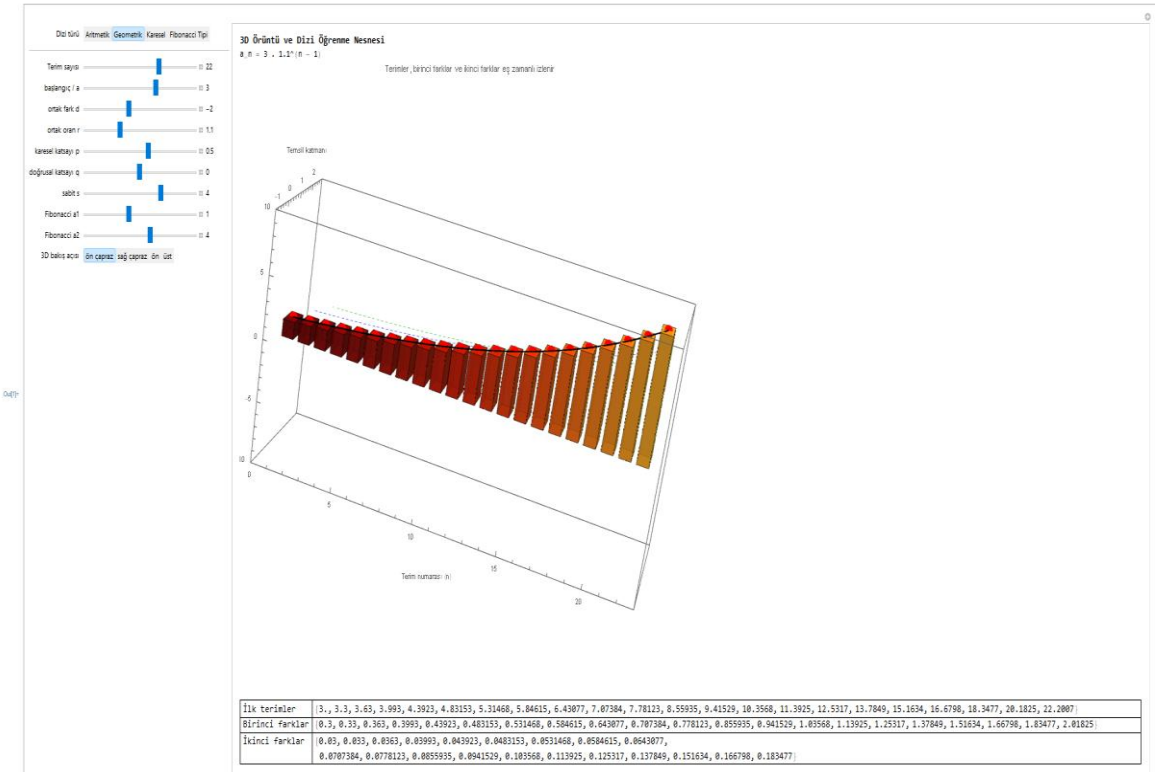
```
        If[Max[Abs[firstDiff]] == 0, 0,
         firstDiff[[n]]/Max[Abs[firstDiff]]*7]},
        {n, 1, Length[firstDiff]}]]},
      {Darker[Green], Dashed,
       Line[Table[{n + 1, 2.1,
         If[Length[secondDiff] == 0 || Max[Abs[secondDiff]] == 0, 0,
          secondDiff[[n]]/Max[Abs[secondDiff]]*5]},
         {n, 1, Length[secondDiff]}]]}
      },
     Axes -> True,
     AxesLabel -> {"Terim numarası (n)", "Temsil katmanı", "Ölçeklenmiş değer"},
     PlotRange -> {{0, terimSayisi + 1}, {-1, 2.8}, {-10, 10}},
     BoxRatios -> {1.8, .55, .9},
     ImageSize -> Large,
     ViewPoint -> view,
     SphericalRegion -> True],
    PlotLabel -> "Terimler, birinci farklar ve ikinci farklar eş zamanlı izlenir"],
   Grid[{
     {"İlk terimler", seq},
     {"Birinci farklar", firstDiff},
     {"İkinci farklar", secondDiff}
     }, Frame -> All, Alignment -> Left]
   }]
 ],

{{diziTuru, "Aritmetik", "Dizi türü"},
 {"Aritmetik", "Geometrik", "Karesel", "Fibonacci Tipi"}},
Delimiter,
{{terimSayisi, 12, "Terim sayısı"}, 5, 30, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{a, 2, "başlangıç / a"}, -10, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{d, 3, "ortak fark d"}, -10, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{r, 1.3, "ortak oran r"}, .2, 3, .1, Appearance -> "Labeled"},
{{p, 1, "karesel katsayı p"}, -3, 3, .25, Appearance -> "Labeled"},
{{q, 0, "doğrusal katsayı q"}, -10, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{s, 0, "sabit s"}, -10, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{f1, 1, "Fibonacci a1"}, -5, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{f2, 1, "Fibonacci a2"}, -5, 10, 1, Appearance -> "Labeled"},
{{view, {1.8, -2.2, 1.4}, "3D bakış açısı"},
 {{1.8, -2.2, 1.4} -> "ön çapraz",
  {2.4, 1.4, 1.2} -> "sağ çapraz",
  {0, -3, 1.4} -> "ön",
  {0, 0, 3} -> "üst"}}]
```

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 1: 3D Dinamik Öğrenme Nesnesi ile Aritmetik Dizilerin Görselleştirilmesi



Görsel 2: Aritmetik Dizilerde Birinci ve İkinci Farkların 3D Görselleştirilmesi

5. UYGULAMA AŞAMALARI

5.1. Aşama 1: Aritmetik ve Geometrik Diziler

İlk aşamada aritmetik ve geometrik diziler karşılaştırılmıştır. Aritmetik dizide ortak fark d değiştirildiğinde 3D sütunların doğrusal bir eğim oluşturduğu; geometrik dizide ortak oran r

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

büyüdükçe sütun yüksekliklerinin giderek daha hızlı arttığı gözlemlenmiştir. Bu aşama, doğrusal büyüme ile üstel büyüme arasındaki temel farkı görsel olarak belirginleştirmiştir.

5.2. Aşama 2: Karesel Örüntüler ve Fark Analizi

İkinci aşamada karesel diziler incelenmiştir. p katsayısı değiştirildiğinde terimlerin büyüme yönü ve hızı farklılaşmış; birinci farkların doğrusal, ikinci farkların ise sabit bir yapı sergilediği görülmüştür. Bu gözlem, öğrencilerin ikinci fark sabitliği ile karesel model arasındaki ilişkiyi kurmasına yardımcı olmaktadır.

5.3. Aşama 3: Fibonacci Tipi Özyinelemeli Diziler

Üçüncü aşamada Fibonacci tipi diziler ele alınmıştır. Başlangıç değerleri değiştirildiğinde dizinin ilerleyen terimlerinde büyüme eğiliminin nasıl farklılaştığı gözlemlenmiştir. RecurrenceTable komutu sayesinde öğrenciler özyinelemeli tanımın yalnızca sembolik bir ifade olmadığını, her terimin önceki terimlerle kurulan dinamik bir ilişki sonucu oluştuğunu deneyimleyebilmektedir.

5.4. Aşama 4: 3D Dinamik Öğrenme Nesnesinin Kullanımı

Son aşamada tüm dizi türleri aynı Manipulate arayüzü üzerinde çalıştırılmıştır. Öğrenciler dizi türünü seçmiş, terim sayısını artırmış, başlangıç değeri ve parametreleri değiştirmiştir. Modelin eş zamanlı güncellenmesi sonucunda terim değerleri, birinci farklar ve ikinci farklar arasındaki ilişkiler görsel olarak izlenmiştir. Bu süreç, örüntü tanıma, kural oluşturma ve genelleme becerilerini destekleyen etkileşimli bir öğrenme deneyimi sağlamıştır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Mathematica ile geliştirilen 3D dinamik öğrenme nesnesi, matematiksel örüntülerin ve dizilerin öğretiminde çoklu temsil yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermiştir. Terim değerlerinin, birinci farkların ve ikinci farkların aynı görsel uzayda temsil edilmesi; öğrencilerin dizi türleri arasındaki yapısal farkları daha kolay fark etmelerine yardımcı olmaktadır. Aritmetik dizilerde sabit birinci fark, karesel dizilerde sabit ikinci fark, geometrik dizilerde oran temelli büyüme ve Fibonacci tipi dizilerde özyinelemeli bağımlılık, geliştirilen modelde açık biçimde gözlemlenebilmektedir. Bu durum, öğrencilerin yalnızca formül ezberlemeleri yerine örüntünün davranışını yorumlamalarını desteklemektedir.

Mathematica'nın Manipulate komutu, öğrenme nesnesinin pedagojik değerini artıran temel bileşenlerden biridir. Parametrelerin gerçek zamanlı değiştirilebilmesi, öğrencilerin 'ne olur?' türü sorular üretmesine ve bu soruları anında görsel sonuçlarla sınamasına olanak tanımaktadır. Böylece öğrenme süreci pasif izleme yerine aktif keşif biçimine dönüşmektedir.

Çalışmanın sınırlılıkları da bulunmaktadır. Mathematica ticari bir yazılım olduğu için her eğitim kurumunda erişilebilir olmayabilir. Ayrıca dinamik görselleştirmeler, öğretimsel yönlendirme olmadan kullanıldığında öğrencinin dikkatini matematiksel ilişkiden çok görsel etkiye çekebilir. Bu nedenle öğrenme nesnesinin çalışma yaprakları, tahmin soruları ve tartışma etkinlikleriyle desteklenmesi önerilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Sonuç olarak bu çalışma, Wolfram Mathematica'nın örüntü ve dizi öğretiminde güçlü bir etkileşimli modelleme ortamı sunduğunu ortaya koymaktadır. Geliştirilen 3D öğrenme nesnesi, farklı dizi türlerinin büyüme davranışlarını karşılaştırmak, fark analizini somutlaştırmak ve öğrencilerin cebirsel genelleme becerilerini desteklemek için kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda modelin sınıf içi uygulamalarla test edilmesi ve öğrenci başarısı üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] A. Arcavi, "The role of visual representations in the learning of mathematics," *Educational Studies in Mathematics*, vol. 52, pp. 215–241, 2003, doi: 10.1023/A:1024312321077.

[2] R. Duval, "A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics," *Educational Studies in Mathematics*, vol. 61, pp. 103–131, 2006, doi: 10.1007/s10649-006-0400-z.

[3] M. A. Rau, V. Aleven, and N. Rummel, "Learning the concept of function with dynamic visualizations," *Frontiers in Psychology*, vol. 11, Art. no. 552, 2020, doi: 10.3389/fpsyg.2020.00552.

[4] Wolfram Research, "FindSequenceFunction," *Wolfram Language & System Documentation Center*, 2015. [Online]. Available: https://reference.wolfram.com/language/ref/FindSequenceFunction.html

[5] Wolfram Research, "ListPlot3D," *Wolfram Language & System Documentation Center*, 2025. [Online]. Available: https://reference.wolfram.com/language/ref/ListPlot3D.html

[6] Wolfram Research, "Manipulate," *Wolfram Language & System Documentation Center*, 2025. [Online]. Available: https://reference.wolfram.com/language/ref/Manipulate.html

[7] Wolfram Research, "Recurrence and sum functions," *Wolfram Language & System Documentation Center*, 2025. [Online]. Available: https://reference.wolfram.com/language/guide/RecurrenceAndSumFunctions.html

[8] Wolfram Research, "Sequences, sums, series," *Wolfram Language Fast Introduction for Math Students*, 2025. [Online]. Available: https://www.wolfram.com/language/fast-introduction-for-math-students/en/sequences-sums-and-series/

[9] W. Zimmermann and S. Cunningham, Eds., *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*. Washington, DC, USA: Mathematical Association of America, 1991.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

A WEARABLE DUAL SENSOR-GLOVE SYSTEM FOR THE RECOGNITION OF TURKISH SIGN LANGUAGE

Liudmila LVOVA

Ondokuz Mayıs University, ludmilashka0704@gmail.com - 0009-0001-9020-0035

Prof.Dr. Mehmet Serhat ODABAS

Ondokuz Mayıs University, mserhat@omu.edu.tr - 0000-0002-1863-7566

ABSTRACT

Communication remains a major barrier for individuals with hearing and speech impairments, for whom sign language is the principal means of expression. In Türkiye, an estimated 250,000 people depend on Turkish Sign Language, yet a shortage of qualified interpreters limits their access to education, healthcare, and public services. TSL is structurally distinct from more widely studied sign languages, using a twenty-nine-letter two-handed fingerspelling alphabet and many two-handed lexical signs—a property that restricts most existing recognition systems, which are single-handed, tethered, and limited to small static vocabularies. This paper presents a wearable dual-glove system for sensor-based recognition of Turkish Sign Language. Each glove combines five flex sensors, which measure finger flexion, with an inertial measurement unit that captures hand orientation and motion, jointly encoding the hand-shape and movement information needed to distinguish static from dynamic signs. Signals are acquired by ESP32 microcontrollers and sent to a Raspberry Pi 5 for processing and conversion into text and speech. A rechargeable lithium-polymer power unit and wireless communication make the device portable and independent of a tethered computer. The resulting prototype offers a reproducible hardware and data-acquisition framework for recognizing Turkish Sign Language letters and selected words, with quantitative performance evaluation planned as the next phase.

Keywords: Sensor glove, Turkish Sign Language, Wearable technology, Human–computer interaction

1. INTRODUCTION

Advances in artificial intelligence, wearable computing, and human–computer interaction have created new opportunities to address longstanding social challenges. Among these, supporting communication for people who cannot speak fluently including individuals who are deaf or who have lost the ability to speak after stroke, trauma, or illness has become an active and socially motivated research area. For many of these individuals, sign language is the most natural and often the only means of independent communication.

The scale of the underlying need is considerable. According to the World Health Organization, more than five percent of the global population roughly 430 million people require rehabilitation for disabling hearing loss, a figure projected to approach 700 million by 2050. In Türkiye, various estimates indicate that around 3.5 million people experience hearing difficulties, and approximately 250,000 individuals use Turkish Sign Language (TSL) as their primary means of communication.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Because learning sign language requires time and dedicated training, the number of proficient signers in the wider population remains small, producing a communication gap that is especially visible in hospitals, schools, and public institutions where qualified interpreters are scarce.

Turkish Sign Language is a natural and independent language with its own grammar, lexicon, and expressive structure; it is not a manual encoding of spoken Turkish. Its fingerspelling alphabet contains twenty-nine letters and, unlike the predominantly one-handed American Sign Language, is realized with two hands. A large proportion of TSL lexical signs are likewise bimanual. These structural characteristics mean that recognition methods developed for one-handed languages do not transfer directly to TSL, and they motivate systems that explicitly model the coordinated use of both hands.

Sign language recognition (SLR) systems generally follow one of two data-acquisition paradigms. Vision-based systems record hand shape, movement, and facial cues with cameras, but their performance is sensitive to lighting, background clutter, camera angle, and privacy concerns. Sensor-based systems instead measure movement directly from devices worn on the hand: flex sensors capture finger bending, while accelerometers and gyroscopes describe hand orientation and motion. Because sensor-based acquisition is more robust to environmental variation and lends itself to portable, real-time operation, it is well suited to a language whose signs depend heavily on precise, coordinated hand postures.

Building on these observations, this study designs and develops a wearable dual sensor-glove system for the recognition of Turkish Sign Language. The central design decision instrumenting both hands follows directly from the bimanual nature of TSL. Each glove integrates five flex sensors that quantify individual finger flexion together with an inertial measurement unit that captures hand orientation and motion, thereby encoding both the hand-shape and the movement information required to distinguish static from dynamic signs. Sensor signals are acquired by ESP32-based microcontrollers and forwarded to a Raspberry Pi 5 processing unit, where they are prepared for classification and conversion into textual and spoken output. A rechargeable lithium-polymer power subsystem and wireless communication make the device portable and independent of a tethered computer. The resulting prototype provides a reproducible hardware and data-acquisition framework intended to support the recognition of TSL letters and selected words, with quantitative performance evaluation planned as the next phase of the study.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. System Overview

The proposed system is a wearable dual-glove platform that converts the hand configurations produced during signing into digital signals, processes those signals, and prepares them for conversion into textual and spoken output. The architecture is organized into four cooperating layers: a sensing layer that instruments both hands, an acquisition and communication layer built on ESP32 microcontrollers, a processing layer centered on a Raspberry Pi 5, and an output-and-power layer that supports portable, untethered operation. Because Turkish Sign Language is fundamentally two-handed, symmetric instrumentation of the left and right hands is treated as a core requirement rather than an optional extension. Table 1 relates the principal TİD sign categories to the sensing modalities that discriminate them and motivates the choice of components.

Table 1. Turkish Sign Language sign categories and corresponding sensing modalities.

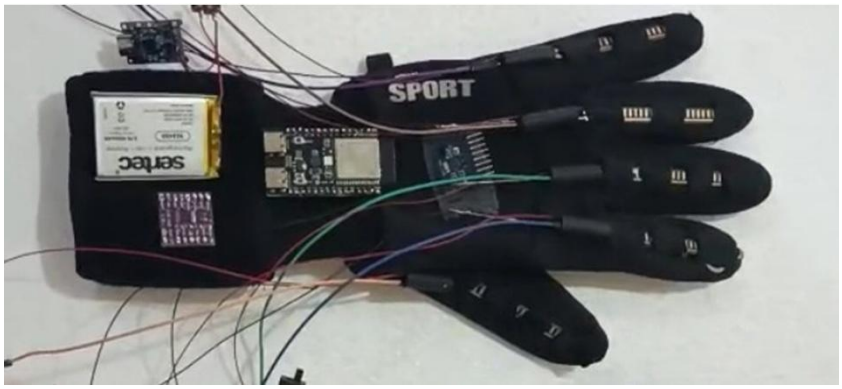
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Sign category	Description / example	Discriminative cues	Primary sensing modality
Static fingerspelling	Fixed hand postures for letters (e.g., A, B, E)	Finger flexion, hand shape	Dual gloves, flex sensors
Dynamic fingerspelling	Letters requiring movement (e.g., J, Ğ, Ş)	Hand motion, orientation change	Flex sensors + IMU
Single-hand words	One-handed lexical signs (e.g., water, yes)	Finger motion, hand direction	Flex sensors + accelerometer
Two-hand words	Bimanual lexical signs (e.g., home, family)	Inter-hand coordination	Dual gloves, IMU, gyroscope
Dynamic expressions	Multi-movement phrases (e.g., thank you)	Movement sequence, timing	Dual gloves, IMU, gyroscope

2.2 Sensing Layer: Flex Sensors and Inertial Units

Finger movement is captured with flex sensors (Figure 1), whose electrical resistance changes as the sensor bends. One flex sensor is mounted along each finger, giving five sensors per hand and ten across the pair. When a finger is straight the sensor holds a baseline resistance; as the finger bends, the resistance changes in proportion to the flexion angle, allowing the system to encode hand shape as a set of analog values. These signals form the primary input to the recognition pipeline: they quantify the bending angle of each finger, translate hand shapes into numerical data, and distinguish the finger configurations that characterize different signs.

Figure 1. Sensor glove design



Finger flexion alone is not sufficient to separate all signs, because the meaning of a sign in TSL also depends on the orientation of the hand and on wrist and whole-hand movement. To capture this information, each glove carries an inertial measurement unit (IMU) combining an accelerometer and a gyroscope. The IMU reports the direction of hand movement, angular change, and orientation, so that the system evaluates not only what shape the fingers form but also how the hand is positioned

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

and how it moves through space. Combining flex and inertial data enables the platform to represent static postures and dynamic, movement-bearing signs within a single feature stream.

2.3 Acquisition, Processing, and Communication

Sensor readings are collected by ESP32-based development boards. The ESP32 family was selected for its analog and digital input–output capacity, its integrated Wi-Fi and Bluetooth connectivity, and its suitability for compact, battery-powered wearables. The microcontroller reads the analog flex-sensor values, ingests the motion data from the IMU, applies preliminary on-device processing, and transmits the resulting stream, over a wired or wireless link, to the central processing unit, where it also contributes to building the labeled dataset used for recognition. Where additional analog channels are required, a dedicated high-resolution analog-to-digital converter module supplements the microcontroller inputs (Figure 2).

Figure 2. Developed board



A Raspberry Pi 5 serves as the central processing unit. As a compact single-board computer, it receives the data forwarded by the microcontrollers and provides the environment for the more demanding stages of processing, feature preparation, classification, and output generation, as well as for an optional graphical interface. Positioning the heavier computation on the Raspberry Pi keeps the glove-mounted electronics lightweight while retaining the capacity needed to map recognized signs to written and, ultimately, spoken output.

2.4 Output and Power Subsystems

For user feedback, a small OLED display can indicate system status, confirm that data are arriving from the sensors, and show the recognized result, which keeps the prototype self-contained and user-friendly. To support untethered use, the system is powered by a rechargeable lithium-polymer battery managed by a USB Type-C charging module, so that the gloves can operate without a permanent connection to a computer. The power subsystem supplies the microcontrollers, sensors, and remaining electronics, and together with the wireless link makes the platform genuinely portable.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.5 Data-Acquisition Pipeline

The end-to-end pipeline proceeds in five stages. First, the signer performs a TSL sign while wearing both gloves. Second, the flex sensors and inertial units transduce finger flexion, hand orientation, and motion into electrical signals. Third, the ESP32 microcontrollers digitize and pre-process these signals and transmit them to the Raspberry Pi 5. Fourth, the processing unit prepares the combined feature stream for classification, associating each sample with the corresponding letter or word during dataset construction. Fifth, the recognized sign is rendered as textual output on the display and is intended, in the complete system, to be converted into speech. This structure separates lightweight, on-glove acquisition from heavier host-side processing and thereby preserves both portability and computational headroom.

3. DISCUSSION

The architecture responds directly to the limitations identified in Section 2. By instrumenting both hands, the system accommodates the large class of bimanual TSL signs that single-glove designs cannot represent, and by fusing flex-sensor and inertial data it captures the finger flexion, hand orientation, and movement needed to separate static from dynamic signs. Relative to earlier Turkish-language prototypes, which are typically wired and confined to a small static vocabulary, the present design emphasizes wireless communication, battery operation, and a processing hierarchy capable of supporting recognition beyond the alphabet.

The choice of sensor-based acquisition over a vision-based pipeline is deliberate. Camera-based systems can achieve high accuracy under controlled conditions, but their dependence on lighting, viewpoint, and background, together with privacy concerns, complicates everyday use. Direct measurement at the hand avoids these environmental sensitivities and yields a more controlled signal, at the cost of requiring careful sensor selection, ergonomic glove design, calibration, and accommodation of differences in hand size between users. These trade-offs are consistent with the international literature, where dual-glove and wireless designs are increasingly favored for portability.

Several constraints frame the current stage of the work. The platform is a prototype intended to be evaluated first on a limited set of TSL signs rather than the full language, and its recognition performance has not yet been quantified. Calibration and normalization across users, robustness of dynamic-sign segmentation, and latency of the end-to-end pipeline remain open questions that the planned experiments are designed to address. The contribution at this stage is therefore an integrated, reproducible hardware and data-acquisition framework tailored to the bimanual structure of Turkish Sign Language, rather than a finished translation product.

4. CONCLUSION

This research presented the design and development of a wearable dual sensor-glove system for the recognition of Turkish Sign Language. Motivated by the bimanual structure of TİD and by the scarcity of qualified interpreters, the system instruments both hands with flex sensors and inertial units, acquires data

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

through ESP32 microcontrollers, and processes it on a Raspberry Pi 5, while a lithium-polymer power subsystem and wireless communication provide portability. The design explicitly targets shortcomings of prior TSL work, namely single-handed operation, small vocabularies, wired connections, and weak handling of dynamic signs. Future work will focus on collecting a labeled dataset of TSL letters and selected words with the developed hardware, training and comparing machine-learning and deep-learning classifiers on the combined flex-and-inertial feature stream, and quantitatively evaluating recognition accuracy, latency, and cross-user robustness. Subsequent stages will integrate reliable text-to-speech output and extend the vocabulary toward continuous signing, with the longer-term aim of an accessible communication aid for use in education, healthcare, and public services.

REFERENCES

Aksoy, B., Salman, O. K. M., Ekrem, Ö. Detection of Turkish Sign Language using deep learning and image processing methods. Applied Artificial Intelligence, 35(12), 952–981, 2021.

Alsharif, B., Alalwany, E., Ilyas, M. Transfer learning with YOLOv8 for real-time recognition system of American Sign Language alphabet. Franklin Open, 8, 100165, 2024.

Amin, M. S., Rizvi, S. T. H., Hossain, M. M. A comparative review on applications of different sensors for sign language recognition. Journal of Imaging, 8(4), 98, 2022.

Çelik, Ö., Odabaş, A. Sign2Text: Turkish Sign Language recognition using convolutional neural networks. European Journal of Science and Technology, (19), 923–934, 2020.

Dias, T. S., Mendes, J. J. A., Pichorim, S. F. Comparison between handcraft feature extraction and Recurrent Neural Network models for gesture recognition by instrumented gloves: A case for the Brazilian Sign Language alphabet. Biomedical Signal Processing and Control, 80, 104201, 2023.

Gökçe, F., Kekül, H. Turkish Sign Language word translator with microcontroller systems. European Journal of Science and Technology, 28, 972-977, 2021.

Kaya, F., Tuncer, A. F., Yıldız, Ş. K. Recognition of the Turkish Sign Language alphabet using a strain-sensor-based data glove. IEEE 26th Signal Processing and Communications Applications Conference, (2018).

Katılmış, Z., Karakuzu, C. Double-handed dynamic Turkish Sign Language recognition using Leap Motion with a meta-learning approach. Expert Systems with Applications, 228, 120453, 2023.

Kudrinko, K., Flavin, E., Zhu, X., Li, Q. Wearable sensor-based sign language recognition: A comprehensive review. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 14, 82–97, 2021.

Núñez-Marcos, A., Perez-de-Viñaspre, O., Labaka, G. A survey on sign language machine translation. Expert Systems with Applications, 213, 118993, 2023.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Orhanbulucu, F., Zengin, R., Kurt, F., Karadeniz, K., Ergüleç, M. E. Glove design assisting people with hearing and speech difficulties. European Journal of Science and Technology, 228-231, 2020.

Sümbül, H. A novel MEMS and flex-sensor-based hand gesture recognition and regenerating system using a deep learning model. IEEE Access, 12, 133685–133693, 2024.

Zhang, Y., Jiang, X. Recent advances in deep learning for sign language recognition. Computer Modeling in Engineering & Sciences, 139(3), 2024.

Zhou, Z., Chen, K., Li, X., Zhang, S., Wu, Y., Zhou, Y., Chen, J. Sign-to-speech translation using machine-learning-assisted stretchable sensor arrays. Nature Electronics, 3(9), 571–578, 2020.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

CONTRIBUTION OF METEOROLOGICAL INFORMATION AND WEATHER FORECASTS TO NEXT-DAY NO_2 FORECASTING IN MADRID: A CONTROLLED COMPARISON WITH OPEN DATA

Emre TURAN[1], Ömer Atılım KOCA[2], Murat UÇAR[3], Orhan ER[4]
[1] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0009-0003-5631-8675, emre.turan@bakircay.edu.tr
[2] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0009-0007-7286-6785, atilim.koca@bakircay.edu.tr
[3] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0000-0001-9997-4267, murat.ucar@bakircay.edu.tr
[4] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0000-0002-4732-9490, orhan.er@bakircay.edu.tr

ABSTRACT

Short-term forecasts of nitrogen dioxide (NO_2), a major urban air pollutant, support public health warnings. Rather than proposing a new model, this study uses a controlled experimental design to quantify the contribution of meteorological information and operational weather forecasts to next-day NO_2 forecasting. An open Madrid air-quality dataset released in April 2026 (24 stations, January 2025 – February 2026) was combined with ERA5 reanalysis and ECMWF IFS forecasts issued approximately 24 hours in advance. The feature sets compared were: past NO_2 and calendar information only (S1); S1 plus meteorology on the forecast issue day (S2); S1 plus the actual weather forecast for the target day (S4); the same variables from reanalysis (S3a); and S3a plus boundary layer height (S3). Hyperparameters for Ridge regression, Random Forest, XGBoost and LightGBM were selected by time-aware cross-validation on January–June 2025 only. The models were then evaluated monthly with an expanding window from July 2025 to February 2026 (5,499 observations). Three simple baselines were included, and differences were assessed with a 7-day moving block bootstrap and Holm-adjusted Diebold–Mariano tests. Persistence ("tomorrow = today"), the best baseline, yielded a mean absolute error (MAE) of 7.56 µg/m³. Models using only past NO_2 reduced this error by at most 10%. Adding the actual weather forecast reduced it substantially (XGBoost, S4: MAE 5.22 µg/m³; R^2 0.70; 31% improvement), a gain significant over S1 and S2 for all models. The difference between forecast and reanalysis meteorology was not significant for any model, and boundary layer height added no further skill. SHAP analysis showed that, besides past NO_2, forecast wind speed had the strongest association with model predictions. For this dataset, the gains in next-day NO_2 forecasting came mainly from target-day weather forecasts rather than from model complexity, and one-day forecast errors did not substantially reduce these gains.

Keywords: Nitrogen dioxide, air quality forecasting, numerical weather prediction, machine learning

1. INTRODUCTION

Nitrogen dioxide (NO_2) is an air pollutant emitted mainly by combustion sources, road traffic in particular, and is associated with respiratory diseases. In its 2021 air quality guidelines, the World

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Health Organization lowered the annual NO_2 guideline value from 40 µg/m³ to 10 µg/m³ and set a 24-hour guideline value of 25 µg/m³ [1]. The European Union's revised ambient air quality directive of 2024 likewise sets an annual NO_2 limit value of 20 µg/m³, applicable from 2030 [2]. In the data used here, the mean across Madrid's stations is 22.5 µg/m³, above both thresholds. As limit values become stricter, forecasting pollution episodes in advance and warning the public in time become increasingly important.

The processes that determine urban NO_2 levels are complex. Concentrations result jointly from emissions due to traffic and heating, from the photochemistry governing the $NO–NO_2–O_3$ cycle, and from the atmospheric dispersion conditions that dilute the pollutant. The influence of these processes is not linear and involves strong interactions: the same level of emissions can produce high concentrations on a day with weak wind and a shallow boundary layer, yet a much lower value on a windy, well-mixed day. The effect of meteorological variables therefore appears not as a sum of individual contributions but as a threshold-like and interdependent structure. Chemical transport models solve these processes with physical equations, but they require detailed emission inventories, substantial computing power, and extensive calibration [3]. For this reason, data-driven approaches have become increasingly common for short-term forecasting at the city scale [4, 5].

Machine learning methods are well suited to this class of problem for two reasons. First, they can learn non-linear and interacting relationships directly from data without building an explicit physical model; tree ensembles in particular can flexibly represent threshold behaviour and interactions between variables. Second, the data such models require are now freely and regularly available: measurements from urban monitoring networks, reanalysis data, and numerical weather prediction output are all published as open data. Indeed, methods such as random forests are widely used to separate the influence of meteorology on pollutant levels [6]. In this study, machine learning is used not only to improve predictive accuracy but as an experimental instrument that makes it possible to quantify the contribution of different types of information.

Madrid is one of the most extensively studied European cities with respect to NO_2 pollution. The effect of the city's low emission zone on NO_2 levels has been examined using both ground monitoring stations [7] and satellite observations [8]. On the forecasting side, artificial neural networks and sequence-to-sequence LSTM models have been applied to NO_2 forecasting in the Bay of Algeciras, Spain [9]. For Madrid, parsimonious data-driven models that rely only on open data and combine traffic counts near monitoring stations with meteorology have been shown to outperform existing solutions that depend on historical and/or proprietary data [10]. In recent years, interpretability has gained importance alongside predictive accuracy, and SHAP (Shapley Additive Explanations) has become a common tool for examining how meteorological variables and co-pollutants contribute to the predictions of air quality models [11, 12].

Nevertheless, three methodological issues are common in data-driven air quality forecasting studies. First, proposed models are often not compared with simple baselines, although in series with strong autocorrelation, such as daily NO_2, even a persistence model based on the assumption "tomorrow = today" can perform well. Second, observed meteorological values for the target day are frequently used as inputs, overlooking the fact that in a real forecasting setting these values would come from imperfect weather forecasts. Third, evaluation often relies on a single test period, and significance results are reported without accounting for temporal dependence.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The problem addressed in this study is the following: using information available during day t, forecast the daily mean NO_2 concentration on day t+1 for each of the 24 monitoring stations. The contribution of the study is not a new machine learning model. Instead, it uses a controlled experimental design that addresses the three issues above to separately quantify the contributions of (i) past pollution information, (ii) meteorology observed on the forecast issue day, (iii) an actual numerical weather forecast for the target day, and (iv) observed values of the same variables. This design allows the difference between "perfect" meteorology and an actual weather forecast, that is, the cost of one-day forecast error, to be quantified directly. The analysis uses a recent open Madrid air quality dataset released in April 2026; models are compared using an eight-month rolling-origin evaluation, against simple baselines, and with statistical tests that account for temporal dependence.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Air Quality Data

The study uses the dataset "Madrid air quality daily measurements and monitoring station metadata (2025–2026)", compiled from the Madrid City Council open data portal and published on Zenodo [13]. The dataset covers 1 January 2025 – 28 February 2026 (424 days) and contains daily mean values of 11 pollutants at 24 monitoring stations, together with station metadata (location, altitude, and station type). Of the stations, 9 are urban traffic, 12 are urban background, and 3 are suburban stations.

NO_2 was chosen as the target variable because it is the only pollutant measured at all stations, with an average data coverage of 98%; PM2.5, for example, is measured at only 12 stations. Measurements that had not passed official validation (105 NO_2 records, about 1%) were treated as missing. Over the study period, the mean NO_2 concentration across stations was 22.5 µg/m³; concentrations rise markedly in winter and decrease at weekends (Figures 1 and 2).

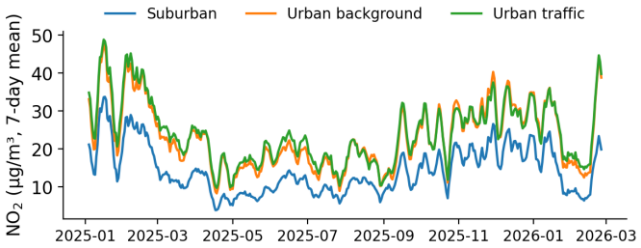


Figure 1. Daily NO_2 concentrations by station type (7-day moving average).

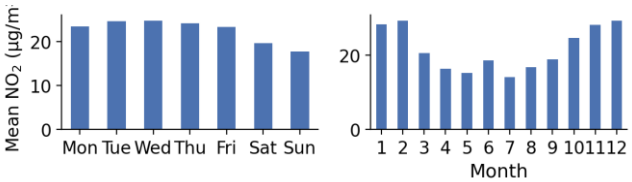


Figure 2. Mean NO_2 concentrations by day of week (left) and month (right).

2.2. Meteorological and Weather Forecast Data

ERA5 reanalysis [14] was used for observed meteorology, and previous runs of the ECMWF IFS model at 0.25° resolution were used as the actual weather forecast. Both datasets were obtained at hourly resolution for central Madrid through the Open-Meteo API [15]; the nearest grid point in both sources is 40.5° N, 3.75° W. The forecast data contain, for each hour, the forecast issued

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

approximately 24 hours before the valid time. The values for day t+1 therefore represent forecasts available during day t.

For a fair comparison, ERA5 and forecast data were aggregated from the same hourly variables to daily values using identical procedures. The 13 variables used are: mean, maximum, and minimum temperature; mean relative humidity; total precipitation (log-transformed); mean surface pressure and daily pressure change; mean cloud cover; mean and maximum wind speed; wind direction computed as a vector mean (sine and cosine components); and daily total solar radiation. Daily mean and maximum boundary layer height (BLH) are available only in ERA5, as this variable is not included in the forecast archive.

The accuracy of the forecast data relative to ERA5 is summarised in Table 1 for all 13 variables used in the models. Agreement is very high for mean and maximum temperature, surface pressure, and daily pressure change ($r \geq 0.995$), and high for minimum temperature and mean wind speed ($r = 0.98$ and $r = 0.92$, respectively; MAE 1.33 km/h for wind speed). Agreement is comparatively lower for the wind direction components ($r = 0.79$–0.80), and forecast cloud cover is systematically about 11 percentage points lower than ERA5.

Table 1. Accuracy of ECMWF IFS forecasts (issued approximately 24 hours ahead) relative to ERA5 daily values (1 January 2025 – 28 February 2026)

Variable	MAE	Mean bias (forecast − ERA5)	r
Mean temperature (°C)	0.88	−0.24	0.997
Maximum temperature (°C)	0.91	−0.44	0.995
Minimum temperature (°C)	1.14	0.08	0.984
Relative humidity (%)	5.22	1.66	0.971
Precipitation (log(1+mm))	0.20	0.01	0.904
Surface pressure (hPa)	0.31	0.15	0.998
Daily pressure change (hPa)	0.27	0.00	0.995
Cloud cover (%)	15.28	−11.14	0.866
Mean wind speed (km/h)	1.33	−0.11	0.919
Maximum wind speed (km/h)	2.32	0.05	0.849
Wind direction, sine component	0.30	0.13	0.803
Wind direction, cosine component	0.29	0.01	0.785
Solar radiation (MJ/m²)	1.17	0.11	0.983

2.3. Forecasting Task and Feature Sets

The task is to forecast, for each station, the daily mean NO_2 concentration on day t+1 using information available on day t. The base variables shared by all feature sets (16 variables) are: the station's NO_2 values on days t, t−1, and t−6 (t−6 corresponds to the same weekday as the target day); the 7-day mean NO_2; the city-wide mean NO_2 on day t; weekend, public holiday, and day-of-week indicators for the target day; and station type. Five feature sets were defined on top of these base variables:

S1 (16 variables): Base variables only.

S2 (31 variables): S1 together with ERA5 meteorology for day t (13 variables and BLH). Represents the weather conditions known on the forecast issue day.

S4 (29 variables): S1 together with the actual ECMWF weather forecast for day t+1 (13 variables). The operationally realistic scenario.

S3a (29 variables): S1 together with ERA5 values for day t+1 (the same 13 variables as S4). Represents a "perfect weather forecast".

S3 (31 variables): Formed by adding the BLH values for day t+1 to the S3a set.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

In this design, the difference between S2 and S4 measures the value of a target-day weather forecast, the difference between S4 and S3a measures the cost of one-day forecast error, and the difference between S3a and S3 measures the contribution of BLH beyond the other meteorological variables. All sets were compared on the same 9,461 observations for which all variables were available.

Preliminary experiments also included a day-of-year variable (sine–cosine). However, because the training data contain only one annual cycle, tree-based models effectively used this variable as a date identifier and memorised specific episodes from 2025; for example, in the S1 set the test MAE of XGBoost rose to 10.06 μg/m³. The day-of-year variable was therefore removed, and seasonal information was represented through lagged NO_2 and meteorological variables instead. Observations with any missing feature or target value were excluded from the analysis.

2.4. Baselines and Machine Learning Models

Three simple baselines were used: a persistence model, in which the forecast for day t+1 equals the observed value on day t; a weekly persistence model using the value from the same weekday one week earlier; and a model using the mean of the last 7 days. These were compared with four machine learning methods:

Ridge regression [16]: Variables were standardised and the regularisation coefficient was selected from the range 10^{-3}–10^{3}. It provides a linear reference point.

Random Forest [17]: 300 trees; tree depth, minimum observations per leaf, and the fraction of variables per split were selected by search.

XGBoost [18]: Number of trees, learning rate, depth, subsampling rates, and regularisation parameters were selected by search.

LightGBM [19]: Number of leaves, learning rate, number of trees, and subsampling rates were selected by search.

The three tree-based methods were chosen because they can represent non-linear and interacting relationships among the variables. Analyses were carried out in Python using scikit-learn [20], xgboost, lightgbm, shap, and statsmodels.

2.5. Hyperparameter Selection and Rolling-Origin Evaluation

To prevent information leakage into the test period, hyperparameters were selected using only observations with target dates in January–June 2025. Within this period, an expanding-window inner cross-validation was applied: April, May, and June 2025 were used in turn as validation months, each with all preceding data as the training set. For each model and feature set, the configuration minimising the mean MAE across the three validation months was selected. For Ridge, all 13 regularisation coefficients between 10^{-3} and 10^{3} were evaluated; for the tree-based models, 15 random configurations each were evaluated from the corresponding search spaces.

A rolling-origin evaluation was used for testing [21]. Each month from July 2025 to February 2026 was treated as a test fold, and the models were retrained in each fold on all data preceding that month. The training set contained 3,962 observations in the July fold and 8,835 in the February fold. The complete test set comprises 5,499 observations over 243 days, covering the summer, autumn, and winter seasons.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.6. Evaluation and Statistical Comparison

Model performance was measured with MAE, root mean square error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2). Skill relative to persistence was computed as Skill = 100 × (1 − MAE_model / MAE_persistence). The significance of differences between two models was assessed in two ways. First, 95% confidence intervals for MAE differences were obtained with a moving block bootstrap [22] in its circular form [23], in which the test days were resampled 2,000 times in circular blocks of 7 consecutive days. This preserves both the correlation among stations on the same day and the temporal dependence between consecutive days. Second, the Diebold–Mariano test [24] was applied to the series of daily mean absolute error differences, with the variance corrected for autocorrelation using a Newey–West estimator with 6 lags [25]. All comparisons were jointly adjusted for multiple testing using the Holm method [26], and differences with an adjusted $p < 0.05$ were considered significant.

Variable contributions were examined with SHAP values [12]. For this purpose, the tree-based model with the lowest test error in the S4 and S3 sets was refitted on all data, and SHAP values were computed on 2,000 randomly selected observations. SHAP values describe the relationships learned by the model and should not be interpreted as causal effects. Moreover, importance may be shared among correlated variables, or concentrated in one of them, depending on the model structure [27].

3. RESULTS

3.1. Overall Model Performance

Results for the eight-month test period are presented in Table 2 and Figure 3. Among the baselines, persistence performed best (MAE 7.56 µg/m³; R^2 0.36). Weekly persistence (MAE 11.33 µg/m³) and the 7-day mean (MAE 8.71 µg/m³) produced larger errors, so subsequent comparisons are made against persistence.

In the S1 set, which uses only the base variables, Ridge regression performed best (MAE 6.83 µg/m³; 9.7% skill), whereas LightGBM remained at almost the same level as persistence. Adding meteorology for the forecast issue day (S2) raised skill to 12.5–14.6%. When target-day meteorology was used, errors decreased markedly for all models. With the actual weather forecast (S4), XGBoost achieved the best result (MAE 5.22 µg/m³; RMSE 6.97 µg/m³; R^2 0.70; 30.9% skill), and LightGBM performed almost identically (MAE 5.23 µg/m³). The best MAE values obtained with observed meteorology (S3a, S3) were in the range 5.12–5.19 µg/m³, very close to S4.

Table 2. Model performance in the rolling-origin test period (July 2025 – February 2026, n = 5,499)

Model	Feature set	MAE (µg/m³)	RMSE (µg/m³)	R^2	Skill (%)
Persistence	–	7.56	10.22	0.36	0.0
Weekly persistence	–	11.33	14.86	−0.36	−50.0
7-day mean	–	8.71	11.30	0.21	−15.3
Ridge	S1	6.83	9.06	0.49	9.7
Random Forest	S1	7.10	9.37	0.46	6.0
XGBoost	S1	6.94	9.18	0.48	8.2
LightGBM	S1	7.46	9.94	0.39	1.3
Ridge	S2	6.45	8.41	0.56	14.6
Random Forest	S2	6.54	8.74	0.53	13.4
XGBoost	S2	6.53	8.71	0.53	13.6
LightGBM	S2	6.61	8.86	0.52	12.5
Ridge	S4	5.56	7.19	0.68	26.4
Random Forest	S4	5.54	7.40	0.66	26.7
XGBoost	**S4**	**5.22**	**6.97**	**0.70**	**30.9**
LightGBM	S4	5.23	6.94	0.70	30.8
Ridge	S3a	5.12	6.60	0.73	32.2

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Model	Feature set	MAE (µg/m³)	RMSE (µg/m³)	R^2	Skill (%)
Random Forest	S3a	5.42	7.23	0.68	28.3
XGBoost	S3a	5.14	6.88	0.71	31.9
LightGBM	S3a	5.32	7.13	0.69	29.7
Ridge	S3	5.27	6.85	0.71	30.3
Random Forest	S3	5.37	7.16	0.68	28.9
XGBoost	S3	5.20	7.07	0.69	31.1
LightGBM	S3	5.19	7.09	0.69	31.3

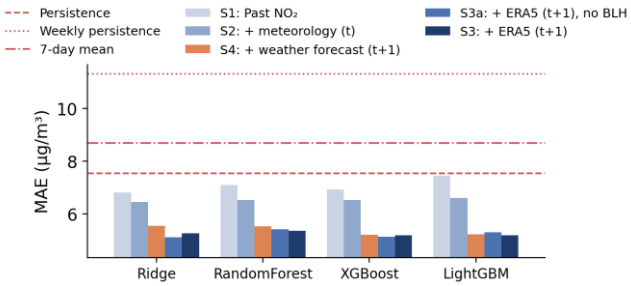


Figure 3. Test-period MAE of the models and feature sets. Horizontal lines show the baselines (BLH: boundary layer height).

3.2. Statistical Significance of Differences

Significance results for differences between feature sets are given in Table 3. After Holm adjustment, the improvement provided by the actual target-day weather forecast (S4) is significant for all four models relative to both S1 and S2 (adjusted $p \leq 0.008$). The advantage of S1 over persistence is only marginally significant, and only for Ridge regression (adjusted $p = 0.049$). The improvement of S2 over S1 is significant for Random Forest and LightGBM but not for Ridge and XGBoost, indicating that meteorology on the forecast issue day provides a limited, model-dependent contribution.

The difference between the actual weather forecast and observed meteorology (S4 − S3a) was not significant for any model. For the tree-based models this difference is below 0.12 µg/m³; for Ridge regression it is larger (0.44 µg/m³) but not significant after multiple-testing adjustment. Adding BLH (S3a − S3) did not produce a significant change for any model. In some cases a bootstrap confidence interval narrowly excludes zero while significance disappears in the Holm-adjusted test (e.g., Random Forest, persistence − S1), showing that unadjusted confidence intervals should not be interpreted on their own when multiple comparisons are made.

Table 3. MAE differences between feature sets (µg/m³), with 7-day moving block bootstrap 95% confidence intervals in brackets and Holm-adjusted Diebold–Mariano p-values after the semicolon. A positive "A − B" means B has lower error; values in bold are significant.

Comparison	Ridge	Random Forest	XGBoost	LightGBM
Persistence − S1	**0.73 [0.26, 1.21]; 0.049**	0.45 [0.01, 0.90]; 0.623	0.62 [0.16, 1.07]; 0.120	0.10 [−0.52, 0.70]; 1.000
S1 − S2	0.38 [−0.04, 0.78]; 0.676	**0.56 [0.18, 0.93]; 0.038**	0.41 [−0.05, 0.86]; 0.676	**0.84 [0.32, 1.38]; 0.025**
S2 − S4	**0.89 [0.41, 1.37]; 0.008**	**1.00 [0.53, 1.51]; 0.002**	**1.31 [0.74, 1.92]; <0.001**	**1.38 [0.85, 1.98]; <0.001**
S1 − S4	**1.27 [0.69, 1.79]; <0.001**	**1.57 [1.01, 2.13]; <0.001**	**1.72 [1.17, 2.28]; <0.001**	**2.23 [1.51, 2.96]; <0.001**
S4 − S3a	0.44 [0.02, 0.88]; 0.623	0.12 [−0.17, 0.43]; 1.000	0.08 [−0.24, 0.41]; 1.000	−0.09 [−0.38, 0.22]; 1.000
S3a − S3	−0.15 [−0.45, 0.17]; 1.000	0.05 [−0.15, 0.23]; 1.000	−0.06 [−0.32, 0.17]; 1.000	0.12 [−0.12, 0.36]; 1.000

3.3. Performance by Season, Month, and Station Type

Table 4 reports seasonal MAE values for XGBoost. The contribution of target-day meteorology is especially pronounced in autumn and winter: in autumn, the MAE of persistence was

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

8.56 µg/m³, compared with 5.72 µg/m³ for S4. In summer, NO_2 levels and variability are lower, so all models have lower errors; in this season the gap between S4 and S3 is slightly larger than in the other seasons.

Table 4. Seasonal test MAE (µg/m³) of persistence and XGBoost models

Model	Summer (Jul–Aug)	Autumn (Sep–Nov)	Winter (Dec–Feb)
Persistence	5.54	8.56	8.03
XGBoost (S1)	5.05	8.20	7.05
XGBoost (S2)	4.84	7.47	6.83
XGBoost (S4)	4.49	5.72	5.25
XGBoost (S3)	4.11	5.59	5.61

Figure 4 shows the evolution of monthly MAE. In November 2025 the error of persistence rose to 10.96 µg/m³, while that of XGBoost (S4) remained at 5.38 µg/m³. By station type, the MAE of XGBoost (S4) was 4.07 µg/m³ at suburban stations, 5.24 µg/m³ at urban traffic stations, and 5.49 µg/m³ at urban background stations; the corresponding values for persistence were 5.73, 7.53, and 8.03 µg/m³. The lower absolute error at suburban stations is mainly explained by the lower NO_2 levels there.

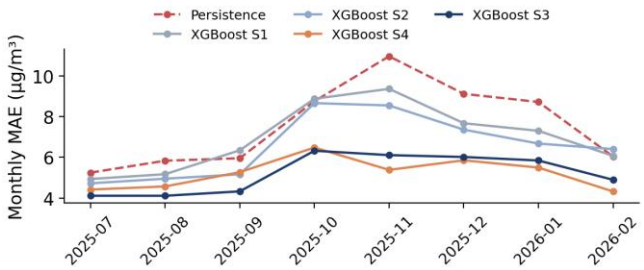


Figure 4. Monthly MAE of persistence and of XGBoost models trained with different feature sets.

3.4. Variable Contributions with SHAP

Figure 5 shows the SHAP summary plot for the XGBoost (S4) model. By mean absolute SHAP value, the variables most strongly associated with the model's predictions are, in order, the station's NO_2 value on day t (5.04 µg/m³), the forecast mean wind speed for the target day (3.83 µg/m³), the 7-day mean NO_2 (1.71 µg/m³), the forecast maximum wind speed (1.31 µg/m³), and the weekend indicator (1.18 µg/m³). In the model, higher forecast wind speed is associated with lower NO_2 predictions and lower wind speed with higher predictions. This pattern is consistent with the known physical role of wind in transporting and mixing pollutants; however, SHAP analysis alone does not demonstrate a causal effect.

How SHAP importance can be distributed among correlated variables is clearly illustrated by the S3 set, which includes BLH. In the best tree-based model for this set, LightGBM, mean BLH became the second most important variable after NO_2(t) (2.81 µg/m³), while the importance of mean wind speed fell to 1.99 µg/m³. Yet adding BLH did not significantly change the test error (Table 3, S3a − S3). The correlation between target-day mean wind speed and mean BLH is 0.49. These findings suggest that the high SHAP importance of BLH largely reflects information shared with wind and the other meteorological variables. SHAP rankings therefore answer the question "which variable carries which information in the model", whereas controlled experiments such as the comparison of S3a and S3 are more reliable for the question "which variable is indispensable".

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

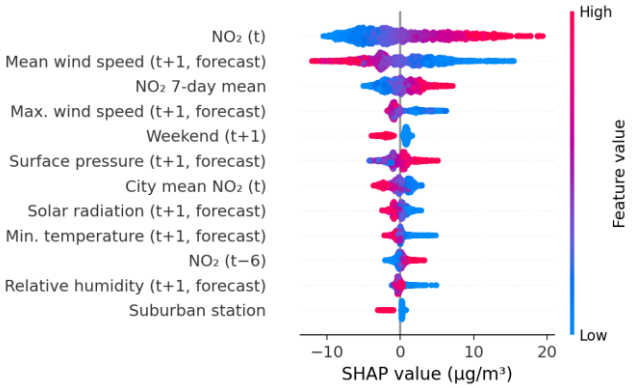


Figure 5. SHAP summary plot for the XGBoost (S4) model (12 most influential variables).

4. DISCUSSION

The results show that, for this dataset, the type of information matters more than model complexity in next-day NO_2 forecasting. Models using only past pollution information improved on persistence by at most 10%, and this gain remained only marginally significant, and only for Ridge regression, after multiple-testing adjustment. Tree-based models did not outperform the linear model in this set. This suggests that, owing to the strong autocorrelation of daily NO_2 series, most of the information in past values is already captured by persistence. The clearly poorer performance of weekly persistence compared with simple persistence also suggests that day-to-day variation is driven more by changing weather conditions than by the weekly traffic cycle. It is therefore important that studies reporting high accuracy are evaluated together with simple baselines.

The advantage of the tree-based models emerged only once meteorological information was added. In the S1 set the linear model performed best, whereas in the S4 set, which includes the target-day weather forecast, the two best results were obtained with XGBoost and LightGBM. This is consistent with the non-linear structure described in the introduction: because the influence of meteorology on NO_2 is threshold-like and interactive, flexible models are needed to represent it. When only past pollution information is provided, by contrast, there is little non-linear structure left to learn and flexible models offer no advantage.

The most important finding is that the actual weather forecast for the target day delivers almost all of the gain obtained with observed meteorology. ECMWF IFS forecasts issued approximately 24 hours ahead agreed closely with ERA5, particularly for wind speed and temperature (Table 1). Consequently, the cost of one-day forecast error to NO_2 forecasting skill was negligible for the tree-based models. The somewhat larger difference for Ridge regression may indicate that the linear model is more sensitive to forecast errors, although it is not statistically significant. From a practical perspective, this result indicates that a functional city-scale NO_2 early warning tool can be built by combining openly available weather forecast output with simple machine learning models. The limited contribution of meteorology on the forecast issue day (S2) suggests that air masses can change from one day to the next and that this change can be captured only with a forward-looking weather forecast.

The prominence of forecast wind speed in the SHAP analysis is consistent with the known role of wind in transporting and mixing pollutants. However, the S3 results show that SHAP importance can shift easily among correlated variables: BLH ranked highly in the SHAP analysis yet made no significant contribution to test error. SHAP results should therefore be interpreted as a

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

description of the relationships learned by the model, not as causal effects or evidence that a variable is indispensable [27].

This study has several limitations. First, the dataset covers only 14 months. Because hyperparameters were selected using January–June 2025 data, they may not be optimal for autumn and winter; indeed, for some sets the regularisation coefficient selected for Ridge fell at the boundary of the search range. The short training sets in the early test folds may also have reduced performance in the first months. Second, meteorological data were taken from a single grid point with a resolution of approximately 25–30 km and shared across all stations. Station-level meteorology was not used because the 24 stations fall within only four ERA5 grid cells; moreover, this approach would have confounded the comparison between the actual forecast and reanalysis with a location effect. Third, forecasts were taken from a single numerical weather prediction model with a lead time of approximately 24 hours, and S4 does not include BLH because this variable is absent from the forecast archive. Fourth, direct emission indicators such as traffic intensity, shown previously to be important, were not included [10]. Future work should use longer data periods, multiple forecast models and lead times, higher-resolution forecasts, and traffic data.

5. CONCLUSION

This study used an open Madrid air quality dataset released in April 2026, open reanalysis data, and actual numerical weather forecasts to quantify, through a controlled experimental design, the contribution of meteorological information to next-day station-level NO_2 forecasting. The main conclusions are:

Models based only on past NO_2 information improved on persistence by at most 10%, and this improvement was not significant for most models.

Meteorology on the forecast issue day provided a limited, model-dependent contribution.

The actual weather forecast for the target day yielded a significant improvement for all models, with the best result obtained by XGBoost (MAE 5.22 μg/m³; R^2 0.70; 31% skill).

The difference between the actual weather forecast and observed meteorology was not significant for any model; one-day forecast error does not substantially reduce the gain.

Boundary layer height, despite ranking highly in the SHAP analysis, made no additional contribution beyond the other meteorological variables.

These results indicate that weather forecast information is key for short-term NO_2 forecasting systems, that new models should always be compared with simple baselines and with tests that account for temporal dependence, and that SHAP findings should be supported by controlled comparisons. All data used in this study are openly available, and the analysis code can be shared for reproducibility.

REFERENCES

[1] World Health Organization, WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, World Health Organization, Geneva, 2021.

[2] European Parliament and Council of the European Union, Directive (EU) 2024/2881 of 23 October 2024 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (Recast), Official Journal of the European Union, L 2024/2881, 20 November 2024.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[3] Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C. and Baklanov, A., Real-Time Air Quality Forecasting, Part I: History, Techniques, and Current Status, Atmospheric Environment, 60, 632-655, 2012.

[4] Liao, Q., Zhu, M., Wu, L., Pan, X., Tang, X. and Wang, Z., Deep Learning for Air Quality Forecasts: A Review, Current Pollution Reports, 6, 4, 399-409, 2020.

[5] Masood, A. and Ahmad, K., A Review on Emerging Artificial Intelligence (AI) Techniques for Air Pollution Forecasting: Fundamentals, Application and Performance, Journal of Cleaner Production, 322, 129072, 2021.

[6] Grange, S.K., Carslaw, D.C., Lewis, A.C., Boleti, E. and Hueglin, C., Random Forest Meteorological Normalisation Models for Swiss PM10 Trend Analysis, Atmospheric Chemistry and Physics, 18, 9, 6223-6239, 2018.

[7] Salas, R., Perez-Villadoniga, M.J., Prieto-Rodriguez, J. and Russo, A., Were Traffic Restrictions in Madrid Effective at Reducing NO2 Levels?, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 91, 102689, 2021.

[8] Morillas, C., Alvarez, S., Pires, J.C.M., Garcia, A.J. and Martinez, S., Impact of the Implementation of Madrid's Low Emission Zone on NO2 Concentration Using Sentinel-5P/TROPOMI Data, Atmospheric Environment, 320, 120326, 2024.

[9] González-Enrique, J., Ruiz-Aguilar, J.J., Moscoso-López, J.A., Urda, D., Deka, L. and Turias, I.J., Artificial Neural Networks, Sequence-to-Sequence LSTMs, and Exogenous Variables as Analytical Tools for NO2 (Air Pollution) Forecasting: A Case Study in the Bay of Algeciras (Spain), Sensors, 21, 5, 1770, 2021.

[10] Kazemi, K., Vernet, A. and Fabregat, A., Using Open Data to Derive Parsimonious Data-Driven Models for Uncovering the Influence of Local Traffic and Meteorology on Air Quality: The Case of Madrid, Environmental Pollution, 383, 126691, 2025.

[11] Birinci, E., Ekmekcioğlu, Ö., Ozdemir, H. and Deniz, A., Interpretable Machine Learning Framework for Air Quality Prediction in Istanbul Using Shapley Additive Explanations (SHAP), Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 40, 2, 37, 2026.

[12] Lundberg, S.M. and Lee, S.-I., A Unified Approach to Interpreting Model Predictions, Advances in Neural Information Processing Systems 30, 4765-4774, Long Beach, 2017.

[13] Duaso Bellido, P. and Leandro Lopez, I., Madrid Air Quality Daily Measurements and Monitoring Station Metadata (2025-2026), Data Set, Zenodo, 2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.19462586

[14] Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., et al., The ERA5 Global Reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 730, 1999-2049, 2020.

[15] Zippenfenig, P., Open-Meteo.com Weather API, Computer Software, Zenodo, 2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.7970649

[16] Hoerl, A.E. and Kennard, R.W., Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems, Technometrics, 12, 1, 55-67, 1970.

[17] Breiman, L., Random Forests, Machine Learning, 45, 1, 5-32, 2001.

[18] Chen, T. and Guestrin, C., XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, San Francisco, 2016.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[19] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. and Liu, T.-Y., LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, Advances in Neural Information Processing Systems 30, 3146-3154, Long Beach, 2017.

[20] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., et al., Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830, 2011.

[21] Tashman, L.J., Out-of-Sample Tests of Forecasting Accuracy: An Analysis and Review, International Journal of Forecasting, 16, 4, 437-450, 2000.

[22] Künsch, H.R., The Jackknife and the Bootstrap for General Stationary Observations, The Annals of Statistics, 17, 3, 1217-1241, 1989.

[23] Politis, D.N. and Romano, J.P., A Circular Block-Resampling Procedure for Stationary Data, in: LePage, R. and Billard, L. (Eds.), Exploring the Limits of Bootstrap, Wiley, New York, 263-270, 1992.

[24] Diebold, F.X. and Mariano, R.S., Comparing Predictive Accuracy, Journal of Business & Economic Statistics, 13, 3, 253-263, 1995.

[25] Newey, W.K. and West, K.D., A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix, Econometrica, 55, 3, 703-708, 1987.

[26] Holm, S., A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure, Scandinavian Journal of Statistics, 6, 2, 65-70, 1979.

[27] Aas, K., Jullum, M. and Løland, A., Explaining Individual Predictions When Features Are Dependent: More Accurate Approximations to Shapley Values, Artificial Intelligence, 298, 103502, 2021.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REPRESENTATION BEFORE ARCHITECTURE: A CONTROLLED TIME-FREQUENCY AND CNN BENCHMARK FOR FOUR-CLASS RESPIRATORY SOUND CLASSIFICATION ON ICBHI

Ömer Atılım KOCA[1], Emre TURAN[2], Murat UÇAR[3], Orhan ER[4]

[1] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0009-0007-7286-6785, atilim.koca@bakircay.edu.tr
[2] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0009-0003-5631-8675, emre.turan@bakircay.edu.tr
[3] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0000-0001-9997-4267, murat.ucar@bakircay.edu.tr
[4] İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, ORCID: 0000-0002-4732-9490, orhan.er@bakircay.edu.tr

ABSTRACT

Respiratory sound classifiers depend on both the input representation and the network architecture, yet comparisons on a single representation may obscure how these choices interact. We examine this interaction on the ICBHI 2017 database by crossing four representations (log-mel, linear STFT, MFCC, and LFCC) with four convolutional backbones over three seeds, using the official train–test split, shared preprocessing and training settings, and random initialization. Representation accounts for 40.2% of the total sum of squares in test macro F1, architecture for 15.3%, and their interaction for 31.3%. A shallow CNN with 0.29 M parameters achieves the highest macro F1 on log-mel (0.405 ± 0.009; ICBHI score 0.478 ± 0.013), but its advantage over ResNet-18 reverses on MFCC. Both differences remain significant after correction across all 120 cell comparisons, the reversal has the same direction in every device and diagnosis subgroup, and it persists with 128 cepstral coefficients. These results support evaluating representation and architecture jointly rather than generalizing a backbone ranking from one front end.

Keywords: respiratory sound classification, ICBHI, convolutional neural networks, time-frequency representation, log-mel spectrogram, MFCC, crackle and wheeze detection

1. INTRODUCTION

Automated detection of crackles and wheezes could support more consistent interpretation of respiratory sounds, particularly where specialist expertise is limited. These events provide information relevant to pulmonary disease, but their recognition during auscultation depends on the listener's experience. The challenge is therefore to identify them reliably despite variation in recordings and patients.

The ICBHI 2017 respiratory sound database [1], [2] provides a shared setting for investigating this task. Classification approaches range from handcrafted spectral descriptors [3] to deep networks operating on time-frequency representations [4], [5], [6], [7]. Convolutional neural networks (CNNs) can exploit local spectrogram patterns, such as the short broadband transients associated with crackles and the narrowband ridges associated with wheezes. Their performance may

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

consequently depend on how the input representation organizes these patterns, not just on the network architecture.

This dependence is difficult to assess across studies that also differ in preprocessing, augmentation, training procedures, and data splits. Comparing backbones on a fixed representation controls some of this variation, but answers only which network performs best on that input. It does not establish whether the same ordering holds when the representation changes. We therefore ask whether convolutional backbone rankings are stable across time-frequency representations.

To answer this question, we vary representation and architecture in a full factorial design while holding the remaining experimental settings fixed. The study uses the official ICBHI train–test split and trains every model from random initialization. Its aim is to distinguish the two main effects from their interaction, rather than maximize the benchmark score. The contributions are:

- A benchmark crossing four time-frequency representations with four CNN backbones over three seeds, yielding 48 main runs under a shared protocol.
- A variance decomposition quantifying the contributions of representation, architecture, and their interaction to test macro F1.
- An analysis of the shallow CNN–ResNet-18 ranking reversal between log-mel and MFCC, with a 128-coefficient control examining the role of cepstral input dimensionality.
- Per-class, confusion-matrix, and subgroup analyses examining the combined crackle-and-wheeze class and the consistency of the reversal across devices and diagnosis groups.

2. RELATED WORK

Respiratory sound classifiers differ not only in architecture but also in how they represent and augment the input. Bahoura [3] evaluated feature-based methods for distinguishing normal and wheezing sounds. Following the release of the ICBHI database [1], [2], neural approaches included the bi-ResNet of Ma et al. [4] and RespireNet [5]. RespireNet addressed limited training data through device-specific fine-tuning, concatenation-based augmentation, blank-region clipping, and smart padding. Pham et al. [6] examined spectrogram type, time-frequency resolution, window overlap, and augmentation within a CNN–mixture-of-experts framework. Nguyen and Pernkopf [7] instead investigated transfer from pretrained ResNet backbones through co-tuning and stochastic normalization. Together, these studies motivate treating input processing and training strategy as integral parts of a model comparison.

Transformer-based methods also investigate how spectrogram information is used within a classifier. Bae et al. [8] combined a pretrained audio spectrogram transformer with Patch-Mix augmentation and a contrastive objective. He et al. [9] extracted differently sized patches from a mel spectrogram and combined their features through gated fusion. Whereas these methods change the processing of spectrogram information within the model, our study changes the front-end representation and measures its interaction with convolutional architecture.

The representations considered here draw on several areas of audio research. Log-mel spectrograms have been used with CNNs for audio classification [10], [11], while MFCCs originate from speech recognition [12]. LFCCs offer a linear-frequency alternative and have been compared with MFCCs for synthetic speech detection [13]. That comparison motivates examining alternative frequency scales, without assuming that its findings transfer to respiratory sounds. SpecAugment [14] provides a related approach to training augmentation through time and frequency masking.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Against this background, the present benchmark focuses on whether representation changes alter the relative performance of CNN backbones under otherwise shared conditions.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Dataset

Each annotated breathing cycle forms one example in the four-class classification task. The ICBHI 2017 database [1], [2] contains 920 recordings from 126 patients, acquired with several devices at multiple chest locations. Two binary annotations indicate the presence of crackles and wheezes, defining the classes *normal* (neither event), *crackle* only, *wheeze* only, and *both*. Normal cycles are the most frequent overall, whereas cycles containing both events are the least frequent (Table 1).

Table 1. Segment counts per class across the data partitions. The test partition is the official ICBHI test set.

Partition	Normal	Crackle	Wheeze	Both	Total
Train	1864	874	393	278	3409
Validation	199	341	108	85	733
Test	1579	649	385	143	2756
Total	3642	1864	886	506	6898

3.2. Data Split

All configurations use the same held-out test partition: the recordings assigned to the official ICBHI test set. Validation patients are selected from the official training pool, with no patient shared between training and validation. Selection is grouped by patient identifier without class stratification, so the class proportions differ between partitions. For example, crackle cycles outnumber normal cycles in validation (Table 1). This split is computed once and reused throughout the benchmark; validation macro F1 guides checkpoint selection and early stopping, while test scores support the final comparisons.

3.3. Shared Signal Pipeline

A shared signal pipeline keeps waveform preprocessing fixed across configurations. Recordings are converted to mono and resampled to 4 kHz. Each cycle is truncated or padded with trailing zeros to six seconds, then mean-removed and peak-normalized. The median annotated cycle duration is 2.5 s; the fixed window truncates 1.7% of segments and introduces an average padding fraction of 55%.

Short-time Fourier analysis uses a 512-point transform, a 512-sample Hann window, and a hop of 128 samples. Centered framing with reflection padding yields 188 frames per segment. The one-sided power spectrogram is computed without FFT normalization and restricted to 50–2000 Hz. Spectral and filter-bank powers are log-compressed as $\log(x+10^{-6})$, and each final representation is standardized with a per-segment z-score.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3.4. Time-Frequency Representations

The benchmark includes two spectral and two cepstral representations derived from the shared analysis. Log-mel contains the log energies of 128 HTK-scale mel filters without filter normalization (128 × 188). Linear STFT retains the log power spectrum within the selected frequency band (250 × 188).

Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) are obtained by applying an orthonormal type-II discrete cosine transform (DCT) to the 128-band log-mel representation and retaining 40 coefficients (40 × 188). Linear-frequency cepstral coefficients (LFCCs) apply the same procedure to a 128-filter linear-frequency bank (40 × 188). The two cepstral front ends therefore have equal filter and coefficient counts but different frequency spacing.

The spectral–cepstral comparison changes both the organization and the dimensionality of the input: spectral rows represent frequency, whereas cepstral rows represent coefficient index. An additional control examines the contribution of truncation by retaining 128 coefficients for both cepstral representations. Repeating these inputs across all four backbones and three seeds adds 24 control runs to the 48-run main grid, using the same split and training settings. Their results are considered separately in Section 4.2.

Training inputs receive Gaussian noise followed by SpecAugment-style masking [14]; validation and test inputs are not augmented. Noise with $\sigma = 0.01$ is added after z-score normalization. Two feature-axis masks and two time-axis masks have maximum widths of 10% and 12% of their respective axis lengths, rounded to the nearest integer. Each width is sampled uniformly from zero to its maximum, and each start position uniformly over valid locations. Masked entries are set to zero. Relative mask widths are matched across inputs, although masking frequencies and masking cepstral coefficients need not remove equivalent acoustic information.

3.5. Model Architectures

The model set spans compact custom CNNs and larger standard backbones, ranging from 0.29 M to 11.18 M parameters. The *shallow CNN* uses three blocks with 32, 64, and 128 channels. Each block contains two 3 × 3 convolutions, each followed by batch normalization and a SiLU (Swish) activation, and closes with spatial dropout (Dropout2d, p = 0.05, 0.10, and 0.15 for the three blocks, respectively) and 2 × 2 max pooling. Global average pooling, dropout with p = 0.30, and a linear four-class head give a total of 0.29 M parameters. The *deep CNN* adds a fourth block with 256 channels (p = 0.20) and a two-layer classifier with SiLU activation and dropout rates of 0.40 and 0.30, increasing the count to 1.21 M.

ResNet-18 [15] and EfficientNet-B0 [16] contain 11.18 M and 4.01 M parameters, respectively. For these backbones, a 1 × 1 convolution maps the single-channel input to three channels, and the original classifier is replaced with a four-class head. Their stride and pooling configurations are retained, with nominal total downsampling factors of 32, compared with 8 for the shallow CNN and 16 for the deep CNN.

The backbones also differ in downsampling schedule: ResNet-18 reduces resolution fourfold in its stem and EfficientNet-B0 twofold. The benchmark compares complete architectures rather than isolating such components, and all models use random initialization without pretrained weights.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3.6. Training Protocol

A common optimization and model-selection procedure is used for the main grid and the controls. AdamW [17] uses a learning rate of 3×10^{-4}, weight decay of 10^{-4}, batch size of 32, and mixed precision. Cross-entropy loss incorporates balanced class weights. Training lasts up to 80 epochs and stops after 12 epochs without improvement in validation macro F1. The checkpoint with the highest validation macro F1 is evaluated on the test set.

Each representation–backbone combination is repeated with seeds 42, 43, and 44. Scores are reported as mean ± population standard deviation across these runs, using denominator $n = 3$ (ddof=0) for both the main grid and the controls. The implementation uses Python 3.10 with PyTorch, torchaudio, and torchvision.

3.7. Evaluation Metrics

Macro F1 gives equal weight to all four classes and is the primary evaluation metric. The ICBHI score provides a complementary challenge measure. Its sensitivity term counts abnormal cycles assigned to the correct abnormal class, not simply detected as abnormal; specificity counts normal cycles classified as normal. The denominators are the total numbers of abnormal and normal cycles, respectively. The score is their arithmetic mean:

$$\text{Score} = \frac{\text{Sensitivity} + \text{Specificity}}{2} \quad (1)$$

Overall accuracy, balanced accuracy, weighted F1, per-class reports, and confusion matrices are also recorded for every run.

3.8. Statistical Analysis

The factorial design separates the effects of representation and architecture from their interaction. A balanced two-way analysis of variance (ANOVA) is fitted to the 48 main-run test macro F1 values, treating the three seed runs per cell as replicates. Each term is summarized by its F statistic, p value, and η^2, the ratio of its sum of squares to the total sum of squares.

The residual has 32 degrees of freedom and describes run-to-run variability on the fixed test partition, rather than uncertainty from sampling different patients. Inference assumes independent errors, common error variance, and approximate residual normality. With three replicates per cell, assessment of these assumptions is limited.

Pairwise comparisons use Tukey's honestly significant difference (HSD) procedure. The cell analysis compares sixteen groups of three runs, correcting across all 120 pairs using within-cell variability. Separate one-way analyses group runs by representation or architecture, giving four groups of twelve observations in each case. Their residuals include variation from the omitted factor and its interaction, so these marginal tests are distinct from adjusted main-effect comparisons in the two-way model. Correction is applied within each family, not jointly across the three families. Statistical analyses and classification metrics were reproduced with SciPy 1.11.1 and scikit-learn 1.3.0, respectively.

Subgroup analyses assess whether the direction of the ranking reversal is consistent across the test partition. Macro F1 is recomputed from stored per-segment predictions within each acquisition device and within the COPD and non-COPD groups. No retraining is required.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Variance Decomposition

Representation contributes more to the variation in test macro F1 than architecture, but its effect depends on the backbone. Across the evaluated grid (Table 2), representation accounts for 40.2% of the total sum of squares ($\eta^2 = 0.402$), architecture for 15.3%, and their interaction for 31.3%. The remaining 13.2% is within-cell run variability. Because the interaction exceeds the architecture main effect, a single average score cannot fully describe a backbone's performance across inputs.

All three ANOVA terms are significant: representation ($F(3,32) = 32.4$, $p = 8.2 \times 10^{-10}$), architecture ($F(3,32) = 12.3$, $p = 1.6 \times 10^{-5}$), and interaction ($F(9,32) = 8.4$, $p = 2.7 \times 10^{-6}$). The effect sizes describe the selected models and training protocol, rather than a general hierarchy of design choices.

Table 2. Test macro F1 and ICBHI score on the official split, as mean ± population standard deviation over seeds 42, 43, and 44. Bold marks the highest backbone score within each representation and the highest marginal means for each metric, not statistical significance. All models use random initialization and a shared protocol.

Backbone	Params (M)	Log-mel	STFT	MFCC	LFCC	Mean
Macro F1						
Shallow CNN	0.29	**0.405 ± 0.009**	0.364 ± 0.010	0.269 ± 0.012	0.293 ± 0.014	0.333
Deep CNN	1.21	0.388 ± 0.014	**0.365 ± 0.017**	0.330 ± 0.001	0.299 ± 0.018	**0.346**
ResNet-18	11.18	0.328 ± 0.003	0.344 ± 0.005	**0.344 ± 0.010**	**0.331 ± 0.026**	0.337
EfficientNet-B0	4.01	0.329 ± 0.020	0.307 ± 0.016	0.292 ± 0.020	0.288 ± 0.009	0.304
Mean		**0.363**	0.345	0.309	0.302	
ICBHI score						
Shallow CNN	0.29	**0.478 ± 0.013**	**0.432 ± 0.013**	0.326 ± 0.023	0.385 ± 0.029	0.405
Deep CNN	1.21	0.451 ± 0.021	0.426 ± 0.019	0.399 ± 0.012	0.374 ± 0.015	**0.412**
ResNet-18	11.18	0.401 ± 0.009	0.402 ± 0.015	**0.409 ± 0.007**	**0.397 ± 0.024**	0.402
EfficientNet-B0	4.01	0.400 ± 0.017	0.380 ± 0.029	0.360 ± 0.029	0.376 ± 0.032	0.379
Mean		**0.433**	0.410	0.374	0.383	

The representation averages favor spectral inputs: log-mel reaches 0.363 and STFT 0.345, compared with 0.309 for MFCC and 0.302 for LFCC. In the separate one-way Tukey analysis, neither log-mel versus STFT ($p = 0.54$) nor MFCC versus LFCC ($p = 0.97$) reaches significance. Each spectral–cepstral comparison does ($p \leq 0.037$, with $p \leq 0.0008$ for the log-mel comparisons). This pattern describes a separation between the two representation families under the current settings; it does not isolate mel warping from the other differences between their front ends.

Architecture averages are closer together. The deep CNN reaches 0.346, ResNet-18 0.337, the shallow CNN 0.333, and EfficientNet-B0 0.304, spanning 0.041. The separate one-way Tukey analysis resolves no pair at the 0.05 level; its smallest p value is 0.051 for the deep CNN versus EfficientNet-B0. As described in Section 3.8, these tests use a different error term from the two-way ANOVA. They do not establish backbone equivalence or negate the architecture main effect. The representation-specific comparisons below are therefore more informative than this marginal ordering.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The highest mean macro F1 comes from the smallest model: the shallow CNN on log-mel achieves 0.405 ± 0.009, with an ICBHI score of 0.478 ± 0.013. Its sensitivity is 0.603 and specificity 0.353. At 0.29 M parameters, it is smaller than ResNet-18 by a factor of 39, but this advantage does not extend to every representation.

4.2. The Interaction

The contrast between the shallow CNN and ResNet-18 makes the interaction clear: the shallow CNN leads on log-mel but trails on MFCC (Figure 1).

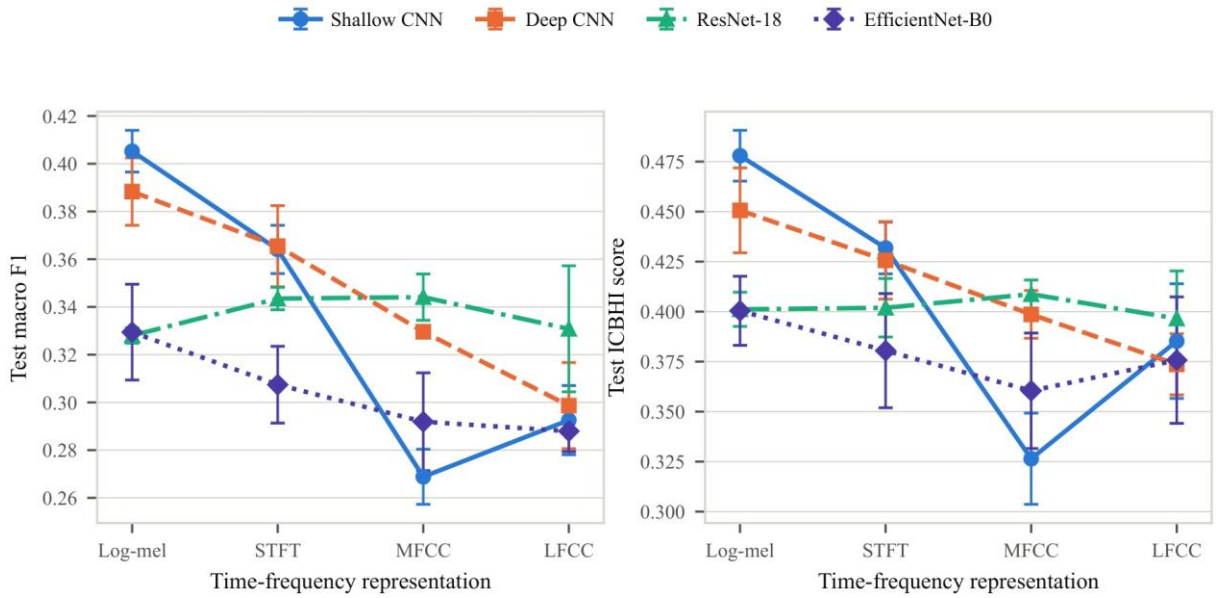


Figure 1. Representation-dependent backbone performance in macro F1 (left) and ICBHI score (right). Error bars show population standard deviations over three seeds. The compact CNNs decline from spectral to cepstral inputs, while ResNet-18 varies less and leads on MFCC and LFCC.

The compact CNNs are more sensitive to representation than the larger backbones. Shallow CNN macro F1 ranges from 0.405 on log-mel to 0.269 on MFCC, a difference of 0.136; the deep CNN spans 0.090. ResNet-18 varies by 0.016, on the order of its run-to-run variability, while EfficientNet-B0 spans 0.041. Thus, similar architecture averages conceal substantially different responses to changing the input.

Both directions of the shallow CNN–ResNet-18 reversal remain significant after correction across all 120 cell pairs. The shallow CNN leads by 0.077 on log-mel ($p = 6.4 \times 10^{-4}$), whereas ResNet-18 leads by 0.075 on MFCC ($p = 9.3 \times 10^{-4}$). Switching from log-mel to MFCC reduces shallow CNN macro F1 by 0.136 ($p = 9.2 \times 10^{-9}$), but changes ResNet-18 by only +0.016 ($p = 0.999$). ResNet-18 has the highest mean macro F1 on both cepstral inputs in the main grid; its STFT and MFCC means both round to 0.344.

Differences in the use of local structure offer one possible explanation. In a spectrogram, neighboring rows represent nearby frequencies; after the DCT, they represent cepstral coefficients instead, so a local 3 × 3 kernel combines different kinds of information in the two cases. The downsampling schedules described in Section 3.5 may also contribute. These observations motivate the locality hypothesis, but do not isolate receptive field, residual connections, or downsampling as its cause.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Increasing the cepstral input from 40 to 128 coefficients, which matches the log-mel input dimensions, does not remove the shallow CNN–ResNet-18 reversal. With 128 MFCCs, shallow CNN macro F1 increases by 0.011, from 0.269 ± 0.012 to 0.280 ± 0.010, remaining 0.125 below its log-mel result, while ResNet-18 reaches 0.337 ± 0.025 and retains its lead by 0.057 on MFCC and 0.030 on LFCC. Coefficient count nevertheless matters for other configurations: on LFCC, the deep CNN improves from 0.299 ± 0.018 to 0.376 ± 0.010, and EfficientNet-B0 from 0.288 ± 0.009 to 0.339 ± 0.006. The control therefore supports the specific shallow CNN–ResNet-18 comparison, not a claim that all backbone rankings are independent of input resolution.

Spectral inputs also sustain improvement for longer under the shared training schedule: the mean best epoch across backbones is 24.5 on log-mel and 25.4 on STFT, compared with 11.9 on MFCC and 12.1 on LFCC. Earlier plateaus describe convergence under this protocol; they do not establish that cepstral inputs contain less task-relevant information. Validation scores, near 0.60 for the best configuration, exceed the corresponding test scores, so all reported comparisons rely on held-out test results.

4.3. Robustness of the Interaction

The reversal could be influenced by the composition of the test set. Of the three acquisition devices represented, AKGC417L contributes 1836 of 2756 segments (67%); COPD patients account for 2409 segments (87%). Evaluating the same comparison within device and diagnosis groups helps assess whether its direction is confined to either dominant group (Table 3).

Table 3. Subgroup macro F1 for the shallow CNN and ResNet-18 on log-mel and MFCC, averaged over three seeds. The shallow CNN leads on log-mel and trails on MFCC in every evaluated subgroup. Values are descriptive; no subgroup significance tests are reported.

			Log-mel		MFCC	
Subgroup		**n**	**Shallow**	**ResNet**	**Shallow**	**ResNet**
Device	AKGC417L	1836	**0.421**	0.327	0.222	**0.328**
	Litt3200	461	**0.222**	0.199	0.186	**0.219**
	Meditron	459	**0.390**	0.299	0.263	**0.358**
Diagnosis	COPD	2409	**0.398**	0.325	0.249	**0.335**
	non-COPD	347	**0.327**	0.240	0.214	**0.282**
Pooled	—	2756	**0.405**	0.328	0.269	**0.344**

The shallow CNN leads on log-mel and trails on MFCC in all five subgroups. The direction of the reversal is therefore not restricted to the dominant device or diagnosis group. These values are descriptive means over three seeds, with no separate significance tests. The smaller groups, including the 347 non-COPD segments, warrant particular caution.

Absolute performance varies across these subsets. The highest of the four compared scores is 0.222 on Litt3200 and 0.421 on AKGC417L. Non-COPD scores are also consistently lower, by 0.035–0.085. Such differences motivate device-aware evaluation, as considered in RespireNet [5], but this analysis cannot separate acquisition effects from differences in patient and class composition.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4.4. Per-Class Analysis

Cycles containing both crackles and wheezes remain the most difficult class, with F1 no higher than 0.256 in the sixteen main-grid cells. Normal and crackle cycles generally receive higher scores. On log-mel, the shallow CNN obtains F1 values of 0.473, 0.510, 0.396, and 0.242 for normal, crackle, wheeze, and both, respectively; ResNet-18 obtains 0.476, 0.374, 0.258, and 0.205. The shallow CNN's macro F1 advantage therefore comes from the abnormal classes, while normal-class performance is similar.

The shallow CNN's decline on MFCC affects every class, with absolute F1 reductions of 0.119–0.150 relative to log-mel. Relative losses are greater for the rarer classes: wheeze loses 38% and the combined class 49%, while normal and crackle lose somewhat more than a quarter. On LFCC, combined-class F1 falls to 0.068, a 72% reduction from log-mel.

ResNet-18 instead redistributes performance across classes when switching from log-mel to MFCC. Normal-class F1 falls by 0.066, but crackle and wheeze increase by 0.069 and 0.064, and the combined class changes by no more than 0.003. The net macro F1 increase is 0.016. Across all backbones, mean combined-class F1 is 0.219 on log-mel, 0.184 on STFT, 0.160 on MFCC, and 0.139 on LFCC, following the representation marginal ordering.

The best configuration recognizes crackle cycles more reliably than normal cycles. Its confusion matrix, pooled over three seeds, gives crackle recall of 0.75 and normal recall of 0.35, with normal cycles most often predicted as crackle. This low normal recall corresponds to specificity of 0.353, compared with sensitivity of 0.603. Balanced class weighting may contribute to the prediction imbalance, but its effect is not isolated here. Combined-class recall is 0.27; 0.35 of those cycles are predicted as wheeze and 0.21 as crackle. The frequent confusion with single-event classes motivates examining a two-head, multi-label formulation.

4.5. Discussion

The interaction changes the practical interpretation of backbone comparisons. A model selected on log-mel need not remain preferable on MFCC, even when the split and training settings are unchanged. The subgroup results and coefficient-count control strengthen this observation for the shallow CNN–ResNet-18 comparison. They do not, however, identify a single architectural mechanism or explain differences among published studies with different protocols.

For low-parameter modeling, the shallow CNN on log-mel is a useful baseline: it combines the highest mean macro F1 with the smallest parameter count, 0.29 M. Its last-place ranking on MFCC shows why this recommendation must include the front end. Parameter count alone does not establish deployment efficiency, and the low specificity does not support a claim of readiness for clinical screening.

The conclusions are bounded by the evaluated models, representations, and protocol. The study compares configurations under one shared setup rather than optimizing each for maximum performance; pretraining, device-specific adaptation, ensembling, and per-cell tuning are excluded, so not every architecture is necessarily equally well tuned. Random initialization leaves open how image or audio pretraining would change the interaction, and transformer-based systems [8], [9] may respond differently. Three seeds on one test partition estimate run-to-run variability, not uncertainty across patient samples, and the 128-coefficient control tests only one alternative to the main cepstral setting.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

5. CONCLUSION

Backbone rankings in this benchmark depend on the input representation. Across four representations and four CNNs trained under a shared protocol, representation and its interaction with architecture each account for more variation in test macro F1 than architecture alone. The shallow CNN on log-mel gives the best result with 0.29 M parameters, achieving a macro F1 of 0.405 ± 0.009 and an ICBHI score of 0.478 ± 0.013. Its advantage over ResNet-18 reverses on MFCC and remains reversed with 128 cepstral coefficients.

Backbones should therefore be evaluated together with their front end rather than ranked on one representation alone. Pretraining and multi-label learning are natural next steps for testing the scope of this finding and addressing the difficulty with cycles containing both crackles and wheezes.

REFERENCES

[1] Rocha, B. M., Filos, D., Mendes, L., Vogiatzis, I., Perantoni, E., Kaimakamis, E., Natsiavas, P., Oliveira, A., Jacome, C., Marques, A., Paiva, R. P., Chouvarda, I., Carvalho, P. and Maglaveras, N., *A respiratory sound database for the development of automated classification*, Precision Medicine Powered by pHealth and Connected Health, Springer, Singapore, 33-37, 2018.

[2] Rocha, B. M., Filos, D., Mendes, L., Serbes, G., Ulukaya, S., Kahya, Y. P., Jakovljevic, N., Turukalo, T. L., Vogiatzis, I. M., Perantoni, E., Kaimakamis, E., Natsiavas, P., Oliveira, A., Jacome, C., Marques, A., Maglaveras, N., Paiva, R. P., Chouvarda, I. and Carvalho, P., *An open access database for the evaluation of respiratory sound classification algorithms*, Physiological Measurement, 40(3), 035001, 2019.

[3] Bahoura, M., *Pattern recognition methods applied to respiratory sounds classification into normal and wheeze classes*, Computers in Biology and Medicine, 39(9), 824-843, 2009.

[4] Ma, Y., Xu, X., Yu, Q., Zhang, Y., Li, Y., Zhao, J. and Wang, G., *LungBRN: A smart digital stethoscope for detecting respiratory disease using bi-ResNet deep learning algorithm*, IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 1-4, 2019.

[5] Gairola, S., Tom, F., Kwatra, N. and Jain, M., *RespireNet: A deep neural network for accurately detecting abnormal lung sounds in limited data setting*, 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 527-530, 2021.

[6] Pham, L., Phan, H., Palaniappan, R., Mertins, A. and McLoughlin, I., *CNN-MoE based framework for classification of respiratory anomalies and lung disease detection*, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 25(8), 2938-2947, 2021.

[7] Nguyen, T. and Pernkopf, F., *Lung sound classification using co-tuning and stochastic normalization*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 69(9), 2872-2882, 2022.

[8] Bae, S., Kim, J.-W., Cho, W.-Y., Baek, H., Son, S., Lee, B., Ha, C., Tae, K., Kim, S. and Yun, S.-Y., *Patch-Mix contrastive learning with audio spectrogram transformer on respiratory sound classification*, Interspeech 2023, 5436-5440, 2023.

[9] He, W., Yan, Y., Ren, J., Bai, R. and Jiang, X., *Multi-view spectrogram transformer for respiratory sound classification*, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 8626-8630, 2024.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[10] Hershey, S., Chaudhuri, S., Ellis, D. P. W., Gemmeke, J. F., Jansen, A., Moore, R. C., Plakal, M., Platt, D., Saurous, R. A., Seybold, B., Slaney, M., Weiss, R. J. and Wilson, K., *CNN architectures for large-scale audio classification*, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 131-135, 2017.

[11] Piczak, K. J., *Environmental sound classification with convolutional neural networks*, IEEE 25th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 1-6, 2015.

[12] Davis, S. and Mermelstein, P., *Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 28(4), 357-366, 1980.

[13] Sahidullah, M., Kinnunen, T. and Hanilci, C., *A comparison of features for synthetic speech detection*, Interspeech 2015, 2087-2091, 2015.

[14] Park, D. S., Chan, W., Zhang, Y., Chiu, C., Zoph, B., Cubuk, E. D. and Le, Q. V., *SpecAugment: A simple data augmentation method for automatic speech recognition*, Interspeech 2019, 2613-2617, 2019.

[15] He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J., *Deep residual learning for image recognition*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770-778, 2016.

[16] Tan, M. and Le, Q. V., *EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks*, 36th International Conference on Machine Learning (ICML), 6105-6114, 2019.

[17] Loshchilov, I. and Hutter, F., *Decoupled weight decay regularization*, International Conference on Learning Representations (ICLR), 2019.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MACHINE LEARNING BASED CLASSIFICATION OF DELIVERY STATUS IN COLD CHAIN LOGISTICS WITH FEATURE IMPORTANCE ANALYSIS

Mehmet Safa BİNGÖL

Nigde Omer Halisdemir University,

msbingol@ohu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4188-2025

ABSTRACT

Timely completion of deliveries in cold chain logistics is critical for preserving product quality and operational efficiency. Accurate prediction of delivery status can support proactive decision making and enable timely interventions throughout the logistics process. In this study, the predictability of delivery status (on time, at risk, delayed) via machine learning is investigated using a simulated cold chain dataset comprising 7000 observations and 34 attributes. The dataset incorporates environmental conditions, vehicle telemetry, route characteristics, and handling variables. The performance of five classification algorithms is evaluated, including logistic regression, decision tree, random forest, an RBF-kernel support vector machine, and a multilayer neural network. The experiments were conducted in MATLAB R2022 with an 80%-20% stratified train/test split. The highest performance was achieved by random forest, with 71.6% accuracy and a macro-F1 of 0.666, exceeding the majority class baseline by roughly 16 points. A feature importance analysis revealed that the delivery outcome is determined most strongly by in vehicle temperature and spoilage risk, followed by operational factors such as route flexibility and transit delay. The results show that environmental and product quality variables, together with route and time related factors, are more decisive than pure traffic congestion, and that ensemble methods are more robust for imbalanced class problems.

Keywords: Classification, cold chain logistics, delivery status prediction, feature importance, machine learning.

1. INTRODUCTION

Cold chain logistics refers to the temperature controlled storage and transportation of perishable products such as fresh produce, dairy, meat, and pharmaceuticals, and it plays a decisive role in preserving product quality, safety, and shelf life from the point of production to the point of consumption. Because these products are highly sensitive to fluctuations in temperature, humidity, and handling conditions, even minor deviations along the chain can lead to spoilage, quality loss, and considerable economic and environmental costs. In their systematic review of perishable food cold chain logistics, Zhang and Mohammad [1] emphasized that preserving product integrity while keeping operational costs under control remains one of the central challenges of the field. The growth

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

of e-commerce and global trade has further increased the complexity of these operations and intensified the need for reliable, data driven decision support [2].

Modern cold chains increasingly rely on real time monitoring through Internet of Things (IoT) sensors, which track environmental conditions throughout the transportation route to safeguard product integrity. Kumar [3] proposed an IoT based solution for monitoring pharmaceutical cold chains, whereas Giliberto et al. [4] developed a stochastic programming approach for the dynamic temperature control of refrigerated road transport. Although such systems provide valuable visibility, the large volume of sensor data they generate can only be fully exploited when it is coupled with predictive models that anticipate problems before they occur, allowing operators to intervene proactively rather than reactively.

Machine learning (ML) has therefore become a widely adopted tool for predicting quality and freshness related outcomes in the cold chain. Huang et al. [5] improved blueberry freshness prediction by combining ML with multisource sensing in cold chain logistics, and Luo et al. [6] proposed a K-medoids–LSTM–XGBoost ensemble to predict the cold chain loading environment for agricultural products. Guo et al. [7] introduced a temporal model on a cloud edge system for real time apple spoilage monitoring. Elmessery et al. [8] used cold chain analytics together with ensemble learning to estimate shelf life and export rejection risk for strawberry exports. Similar approaches have been applied to broader food quality assessment, including the work of Apostolopoulos et al. [9] on fruit quality evaluation and the hybrid CNN–LSTM model of Ghosh and Singh [10] for fruit freshness classification. Beyond product quality, Davila Novoa et al. [11] showed that ML forecasting can help address capacity shortages in cold chain planning.

A closely related line of research applies ML to predict delivery performance and disruption risk in supply chains. Ülkü Küp et al. [12] compared logistic regression, random forest, XGBoost, and CatBoost to predict delivery delays for an e-commerce logistics company, while Bassiouni et al. [13] developed deep learning approaches to identify order status in a complex supply chain. Douaioui et al. [14] proposed a deep learning model for late delivery risk prediction. Camur et al. [15] evaluated several regression models, including random forest and gradient boosting, to predict product availability dates under disruption. A number of studies have likewise addressed supply chain risk prediction using ensemble and hybrid ML models [16-18], generally reporting that tree based ensembles such as random forest and gradient boosting offer a favorable balance between accuracy and robustness. Ahmed et al. [19] additionally combined self organizing maps with a neural network to classify late delivery risk and to interpret the resulting predictions.

Across these studies, a small set of algorithms, including logistic regression, decision trees, random forest, support vector machines, and neural networks, recur as standard baselines, while two practical issues are repeatedly highlighted. First, model interpretability matters in logistics, because practitioners need to understand which factors drive a prediction before acting on it. Second, delivery and risk datasets are typically imbalanced, with delayed or high risk cases far less frequent than normal ones, which biases models toward the majority class. Techniques such as the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) and its variants have been proposed to mitigate this problem [20].

Despite this substantial body of work, most cold chain studies focus either on product quality and spoilage prediction or on generic delivery delay estimation. Comparatively few studies jointly classify the overall delivery status of a shipment while identifying which operational and

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

environmental factors most strongly determine that outcome. The present study addresses this gap by using a cold chain logistics dataset that combines environmental conditions, vehicle telemetry, route characteristics, and handling variables. Delivery status prediction is formulated as a three class classification problem (on time, at risk, delayed), and five widely used classifiers (logistic regression, decision tree, random forest, an RBF-kernel support vector machine, and a multilayer neural network) are compared. In addition, a feature importance analysis is conducted to determine which variables most influence the delivery outcome, and the effect of class imbalance on the performance of the individual classes is discussed.

2. MATERIAL AND METHODS

The dataset used in this study is a publicly available dataset that simulates cold chain transportation [21]. It comprises 7000 observations and 34 attributes. The attributes fall into four groups: (i) environmental conditions (in vehicle and warehouse temperature/humidity and their variability), (ii) vehicle and route information (vehicle age, cooling load, speed, engine load, fuel level, route distance, traffic and road condition), (iii) time and delay variables (planned and actual transit time and various delays), and (iv) product and handling variables (product sensitivity, freshness, spoilage risk, loading/unloading durations). The target variable is the three class delivery status (on time, at risk, delayed). The class distribution is imbalanced: 55% of deliveries are on time, 27% at risk, and 18% delayed. Class distribution of the target delivery status is given in Figure 1. In addition, 54.6% of the disruption level variable is missing; since these missing entries denote the absence of a disruption, they were treated as a “None” category. The percentage distributions of the categorical variables are presented in Table 1.

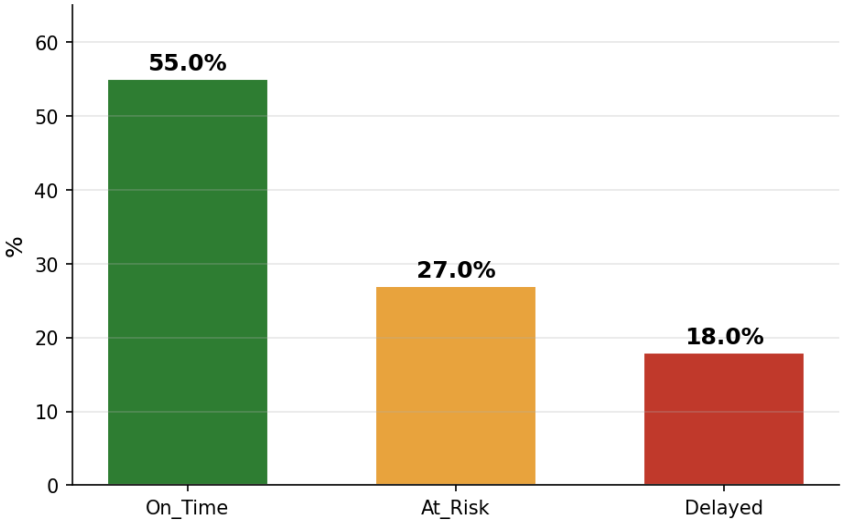


Figure 1. Class distribution of the target variable (delivery status).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Table 1. Percentage distributions of the categorical variables.

Variable	Category	Percentage (%)
Traffic Level	Medium	39.3
	Low	29.8
	High	23.9
	Severe	7.0
Road Condition	Good	51.9
	Moderate	34.9
	Poor	13.2
Delivery Urgency	Medium	35.8
	High	34.2
	Low	19.9
	Critical	10.1
Product Sensitivity	Medium	41.9
	Low	30.1
	High	28.0
Disruption Level	None	54.6
	Minor	25.3
	Moderate	15.2
	Major	4.9
Delivery Status (target)	On Time	55.0
	At Risk	27.0
	Delayed	18.0

Logistic regression is one of the simplest and most widely used classification methods, extending linear regression to categorical outcomes. Rather than predicting a continuous value, it estimates the probability that an observation belongs to a given class by passing a weighted combination of the input features through the logistic function, and it then assigns the observation to the most probable class. Because it is fast to train and easy to interpret logistic regression is commonly adopted as a baseline against which more complex models are compared [22].

A decision tree is a rule based model that classifies an observation by asking a sequence of simple questions about its features. Beginning at the root node, the data are repeatedly split according to the feature and threshold that best separate the classes, until the observations reach terminal leaf nodes that assign the final class. Decision trees are valued for their transparency, as the resulting if–then rules are easy to visualize and understand. They handle both numerical and categorical variables with little preprocessing. But a single tree tends to overfit the training data [23].

random forest is an ensemble method that overcomes the instability of a single decision tree by combining many of them. Each tree is trained on a different bootstrap sample of the data and on a random subset of the features, and the final prediction is obtained by majority vote across all trees. Averaging many decorrelated trees reduces variance and makes the model robust to noise and overfitting. So random forest generally attains high accuracy while also providing a ranking of

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

feature importance. For these reasons it is frequently applied to prediction and risk assessment problems in logistics and supply chains [18].

A support vector machine (SVM) is a classifier that seeks the boundary, or hyperplane, separating the classes with the widest possible margin, relying only on the most informative training points. SVM handles data that are not linearly separable by using a kernel function, such as the radial basis function (RBF) kernel. This kernel implicitly maps the inputs into a higher dimensional space where a linear boundary becomes possible. This makes the SVM effective for complex, nonlinear problems, although its performance depends on careful tuning of the kernel and regularization parameters [24].

Artificial neural networks are computational models inspired by the way neurons in the human brain process information. A multilayer perceptron (MLP) arranges these artificial neurons in successive layers, including an input layer, one or more hidden layers, and an output layer. Each neuron computes a weighted sum of its inputs and passes the result through a nonlinear activation function such as the rectified linear unit. By stacking several layers, the network can learn complex, nonlinear relationships between the input features and the target, which makes it well suited to prediction and classification tasks, at the cost of requiring more data and computation than simpler models [25].

3. SIMULATION RESULTS

The experiments were conducted in MATLAB R2022. The simulated cold chain dataset, comprising 7000 observations and 34 attributes, was preprocessed as follows: ordinal categorical variables (traffic level, road condition, delivery urgency, product sensitivity, and disruption level) were mapped to fully ordered numerical codes. The target is the three class delivery status (on time, at risk, delayed). The dataset was split into 80% training and 20% test partitions using stratified sampling to preserve the class distribution, and the random seed was fixed to 42 for reproducibility. Five classifiers were compared; for the SVM and the neural network the features were standardized to z-scores. The hyperparameters of the examined methods are summarized in Table 2.

Table 2. Hyperparameters and settings of the compared methods.

Method	Hyperparameters and Settings
Logistic Regression	ECOC (one-vs-all); linear learner, logistic loss
Decision Tree	CART; max. number of splits = 200; Gini criterion
Random Forest	Bagging (Bag); 200 trees; bootstrap sampling
SVM (RBF)	ECOC; RBF kernel; BoxConstraint = 1; KernelScale = 1; standardized
Neural Net (MLP)	Layers [64, 32]; ReLU; standardized; iteration limit = 500; LBFGS

The test set performance of the five models is reported in Table 3 and Figure 2. The highest performance was achieved by random forest, with 71.6% accuracy and a macro-F1 of 0.666, followed by logistic regression at 0.702 accuracy. However, the macro-F1 of logistic regression (0.585) is markedly lower than its accuracy, indicating a bias toward the majority class and weak

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

performance on the minority classes. Relative to the majority class baseline (55%), every model except the SVM exceeded this baseline. The RBF-kernel SVM trained with default hyperparameters remained exactly at the baseline (55.0% accuracy, 0.237 macro-F1), assigning all instances to the majority class on time and failing to distinguish the minority classes at all. This result illustrates the fragility of an untuned kernel SVM under class imbalance and the greater robustness of ensemble methods without any tuning.

Table 3. Test set performance of the models

Model	Accuracy	Precision (macro)	Recall (macro)	F1 (macro)
Logistic Regression	0.702	0.648	0.632	0.585
Decision Tree	0.656	0.593	0.585	0.587
Random Forest	0.716	0.683	0.657	0.666
SVM (RBF)	0.550	0.183	0.333	0.237
Neural Net (MLP)	0.649	0.607	0.607	0.606

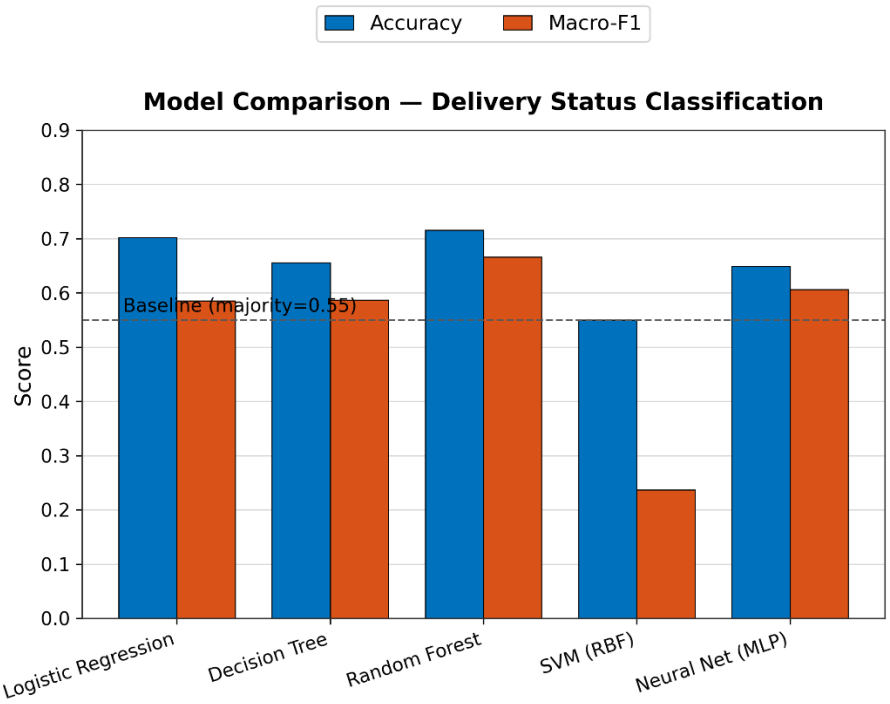


Figure 2. Accuracy and macro-F1 comparison of the models

The per class performance of the best model, random forest, is given in Table 4, and its confusion matrix in Figure 3. The model separates the on time class with high accuracy (recall 87.8%, F1 0.822) and achieves moderate performance on the delayed class (recall 68.3%, F1 0.718). In contrast, the most challenging class is at risk (recall only 41.0%, F1 0.458). The confusion matrix reveals that a substantial portion of at risk instances are misclassified as on time: 176 of 378 true at risk instances were assigned to on time. Operationally, this means that at risk deliveries may not be flagged early enough by the system, and this borderline intermediate class constitutes the most critical difficulty of the three class problem.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Table 4. Per class performance of the random forest model

Class	Precision	Recall	F1
On Time	0.773	0.878	0.822
At Risk	0.518	0.410	0.458
Delayed	0.758	0.683	0.718

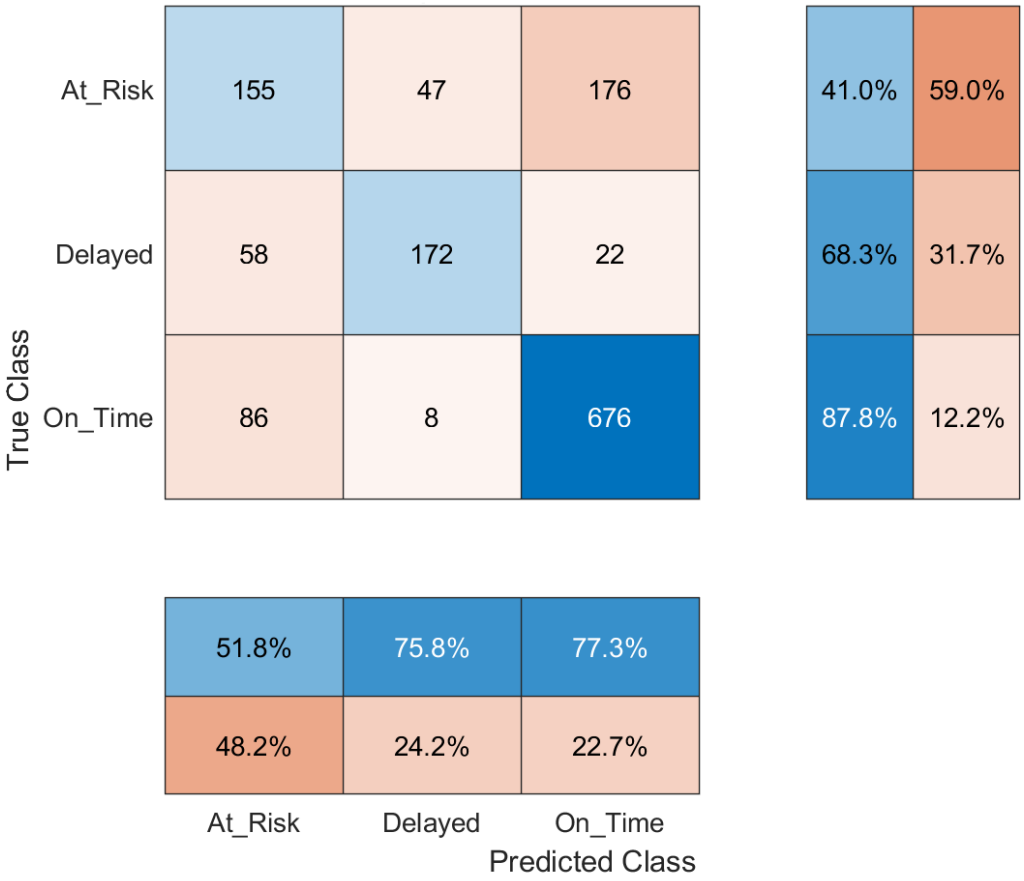


Figure 3. Confusion matrix of the random forest model

The random forest's impurity based feature importance was computed to interpret the model's decision mechanism and is presented in Figure 4.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

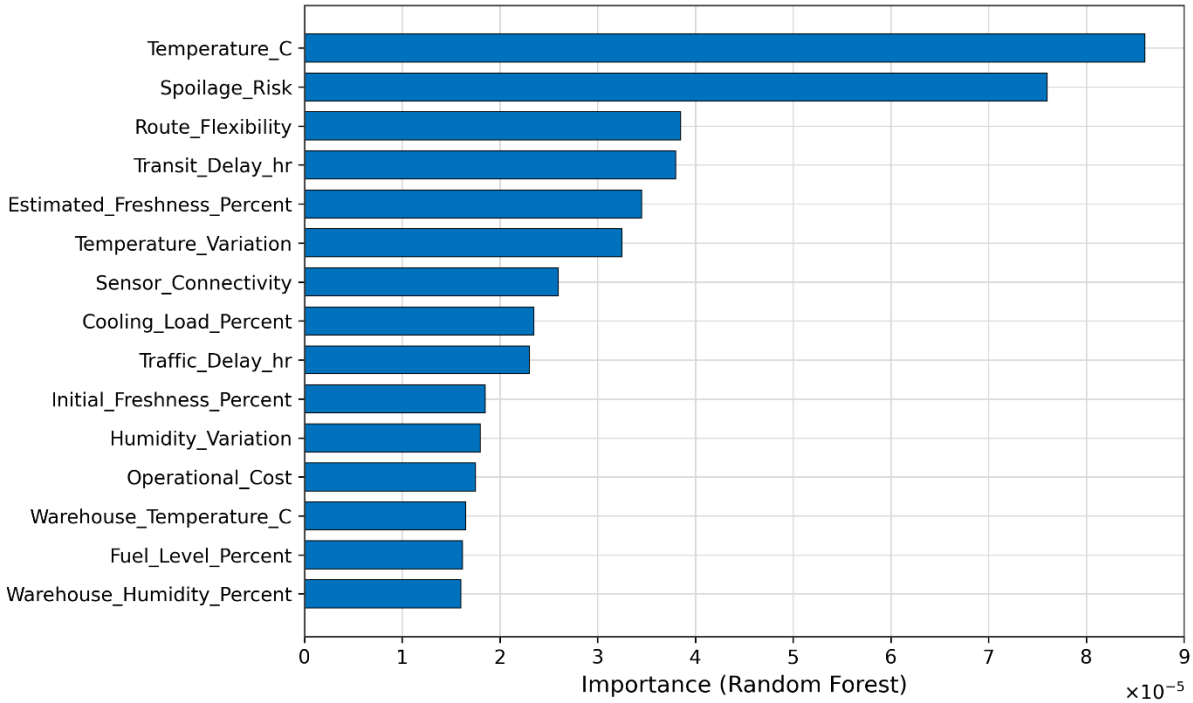


Figure 4. The 15 most important features identified by the random forest.

In the feature importance ranking presented in Figure 4, the top two positions are held, by a clear margin, by in vehicle temperature (Temperature C) and spoilage risk (Spoilage Risk), followed by route flexibility, transit delay, estimated freshness, and temperature variation. Notably, the two most influential variables are environmental and product quality in nature namely in vehicle temperature and spoilage risk whereas pure traffic congestion (traffic delay) ranks considerably lower. At the same time, operational and route related factors such as route flexibility and transit delay also appear among the strongest predictors, indicating that the delivery outcome is shaped by a combination of product condition and operational variables rather than by traffic conditions alone. This suggests that early warning systems should prioritize temperature and product quality monitoring while also accounting for route flexibility and transit time factors.

4. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

In this study, the predictability of delivery status was investigated on a simulated cold chain logistics dataset, and the model's decision mechanism was interpreted through a feature importance analysis. Among the five compared methods, random forest yielded the best and most balanced result, with 71.6% accuracy and a macro-F1 of 0.666, exceeding the majority class baseline by roughly 16 points. This demonstrates that environmental, vehicle, route, and handling variables carry meaningful predictive information about the delivery outcome. The method comparison clearly underlined the importance of model selection. Whereas bagged tree ensembles produced robust results without any hyperparameter tuning, the default configured RBF-SVM collapsed to the majority class and entirely missed the minority classes. This indicates that, for imbalanced class problems, tuning parameters such as box constraint and kernel scale is indispensable for kernel SVMs; otherwise, misleadingly high accuracy values may coincide with poor macro-F1.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The feature importance analysis revealed that the delivery outcome is determined most strongly by in vehicle temperature and spoilage risk, with operational factors such as route flexibility and transit delay also ranking highly, while pure traffic congestion was among the least influential variables. Accordingly, temperature and product quality monitoring should be prioritized, without neglecting route and transit time information. The per class analysis showed that the most critical difficulty is the borderline at risk class, which is frequently confused with on time. Operationally, such errors are costly because they may prevent at risk deliveries from receiving an early warning. Future work could aim to improve the recall of this class through cost sensitive learning, class weighting, or resampling techniques such as SMOTE.

References

[1] B. Zhang and J. Mohammad, "Sustainability of perishable food cold chain logistics: A systematic literature review," *SAGE Open*, 14 (3), **2024**.

[2] N. Rezki and M. Mansouri, "Machine learning for proactive supply chain risk management: Predicting delays and enhancing operational efficiency," *Management Systems in Production Engineering*, 32 (3), pp. 345–356, **2024**.

[3] V. Kumar, "A novel IoT based solution for cold chain monitoring in the pharmaceutical supply chain," in Proc. Tenth Int. Congress on Information and Communication Technology (ICICT), Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, **2025**.

[4] F. Giliberto, R. Paradiso, and D. Wozabal, "Stochastic programming for dynamic temperature control of refrigerated road transport," arXiv preprint arXiv:2504.15741, **2025**.

[5] W. Huang, X. Wang, J. Zhang, J. Xia, and X. Zhang, "Improvement of blueberry freshness prediction based on machine learning and multi-source sensing in the cold chain logistics," *Food Control*, 145, art. 109496, **2023**.

[6] Z. Luo, W. Liu, J. Wu, H. Aiqing, and J. Guo, "Prediction of cold chain loading environment for agricultural products based on K-medoids-LSTM-XGBoost ensemble model," *PeerJ Computer Science*, 10, art. e2510, **2024**.

[7] Z. Guo et al., "Kolmogorov–Arnold network-enhanced temporal models on cloud–edge system for real-time apple spoilage monitoring," *Food and Bioprocess Technology*, 19 (4), **2026**.

[8] W. M. Elmessery et al., "Machine learning-based prediction of post-harvest losses in Egyptian strawberry exports: Cold chain analytics, shelf-life estimation, and export rejection risk modeling," *Journal of Food Science*, **2026**.

[9] I. D. Apostolopoulos, M. Tzani, and S. I. Aznaouridis, "A general machine learning model for assessing fruit quality using deep image features," *AI*, 4 (4), pp. 812–830, **2023**.

[10] D. Ghosh and J. P. Singh, "A hybrid CNN-LSTM model for accurate fruit freshness classification using deep learning," *Discover Artificial Intelligence*, 6 (1), **2026**.

[11] L. R. Dávila Novoa et al., "Revolutionize cold chain: An AI/ML driven approach to overcome capacity shortages," *International Journal of Production Research*, 62, pp. 2190–2212, **2024**.

[12] B. Ülkü Küp, E. T. Küp, G. Koçak, A. D. Yücekaya, and M. Hekimoğlu, "Real-time prediction of delivery delay in supply chains using machine learning approaches," *SSRN Working Paper* 5062672, **2024**.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[13] M. M. Bassiouni, R. K. Chakrabortty, K. M. Sallam, and O. K. Hussain, "Deep learning approaches to identify order status in a complex supply chain," *Expert Systems with Applications*, 250, art. 123947, **2024**.

[14] K. Douaioui, R. Oucheikh, and C. Mabrouki, "Enhancing supply chain resilience: A deep learning approach to late delivery risk prediction," in Proc. 2024 4th Int. Conf. on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET), IEEE, **2024**.

[15] M. C. Camur, S. K. Ravi, and S. Saleh, "Enhancing supply chain resilience: A machine learning approach for predicting product availability dates under disruption," *Expert Systems with Applications*, 247, art. 123226, **2024**.

[16] G. Zheng, L. Kong, and A. Brintrup, "Federated machine learning for privacy preserving, collective supply chain risk prediction," *International Journal of Production Research*, 61 (23), pp. 8115–8132, **2023**.

[17] S. Sani, H. Xia, J. Milisavljevic-Syed, and K. Salonitis, "Supply chain 4.0: A machine learning-based Bayesian-optimized LightGBM model for predicting supply chain risk," *Machines*, 11 (9), art. 888, **2023**.

[18] Z. Xu, W. Ni, S. Liu, F. Wang, and J. Li, "Logistics supply chain network risk prediction model based on intelligent random forest model," *IEEE Transactions on Engineering Management*, **2023**.

[19] K. R. Ahmed, M. E. Ansari, M. N. Ahsan, A. Rohan, M. B. Uddin, and M. A. H. Rivin, "Deep learning framework for interpretable supply chain forecasting using SOM, ANN and SHAP," *Scientific Reports*, 15, art. 26355, **2025**.

[20] Y. Li, Y. Yang, P. Song, L. Duan, and R. Ren, "An improved SMOTE algorithm for enhanced imbalanced data classification by expanding sample generation space," *Scientific Reports*, 15, 23521, **2025**.

[21] Cold Chain Logistics Dataset, https://www.kaggle.com/datasets/datcolabssnet/cold-chain-logistics-dataset (Access Date: 07.09.2026)

[22] J. Faouzi and O. Colliot, "Classic machine learning methods," in Machine Learning for Brain Disorders (Neuromethods, vol. 197), O. Colliot, Ed. New York, NY, USA: Humana, pp. 25–75, **2023**.

[23] E. Helmud, F. Fitriyani, and P. Romadiana, "Classification comparison performance of supervised machine learning random forest and decision tree algorithms using confusion matrix," *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, 13 (1), pp. 92–97, **2024**.

[24] M. Kazemi, D. Moradkhani, and A. A. Alipour, "Application of random forest and support vector machine for investigation of pressure filtration performance, a zinc plant filter cake modeling," arXiv preprint arXiv:2307.14199, **2023**.

[25] A. Zhang, Z. C. Lipton, M. Li, and A. J. Smola, Dive into Deep Learning. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, **2023**. (Available: https://d2l.ai)

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DESIGN, IMPLEMENTATION, AND REAL-TIME REMOTE MONITORING OF A PORTABLE WATER QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS

EREN EMEN [1], HAYATİ MAMUR [2]

[1] Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, eren.emen58@gmail.com - ORCID ID: 0009-0008-5148-710X

[2] Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, hayati.mamur@cbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

In this study, an IoT-based portable embedded system was designed and prototyped to enable real-time and remote monitoring of water quality parameters. The system is centered around an Arduino board with an ATmega328P microcontroller, and consists of an analog pH sensor, an EC/TDS sensor, and a DS18B20 digital temperature sensor. Raw sensor data are denoised using Moving Average and Median filters, and then transmitted to the Google Firebase cloud database via the ESP8266 Wi-Fi module. The data are simultaneously presented to the user on an I^2C OLED display and in an Android mobile application developed with MIT App Inventor. The developed system offers a scalable solution that enables low-cost and uninterrupted monitoring of water quality in industrial and agricultural areas.

Keywords: Water quality, ATmega328P, Firebase, ESP8266, IoT.

1. INTRODUCTION

Water is the fundamental building block not only of biological life but also of agriculture, industry, and modern civilization. However, rapidly increasing industrialization, climate change, and environmental pollution threaten our clean water resources more and more each day [1]. The fact that traditional water quality measurement methods are dependent on laboratory environments, slow, and costly makes it difficult to respond immediately to pollution. Water is the most important raw material for both the continuation of vital activities and the sustainability of industrial production processes [2].

It is observed that traditional water analysis methods are generally based on sampling and chemical tests applied in a laboratory environment, and this situation remains insufficient in detecting instantaneous pollution changes [3]. In recent years, it has been observed that these traditional and slow systems are being replaced by Internet of Things (IoT)-based measurement stations that collect data instantaneously and transfer it to cloud servers over wireless networks [4]. The main purpose of this study is to accurately measure the three most fundamental values determining water quality—pH (acidity/alkalinity), electrical conductivity (EC), and temperature—without requiring human

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

intervention, and to develop a portable system that makes these data globally accessible through IoT technology.

2. MATERIALS AND METHODS

In the study, the Arduino Uno R3 board, which hosts the Atmel-produced ATmega328P microcontroller, was chosen as the central processing unit (CPU) and main decision mechanism of the system. Operating at a clock speed of 16 MHz this board undertakes the management of the sensor network with its 14 digital input/output pins and 6 analog input pins.

An analog pH sensor was added to the system to numerically measure the acidic or basic characteristics of water [5]. The sensor architecture consists of two main components. The sensitive glass electrode BNC connector probe immersed in water and the signal converter electronic board; the glass electrode reacts to the Hydrogen (H+) ion activity in the water, producing a weak potential difference at the millivolt (mV) level. The other is the signal converter board. This amplifies this weak signal and regulates it to a stable 0-5 V analog voltage range that the Arduino's analog-to-digital converter (ADC) pin can read. These signals, which are not factory-calibrated, are converted into meaningful pH (0-14) values thanks to the software-based two-point calibration algorithm developed within the scope of the project [6].

A 0.96-inch OLED display was used for the visualization of data in the system. The energy consumption of this display is quite low. With a resolution of 128×64 and the I^2C protocol, it uses fewer pins on microcontrollers. In the project, in addition to the cloud-based mobile application, a local interface was included in the system so that the user physically near the device could see the data simultaneously.

The DS18B20 sensor can perform 9- or configurable 12-bit readings over a single-wire interface. The use of DS18B20 is possible for temperature measurements of various indoor spaces, equipment, machinery, and liquid pools. Its stainless steel structure allows it to operate underwater as well [7].

The electrical conductivity of liquids changes directly with the ambient and liquid temperature, by approximately 2% for every 1°C increase. Based on this physical situation, it is mandatory to take the instantaneous temperature of the water as a reference so that the EC sensor can provide accurate results under all conditions [8]. For this purpose, a water-resistant stainless steel sheathed DS18B20 digital temperature sensor was preferred. This sensor, capable of measuring between -55°C and +125°C, uses the "One-Wire" communication protocol. The instantaneous temperature data obtained from the sensor is added as a multiplier to the conductivity equations in the Arduino, and measurement errors are prevented by providing "Temperature Compensation."

The analog conductivity sensor was used to detect the total dissolved solids (TDS) amount and ionic density in water [9]. The sensor used measures the water's capacity to conduct electrical current in microsiemens (µS/cm). As the pollution, minerals, and salinity ratio in the water increase, the conductivity value also increases.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The ESP8266 Wi-Fi module was used as the fundamental communication bridge combining traditional sensor nodes with IoT. The ESP8266 module is accepted as a standard gateway in wireless sensor networks (WSN) due to its integrated TCP/IP protocol stack, low power consumption, and high processing capacity [10]. The module connected to the network transfers the data it obtains directly to the Google Firebase Real-Time Database [11]. The Firebase system stores data in NoSQL-based JSON (JavaScript Object Notation) format, reducing the communication latency between the device and the server to the millisecond level. Thanks to the realized cloud architecture integration, the project transforms from being a closed-loop measurement device into an IoT system where data can be monitored globally in real-time, recorded, and synchronized with mobile platforms..

A special three-component power management architecture was designed so that the system can operate fully independently without being connected to a power outlet under industrial field conditions. The first is the 18650 Lithium-Ion battery. It is the main energy storage of the system. Thanks to its high charge cycle and high energy density, it allows the device to operate uninterruptedly for long hours. The second is the TP4056 lithium charging and protection module [12]. It ensures that the battery is safely charged via a standard 5 V USB adapter. It supports the constant current/constant voltage (CC/CV) charging algorithm. Thanks to the DW01 protection integrated circuit on it, it protects the battery against overcharge, over-discharge, and short-circuit situations, securing the system. The last is the MT3608 DC-DC voltage booster. The operating voltage of the lithium battery is in the range of 3.7–4.2 V. This is below the 5 V level required for the stable operation of the Arduino Uno and analog sensors. The MT3608 module intervenes and boosts the low voltage from the battery to a stable 5V level with high switching frequency, ensuring stable power supply to electronic components. Another regulator used in the system is the AMS1117-3.3V linear voltage regulator. The ESP8266 controller in the system operates with 3.3 V voltage. Since the Arduino Uno's internal 3.3 V output cannot meet the high instantaneous current demands of the ESP8266 during data transmission, it could cause crashes in the system. To overcome this problem, the AMS1117 regulator used precisely steps down the 5 V voltage from the MT3608 to 3.3V, providing high-current and noise-free energy to the communication module.

The fundamental software architecture of the system was built on the C language for hardware-level control of the ATmega328P microcontroller, reading sensor data, and applying mathematical algorithms such as moving average and temperature compensation. The compilation of the written algorithms into machine language and loading onto the board was done via the open-source Arduino IDE. Additionally, data were stored with the Google Firebase cloud database. Google Firebase is the NoSQL-structured Real-Time Database platform where data from the ESP8266 module are stored and authorized instantaneously. It is the cloud-based data storage material of the project. In another component of the system, MIT App Inventor was used. This is the Android application development environment preferred for the end-user to monitor water quality data instantaneously via their mobile device. Protecting the developed system from environmental effects is of critical importance. For this purpose, all hardware architecture of the system, such as the Arduino, ESP8266, power modules, and lithium battery, was placed inside a waterproof project box with an industrial-standard IP65 protection rating. Thanks to the sealing opened on the box, the cables of the pH, TDS, and

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

temperature probes and the charging input of the TP4056 module were safely transferred to the external environment. This hardware isolation allowed the device to operate fully autonomously outdoors, in agricultural fields, or right next to aquarium systems without creating any electrical hazard. The Proteus simulation circuit of the designed system is given in Figure 1.

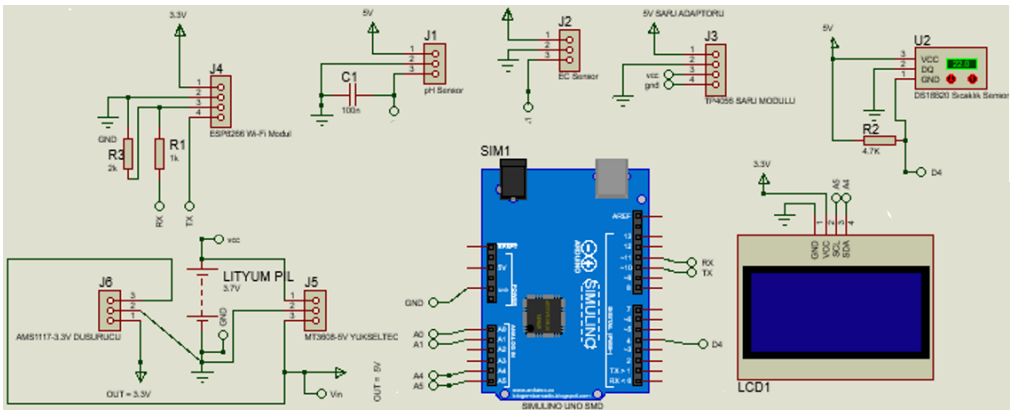


Figure 1. Designed Proteus simulation

The development methods followed for hardware power management, sensor data processing algorithms, and cloud integration were carried out as follows. A three-component power architecture was designed to ensure that the multi-layer power management and distribution system is portable without being dependent on a power outlet. The lithium-ion battery used as the energy source was subjected to safe charge/discharge control via the TP4056 module. The voltage obtained from the battery, in the range of 3.7–4.2 V, was boosted to the constant 5 V level required as a reference by the sensors and the Arduino, using an MT3608 DC-DC Boost converter. The 3.3 V and high current requirement of the ESP8266 Wi-Fi module was provided through an isolated line via the AMS1117 linear regulator fed from the 5 V line, thereby ensuring the stability of the system.

For signal processing and software-based filtering, the raw analog data obtained from the sensors were processed with "Moving Average Filter" and "Median Filter" algorithms running on the microcontroller in order to remove electrical noise. For the TDS sensor, a 10-element moving average was taken, and dynamic temperature compensation was applied using the temperature data obtained from the DS18B20 sensor. In acidity measurements, in order to prevent electrical fluctuations, a Median filter based on Bubble Sort was used, and the most stable median value was accepted as the reference.

In the system, the "delay()" functions were completely removed, and a "millis()"-based asynchronous task scheduler was created. Another process is the UART communication between the Arduino Uno, which carries out the data collection task, and the ESP8266 gateway module, which provides cloud transmission. This was achieved over virtual ports using the "SoftwareSerial" library. Thanks to this method, the hardware RX/TX pins were reserved only for firmware uploading and debugging processes, preventing data bus conflicts.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Another task that needed to be done was the design of the mobile application and website. MIT App Inventor was used for this. With the designed mobile application, data can be monitored instantaneously. It pulls the data from Firebase and displays it on the screen. The designed website also pulls the data from Firebase and presents all values with a simple interface. In addition, graphs and water quality interpretation information are also included within the site.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The designed and prototyped device was successfully operated in field tests, and it was observed that sensor calibrations yielded results with stability close to laboratory standards. The outputs of the device were simultaneously verified in three different interfaces. Both the computer and OLED screen showing data acquisition are given in Figure 2.



(a) **(b)**

Figure 2. Data acquisition: (a) computer screen and (b) OLED screen

The processed pH, TDS (in ppm), and temperature data were presented to the user in the physical environment through a smooth interface on the 0.96-inch I^2C OLED screen. Offset and font optimizations were made in the screen design to prevent data overflow, and a special degree symbol was designed for the temperature unit. Firebase cloud database transmission was carried out via the ESP8266 gateway. Data packets were written to the relevant nodes of the tree in JSON format. It was confirmed that the communication latency was at the level of milliseconds and that the system has an automatic Wi-Fi reconnection capability against disconnections. The Android-based mobile application developed using the MIT App Inventor platform connected to the Firebase server, pulled data at one-second intervals, and allowed the end-user to monitor water quality remotely via their smartphone. Additionally, data flow from the website was also established correctly.

4. CONCLUSION

An autonomous, IoT-based portable water quality tracking system, which also includes a website, was successfully designed and produced to enable real-time, high-accuracy, and remotely monitorable measurement of industrial, agricultural, or domestic water quality parameters. Unlike

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

traditional, manual, and laboratory-dependent water analysis methods; the developed hardware architecture has achieved a structure that can manage its own energy, filter sensor noise with mathematical algorithms, and perform temperature compensation. The transformation of the system from being a closed-loop device into a monitorable IoT station thanks to ESP8266 and Firebase integration is the greatest engineering achievement of the project. In future studies, a closed-loop control system can be developed by integrating autonomous dosing pumps and an additional turbidity sensor into the existing system, which would automatically add chemicals and correct the situation when the pH or TDS value of the water drops/rises. Furthermore, it is aimed to perform predictive analyses about the future state of water pollution by running machine learning algorithms on the collected cloud data.

REFERENCES

[1] Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. Sustainable water resources management, 2(2), 161-173.

[2] Giri, S., & Qiu, Z. (2016). Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. Journal of environmental management, 173, 41-48.

[3] Chen, J., Chen, S., Fu, R., Li, D., Jiang, H., Wang, C., ... & Hicks, B. J. (2022). Remote sensing big data for water environment monitoring: Current status, challenges, and future prospects. Earth's Future, 10(2), e2021EF002289.

[4] Essamlali, I., Nhaila, H., & El Khaili, M. (2024). Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review. Heliyon, 10(6).

[5] Singh, M., & Ahmed, S. (2021). IoT based smart water management systems: A systematic review. Materials Today: Proceedings, 46, 5211-5218.

[6] Saravanan, S., Guntuku, N., Akshaya, C., Prakash, B., Kumar, D. G., & Goud, P. C. D. (2023, July). A Novel Sensor based Water Quality Monitoring System using Internet of Things (IoT). In 2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC) (pp. 355-360). IEEE.

[7] Jan, F., Min-Allah, N., & Düştegör, D. (2021). IoT based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges for domestic applications. Water, 13(13), 1729.

[8] García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. Sensors, 20(4), 1042.

[9] Manoj, M., Dhilip Kumar, V., Arif, M., Bulai, E. R., Bulai, P., & Geman, O. (2022). State of the art techniques for water quality monitoring systems for fish ponds using iot and underwater sensors: A review. Sensors, 22(6), 2088.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[10] Ansari, S. A., & Vidyarthi, V. K. (2025). Use of Internet of Things in water resources applications: challenges and future directions: a critical review. Discover Internet of Things, 5(1), 96.

[11] Flores, R. R., & Domínguez, M. J. (2023, December). Contributions to reduce the gap on water quality analysis in Chile and Latin America: State of the art. In 2023 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON) (pp. 1-6). IEEE.

[12] de Oliveira, L. R., da Conceição, A. F., & Neto, L. P. (2018). Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias LoRa e LoRaWAN. Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC).

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REMOTELY CONTROLLED QUADCOPTER UNMANNED AERIAL VEHICLE PROTOTYPE FOR CARGO TRANSPORTATION SIMULATION

AYBARS AYAZ [1], HAYATİ MAMUR [2]
[1] Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering
ayazaybars19@hotmail.com - ORCID ID: 0009-0001-4810-5878
[2] Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering,
hayati.mamur@cbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT
In this study, the design and implementation of an unmanned aerial vehicle (UAV) capable of performing a domestic cargo transportation simulation was carried out. In the quadcopter system built on the F450 frame architecture, flight stability and control were provided through a flight controller configured with Betaflight software. The main controller of the system drives the brushless direct current (BLDC) motors via electronic speed controllers (ESC). A high-discharge-capacity Lithium Polymer (LiPo) battery was used for the UAV's flight endurance and power management. The system is manually controlled via a remote control ground control unit. The carrying of the cargo package and its release at the target point were performed by a servo motor mechanism integrated into the system. As a result, a UAV platform with a stable, remotely controlled, and electromechanical cargo release system capable of fast transportation in the logistics sector was successfully developed.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Cargo Transportation, Quadcopter, BLDC Motor, ESC, LiPo Battery, Servo Motor, Betaflight.

1. INTRODUCTION

The logistics and cargo sector today requires new technologies in terms of speed and accessibility. Especially in heavy urban traffic or hard-to-reach regions, the transportation of critical and urgent cargo such as medical supplies and urgent documents may be delayed by traditional methods [1]. This situation brings the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to the forefront as an alternative and dynamic solution in transportation [2].

In this study, a quadcopter UAV platform that can be controlled by remote control was developed in order to simulate cargo transportation processes. Within the scope of the study, a stable flight platform was obtained by using the F450 frame structure, high-efficiency brushless direct current (BLDC) motors, electronic speed control (ESC) calibration processes, and Lithium Polymer (LiPo) battery management systems. In addition, a servo motor mechanism

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

triggered via the remote control was included in the system so that the carried load could be safely released at the target point [3].

2. MATERIALS AND METHODS

The F450 frame is a ready-made quadcopter skeleton with a 450 mm motor-to-motor wheelbase, manufactured from lightweight and mechanically stress-resistant composite materials [4]. It provides suitable mounting areas for the balanced placement of electronic components, the battery, and the cargo mechanism. The F450 UAV frame structure is given in Figure 1a. A servo motor was used in the system to securely hold the cargo package during flight and to release it at the target area. The rotation angle of the servo motor and the command to trigger the mechanism are directly controlled via a switch channel on the remote control [3]. The propulsion system is given in Figure 1b.



(a) **(b)**

Figure 1. UAV (a) F450 frame structure and (b) propulsion system

The main component of the system is the flight controller and its software, which provide flight stability and balance. It processes the data received from its sensors (gyroscope and accelerometer) and sends instantaneous PWM signals to the motors. The Betaflight interface and software architecture were used for the calibration of the board and the adjustment of flight dynamics [5].

The lift force required by the UAV is generated by BLDC motors with a high power-to-weight ratio. The speeds of the motors are controlled by the ESC, which processes the signals coming from the flight controller [4]. For stable flight, the throttle calibration of all ESCs was performed.

A LiPo battery with an appropriate cell count (S) and discharge (C) rating was used to meet the high current demand of the system [4]. The direction, speed, and cargo release commands of the UAV are transmitted via a remote control and receiver system communicating by radio frequency (RF) [6].

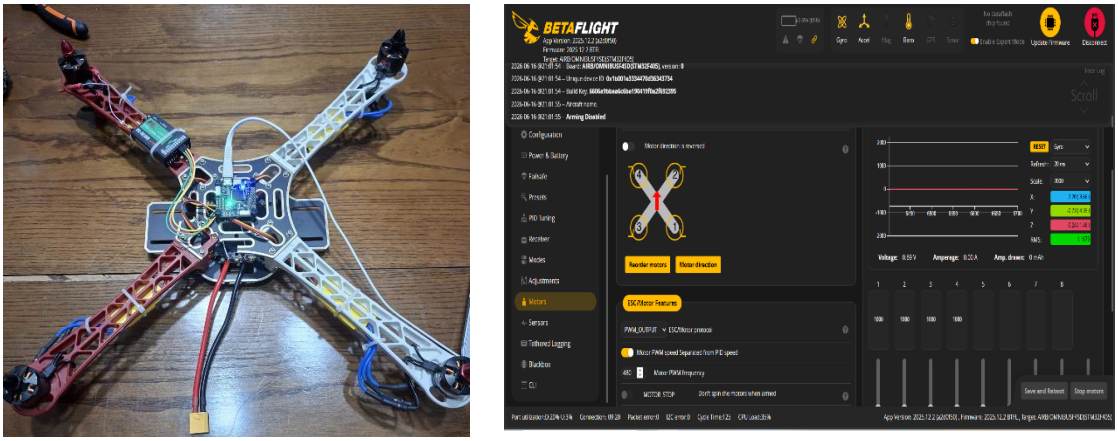
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The electrical and mechanical assembly of the developed cargo UAV system was carried out on a ready-made F450 frame such that the center of gravity (CoG) remained exactly in the middle [4]. The flight controller was positioned on the center plate of the frame, while the BLDC motors and ESCs were fixed to the arms. Energy flow to the entire system was safely provided through the power distribution board (PDB).

The cargo carrying and release mechanism was integrated with a servo motor at the lower part of the frame. In the software process, sensor and remote control calibrations were performed by connecting to the Betaflight interface [5]. A specific channel (AUX) coming from the remote control was mapped to trigger the servo motor. Thus, when the pilot brings the UAV to the cargo release point, they use the switch on the remote control to rotate the servo motor and release the cargo by opening the mechanism [3].

3. RESULTS AND DISCUSSION

When the designed and assembled cargo UAV was tested, the stability of the system was verified through the ground control software Betaflight interface and the physical flight tests performed. In the software interface, the transitions of the Roll, Pitch, Yaw, Throttle, and AUX control channels were tested, and it was observed that the channel triggering the servo motor operated without any problems [5]. In the manual flight tests performed, the stability of the UAV under cargo load and its responses to remote control commands were examined [4]. During the test process, the designated cargo package was placed in the mechanism, the UAV was lifted off with the remote control, and when it reached the target point, the cargo package was observed to be successfully released at the target area by moving the servo motor with the signal sent from the remote control. The appearance and software of the developed cargo UAV system are given in Figure 2.



(a) **(b)**

Figure 2. The developed cargo UAV system (a) appearance and (b) Betaflight software

4. CONCLUSION

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

With this study, a domestic cargo transportation UAV prototype with a servo motor mechanism that can be controlled by remote control was successfully realized. In the test flights performed, it was observed that the quadcopter system gave stable responses to manual commands even under additional cargo load, and the mechanism was able to release the cargo to the target region without any problems. In order to further develop the device and bring it to industrial standards, some additions can be made in future studies. For example, autonomous flight and return-to-launch (RTL) capabilities can be added by including a global positioning system (GPS) module in the system, or an advanced ground control station integration equipped with telemetry screens can be provided.

REFERENCES

[1] Thiels, C. A., Aho, J. M., Zietlow, S. P., & Jenkins, D. H. (2015). Use of unmanned aerial vehicles for medical product delivery. Air Medical Journal, 34(2), 104-108..

[2] Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Idries, A., & Mohammed, F. (2014). Unmanned aerial vehicles applications in logistics. In 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (pp. 1307-1319). IEEE.

[3] HosseinNia, S. H., Tejado, I., & Vinagre, B. M. (2013). Fractional-order reset control: Application to a servomotor. Mechatronics, 23(7), 781-788.

[4] F450 Quadcopter. (2022). F450 Frame Kit User Manual and Technical Specifications. (Web page). https://www.dji.com (Access date: 16.06.2026).

[5] Betaflight. (2024). Betaflight Open Source Flight Controller Firmware. (Web page). https://betaflight.com (Access date: 16.06.2026).

[6] Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Mercer, J., Jung, J., & Robinson, J. (2016). Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations. In 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (p. 3582).

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SUSTAINABLE HYBRID LAMINATES WITH CARBON AND CHICKEN FEATHER FIBER INTERLAYERS: EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF MECHANICAL PROPERTIES

Prof. Dr. AHMET DEMİRER

[1]Sakarya University of Applied Sciences,Faculty of Technology,Department of Mechanical Engineering, 54100, Sakarya, Turkey, ademirer@subu.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1252-9203

Prof. Dr. Ayhan EROL

[2]Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Metallurgy and Materials Engineering, Ahmet Necdet Sezer Campus, Afyonkarahisar/Turkey, aerol@aku.edu.tr

ORCID: 0000-0003-4215-9303

Prof. Dr. Ahmet YÖNETKEN

[3]Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Mechatronics Engineering, Ahmet Necdet Sezer Campus, Afyonkarahisar/Turkey, yonetken@aku.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1844-7233

Assoc. Prof. Dr Günnur PEŞMEN

[4]Afyon Kocatepe Üniversitesi, Şuhut Meslek Yüksekokulu, Laborant Veteriner Sağlık Bölümü, Afyonkarahisar/Turkey gpesmen@aku.edu.tr

ORCID: 0000 0002 9164 6629

ABSTRACT

This study comparatively examines the lightweight and strength performances of carbon fiber and chicken feather fiber (CF)-reinforced hybrid composites for use in light aircraft fuselage structures. Within the scope of the research, laminate structures were fabricated by maintaining four layers of carbon fiber as the outer skins, while incorporating CF fibers in the interlayer and carbon fiber particles as a control group in the core. The specimens were prepared within an epoxy matrix using the hand lay-up method and cured at room temperature followed by oven post-curing. For mechanical characterization, ISO 527-2 tensile and ISO 180 Izod impact tests were performed. Experimental results demonstrated that CF-reinforced composites achieved an 5.77% reduction in total weight and offered a 79.57% improvement in specific impact strength compared to the carbon particle-reinforced group. The findings prove that chicken feathers, as

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

a sustainable bio-waste, hold high potential as a low-cost and lightweight alternative reinforcement element for light aircraft (UAV) fuselages.

Keywords : Epoxy Resin, Carbon Fiber, Hand Lay-up Method, Chicken Feather Fiber, UAV Fuselage Material.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE STRESS RELIEF ON THE ELECTROCHEMICAL CORROSION BEHAVIOR OF ADDITIVELY MANUFACTURED 316L STAINLESS STEEL

Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR
Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCİD: ID/0000-0002-9141-9514,
hilmi.tekdir@erzurum.edu.tr

Prof. Dr. Tuba YETİM
Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCİD: ID/0000-0002-6237-6412
tuba.yetim@erzurum.edu.tr

Abstract

The Laser Powder Bed Fusion (LPBF) provides remarkable capabilities for fabricating complex AISI 316L stainless steel components. However, the extreme thermal gradients inherent to the layer-by-layer melting process inevitably generate severe internal residual stresses. These accumulated localized strains often act as active initiation sites for structural degradation, directly compromising the chemical stability of the printed parts. This study systematically investigates the effect of a low-temperature stress relief heat treatment on the structural characteristics and electrochemical corrosion resistance of LPBF-produced 316L stainless steel. Prismatic specimens (20 × 20 × 3 mm^3) were manufactured and subsequently annealed at 350 °C for 2 hours in a highly controlled argon atmosphere to strictly avoid surface oxidation. The microstructural and mechanical evolutions of both the as-built (AB-316L) and heat-treated (HT-316L) groups were evaluated using X-ray diffractometry (XRD), Vickers micro-hardness testing, and residual stress analysis. To assess the chemical degradation tendency, comprehensive electrochemical experiments, including open circuit potential (OCP), potentiodynamic polarization (Tafel), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS), were performed in a 3.5 wt.% NaCl solution. Initial characterization confirmed that the thermal exposure successfully relaxed the process-induced tensile residual stresses from 88 ± 5 MPa down to 30 ± 3 MPa. As a direct consequence of this structural recovery and partial dislocation annihilation, the surface microhardness exhibited a moderate decrease from 270 ± 12 $HV_{0.1}$ to 225 ± 10 $HV_{0.1}$. More importantly, the electrochemical test results demonstrated that the HT-316L samples exhibited superior corrosion resistance compared to the untreated counterparts. By alleviating the internal macro-strains and reducing the density of structural defects, the driving force for anodic dissolution was significantly minimized, which in turn promoted the formation of a more stable and protective passive film. Ultimately, the findings highlight that a 350 °C thermal stress relief strategy is a highly efficient route to improve the localized corrosion resistance of LPBF 316L parts without causing massive microstructural degradation.

Keywords: Laser Powder Bed Fusion (LPBF), 316L SS, Stress relief heat treatment, Corrosion resistance, Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DÜŞÜK SICAKLIK GERİLİM GİDERME İŞLEMİNİN EKLEMELİ ÜRETİMLE İMAL EDİLEN 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN ELEKTROKİMYASAL KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Hilmi TEKDİR
Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCİD: ID/0000-0002-9141-9514,
hilmi.tekdir@erzurum.edu.tr

Prof. Dr. Tuba YETİM
Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCİD: ID/0000-0002-6237-6412
tuba.yetim@erzurum.edu.tr

Özet

Toz Yatağında Lazer Ergitme (LPBF), karmaşık geometrili AISI 316L paslanmaz çelik bileşenlerin üretiminde üstün yetenekler sunmaktadır. Ancak katman katman ergitme sürecinin doğasında var olan aşırı termal gradyanlar, kaçınılmaz olarak şiddetli iç kalıntı gerilmeler oluşturur. Biriken bu bölgesel gerinimler, genellikle yapısal bozulmalar için aktif başlangıç noktaları olarak işlev görerek üretilen parçaların kimyasal kararlılığını doğrudan tehlikeye atar. Bu çalışma, düşük sıcaklık gerilim giderme ısıl işleminin LPBF ile üretilmiş 316L paslanmaz çeliğin yapısal özelliklerine ve elektrokimyasal korozyon direncine etkisini sistematik olarak incelemektedir. Prizmatik numuneler ($20 \times 20 \times 3$ mm³) üretilmiş ve ardından yüzey oksidasyonunu kesin olarak önlemek amacıyla yüksek kontrollü argon atmosferi altında 350 °C'de 2 saat boyunca tavlanmıştır. Üretildiği haldeki (AB-316L) ve ısıl işlemli (HT-316L) grupların mikroyapısal ve mekanik gelişimleri, X-ışını kırınımı (XRD), Vickers mikrosertlik testi ve kalıntı gerilme analizleri ile değerlendirilmiştir. Kimyasal bozunma eğilimini değerlendirmek için %3.5 ağırlıkça NaCl çözeltisi içerisinde açık devre potansiyeli (OCP), potansiyodinamik polarizasyon (Tafel) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) dahil olmak üzere kapsamlı elektrokimyasal deneyler gerçekleştirilmiştir. Başlangıç karakterizasyonları, ısıl maruziyetin üretim kaynaklı çekme kalıntı gerilmelerini 88 ± 5 MPa'dan 30 ± 3 MPa seviyesine başarıyla düşürdüğünü doğrulamıştır. Bu yapısal toparlanmanın ve kısmi dislokasyon yok oluşunun doğrudan bir sonucu olarak, yüzey mikrosertliği 270 ± 12 $HV_{0.1}$'den 225 ± 10 $HV_{0.1}$ değerine ılımlı bir düşüş sergilemiştir. Daha da önemlisi, elektrokimyasal test sonuçları HT-316L numunelerinin işlemsiz muadillerine kıyasla üstün korozyon direnci sergilediğini göstermiştir. İç makro gerinimlerin hafifletilmesi ve yapısal kusur yoğunluğunun azaltılmasıyla anodik çözünme için gereken itici güç önemli ölçüde minimize edilmiş, bu da daha kararlı ve koruyucu bir pasif filmin oluşumunu teşvik etmiştir. Sonuç olarak bulgular, 350 °C'lik termal gerilim giderme stratejisinin, LPBF 316L parçaların bölgesel korozyon direncini büyük çaplı mikroyapısal bozulmalara yol açmadan iyileştirmek için son derece verimli bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Toz Yatağında Lazer Ergitme (LPBF), 316L Paslanmaz Çelik, Gerilim giderme ısıl işlemi, Korozyon direnci, Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS).

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DESIGN, FABRICATION, AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF A CYCLONE SEPARATOR

Ahmet Topcuoglu

Auburn University

azt0089@auburn.edu

ABSTRACT

The study describes the design, fabrication, experimental characterization, and numerical analysis of a cyclone separator which is intended to achieve maximum droplet separation efficiency together with a minimum pressure drop.

The original cyclone shape was in accordance with the standard design principles for high-efficiency cyclones and was then altered in order to improve its aerodynamic performance without losing the strong swirling flow which is essential for centrifugal separation.

Two different cyclone designs were made and examined over a range of air flow rates that corresponded to the conditions for which they were intended. The measurements taken comprised the inlet and outlet pressures, the total pressure drop, and the air velocity distributions, these being determined by means of pressure taps and a hot-wire anemometer. The data obtained confirmed a computational fluid dynamics model developed using a k–ε turbulence model. The numerical simulations looked at the internal flow structures, the tangential velocity profiles, vortex formation, the pressure fields, and the impact of geometric scaling and flow rate on performance. The results indicated a good agreement between the numerical predictions and the experimental pressure-drop trends. Geometric alterations and scaling decreased the aerodynamic losses without compromising the swirling flow required for the separation of particles and droplets.

Combining experimental and numerical methods provides a solid basis for the development and optimization of compact cyclone separators, and the cyclone design suggested has the potential to achieve efficient centrifugal separation together with low aerodynamic resistance over a wide range of air flow rates.

Keywords: Cyclone separator, pressure drop, centrifugal separation, CFD.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

NUMERICAL ANALYSIS OF MOISTURE EXTRACTION VIA DIELECTROPHORETIC-DRIVEN CAPTURE ON CHARGED DROPLETS

Ahmet Topcuoglu

Auburn University

azt0089@auburn.edu

ABSTRACT

Air dehumidification systems are used in HVAC applications to control building indoor humidity and separate sensible and latent cooling. Recent advancements focus on in-kind, i.e., non-vapor-compression-based technologies that have net-zero water consumption, reduced size or weight relative to today's high-efficiency units, and use readily available materials. This research describes a new technology that shares these characteristics.

A new numerical computational fluid dynamics (CFD) model of dielectrophoretic-based water vapor condensation on electrically charged water droplets was used to investigate the performance of this approach for air dehumidification. Moist air circulated in a rectangular duct through a series of electrosprays. The electrosprays electrically charged small nuclei of freshwater droplets before releasing them into the bulk air stream. Due to dielectrophoresis and electro hydrodynamic effects, the vapor molecules in the moist air were captured by the electrically charged liquid nuclei. Vapor condensed at the nuclei's liquid surface and water vapor interphase, and the liquid droplets grew. This phenomenon effectively removed water vapor from the bulk air stream.

The results indicated a potential reduction of humidity of up to 5 percent from moist air at 68°F and 90% relative humidity. The airflow was 5 cfm, which was about 100 times fold the flows reported in the literature. The entire dehumidification device was only a few centimeters long. Thus, multiple devices connected in series and parallel with respect to the airstream can be used to scale up the technology to more effective flow rates typical of buildings HVAC applications.

Keywords: CFD, multiphase, dielectrophoresis, electrospray, droplets.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

YENİ NESİL METALİK BİYOMALZEMELER: TİTANYUM ESASLI ALAŞIMLARDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER

Şevval AYDOĞAN

Kocaeli Üniversitesi, sevvalaydogan.07@gmail.com-0009-0009-0937-1207

Prof. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

Kocaeli Üniversitesi, ryamanoglu@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-4661-8215

ÖZET

Biyomedikal uygulamalarda kullanılan implant malzemelerinden beklenen mekanik ve biyolojik gereksinimlerin artması, yeni malzeme sistemlerinin geliştirilmesini gerekli hâle getirmiştir. Yeni nesil metalik biyomalzemeler biyouyumluluğun artırılması, kemik dokusuyla daha uyumlu mekanik özelliklerin sağlanması, korozyon ve aşınma davranışının iyileştirilmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılması amacıyla geliştirilmektedir. Bu alanda paslanmaz çelikler, kobalt-krom alaşımları ve titanyum esaslı alaşımlar üzerinde farklı alaşım tasarımı ve üretim yaklaşımları araştırılmaktadır. Titanyum esaslı alaşımlar ise düşük yoğunlukları, yüksek özgül dayanımları, üstün korozyon dirençleri ve biyouyumlulukları nedeniyle yeni nesil metalik biyomalzemeler içerisinde öne çıkmaktadır. Öte yandan biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Ti6Al4V alaşımının elastisite modülünün kemik dokusuna göre yüksek olması gerilme kalkanı etkisine neden olabilmektedir. Alaşım elementlerinin biyolojik etkileri ve üretim maliyetleri dolayısıyla alternatif alaşım sistemlerine yönelik araştırmalar ilgi odağı olmaktadır. Son yıllarda biyouyumluluğun ve mekanik özelliklerin geliştirilmesinin yanı sıra malzeme maliyetinin azaltılması da yeni nesil titanyum alaşımlarının tasarımında önemli bir kriter hâline gelmiştir. Bu çalışmada yeni nesil titanyum esaslı biyomalzemeler alaşım tasarımı ve üretim yöntemleri açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Güncel çalışmalar daha ekonomik alaşım elementlerinin kullanımıyla Ti6Al4V'ye yakın mekanik dayanım seviyelerine ulaşılabildiğini ve daha düşük elastisite modülüne sahip alaşımların geliştirilebildiğini göstermektedir. Ayrıca farklı üretim yöntemleri de implantların mekanik ve biyolojik performanslarının iyileştirilmesinde rol oynamaktadır. Literatür bulguları yeni nesil titanyum alaşımlarının mekanik performans, biyouyumluluk, maliyet ve üretilebilirlik açısından Ti6Al4V'ye alternatif olma potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır.

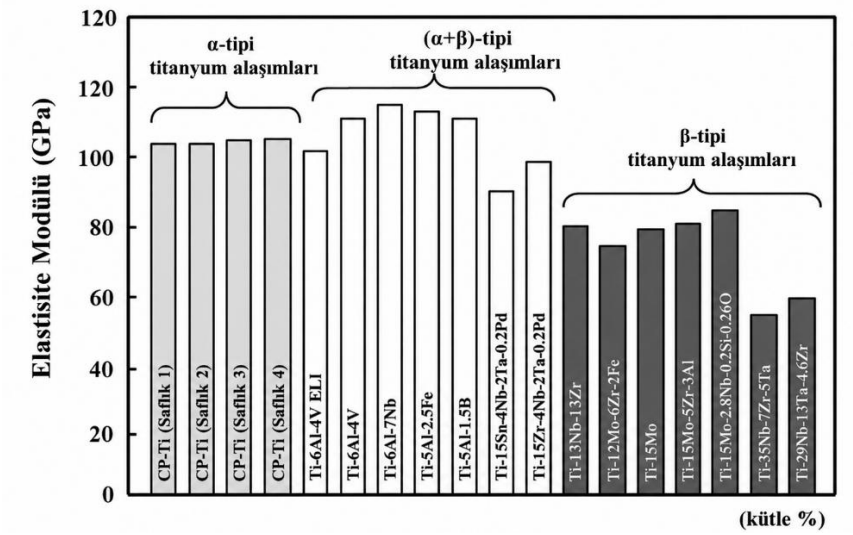
Anahtar Kelimeler: Yeni nesil metalik biyomalzemeler, titanyum alaşımları, Ti6Al4V, alaşım tasarımı, üretim yöntemleri

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. GİRİŞ

Ortopedik rahatsızlıklar, travmatik yaralanmalar, yaşlanmaya bağlı değişimler, gelişimsel bozukluklar ve kas-iskelet sistemi hastalıkları dünya genelinde milyonlarca insanın yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Bandyopadhyay ve diğ., 2023). Bu nedenle kemik fonksiyonunu desteklemek ve uzun süreli etkiler sağlamak için biyolojik olarak uyumlu ve mekanik olarak stabil malzemelere ihtiyaç vardır (Yamanoglu ve diğ., 2024). Biyomalzemeler ortopedi, diş hekimliği ve kardiyovasküler uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta olup insan vücudunda herhangi bir zararlı biyolojik etkiye neden olmamaları gerekmektedir (Kaur & Singh, 2019). Biyomedikal uygulamalarda kullanılacak malzemelerin yalnızca biyouyumlu olması yeterli olmayıp aynı zamanda yüksek mekanik dayanım, düşük elastisite modülü, yorulma direnci ve fizyolojik ortamda yüksek korozyon direnci gibi özelliklere de sahip olması beklenmektedir. Özellikle yük taşıyan ortopedik implantlarda malzemenin uzun süreli mekanik kararlılığını koruması ve çevre dokularla uyumlu şekilde davranması implant başarısını belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır (Abd-Elaziem ve diğ., 2024). Günümüzde bu amaçla paslanmaz çelikler, kobalt-krom alaşımları ve titanyum esaslı alaşımlar başta olmak üzere farklı metalik biyomalzemeler kullanılmaktadır. Bununla birlikte metalik implantların uzun süreli kullanımında aşınma, korozyon, iyon salınımı ve biyolojik ortamla etkileşim gibi faktörler implant performansını etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır (Naveen ve diğ., 2024).Titanyum ve titanyum esaslı alaşımlar düşük yoğunlukları, yüksek özgül dayanımları, iyi korozyon dirençleri ve biyouyumlulukları nedeniyle özellikle ortopedik ve dental implant uygulamalarında önemli bir konuma sahiptir (Alontseva ve diğ., 2024).Titanyum alaşımları içerisinde α+β faz yapısına sahip Ti6Al4V, yüksek mekanik dayanımı, uygun servis performansı ve biyouyumluluğu nedeniyle ortopedik implant uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek olarak alaşım bileşiminde bulunan Al ve V elementlerinin uzun süreli biyolojik etkileri önemli bir sınırlama oluşturmaktadır. Al iyonlarının kemik mineralizasyonunu olumsuz yönde etkilediği V iyonlarının ise sitotoksik etki ve alerjik reaksiyonlarla ilişkilendirildiği bildirilmektedir (Durak & Yamanoğlu, 2024). Ti6Al4V alaşımının bir diğer önemli dezavantajı ise elastisite modülünün doğal kemik dokusuna kıyasla oldukça yüksek olmasıdır. İmplant ile kemik arasındaki bu elastik uyumsuzluk, yük paylaşımının değişmesine ve kemik dokusuna aktarılan mekanik gerilmenin azalmasına neden olarak gerilme kalkanı etkisinin ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu durum uzun süreli implant kullanımında kemik kaybı ve implant stabilitesinin azalması gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır (Abd-Elaziem ve diğ., 2024; Cui ve diğ., 2024; Elhadad ve diğ., 2024). Ti6Al4V'nin yüksek elastisite modülünün yanı sıra alaşım elementi maliyeti ile Al ve V içeriğine ilişkin sınırlamalar da alternatif titanyum alaşımlarının geliştirilmesine yönelik çalışmaları arttırmıştır. Bu doğrultuda son yıllarda özellikle β titanyum alaşımları, daha düşük elastisite modülü sağlayabilmeleri ve kemik dokusuyla daha uyumlu mekanik davranış gösterebilmeleri nedeniyle yeni nesil metalik biyomalzemeler açısından dikkat çekmektedir. β-Ti alaşımlarında uygun alaşım elementi seçimi ve mikroyapı kontrolü sayesinde elastisite modülünün azaltılması, yeterli mekanik dayanımın korunması ve biyouyumluluğun geliştirilmesi hedeflenmektedir (Elhadad ve diğ., 2024).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 1. α, (α + β) ve β titanyum alaşımlarının elastisite modülleri (Senopati ve diğ., 2023).

Görsel 1'e bakıldığında α ve (α+β) titanyum alaşımlarının elastisite modüllerinin β alaşımlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Ti6Al4V gibi yaygın kullanılan (α+β) alaşımlarda elastisite modülü yaklaşık 110 GPa seviyesindeyken, β titanyum alaşımlarında bu değer belirgin şekilde azalmaktadır. Bu durum, β fazının hâkim olduğu alaşımların kemik dokusuna daha yakın rijitlik değerleri sunabilmesi açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Elastisite modülünün düşürülmesi, implant ile kemik arasındaki rijitlik farkının azaltılmasına ve buna bağlı olarak gerilme kalkanı etkisinin sınırlandırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, β alaşımların geliştirilmesinde düşük elastisite modülünün yanı sıra yeterli mekanik dayanım ve korozyon direncinin de korunması gerekmektedir.

Çizelge 1. Farklı titanyum alaşımlarının yoğunluk, nihai çekme dayanımı (UTS), faz yapısı ve maliyetlerinin karşılaştırılması (Senopati ve diğ., 2023).

Alaşım	Faz yapısı	Yoğunluk (g/cm^3)	Nihai çekme dayanımı (MPa)	Hammadde fiyatı (USD/kg)
Ti6Al4V	α + β	4.43	1250	26.568
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo-1Fe	β	4.69	1723	13.366
Ti-15V-3Sn-3Al-3Cr	β	4.76	1335	69.771
Ti-8V-4Mo-3Al-6Cr-4Zr	β	4.82	1503	44.712
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	β	5.06	1352	17.545
Ti-12Mo-6Zr-2Fe	β	5	1100	16.815
Ti-14Mn	β	4.9	1950	10.566

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 1 incelendiğinde, Ti6Al4V alaşımının 4,43 g/cm³ ile karşılaştırılan alaşımlar arasında en düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bazı β titanyum alaşımları daha yüksek nihai çekme dayanımı ve daha düşük hammadde maliyeti sunmaktadır. Özellikle Ti14Mn alaşımı 1950 MPa nihai çekme dayanımı ile en yüksek dayanım değerini gösterirken aynı zamanda tabloda verilen 10,566 USD/kg hammadde fiyatıyla en düşük maliyetli alaşım olarak öne çıkmaktadır. Benzer şekilde Ti5Al2Sn2Zr4Cr4Mo1Fe alaşımı 1723 MPa çekme dayanımı ve 13,366 USD/kg hammadde fiyatıyla yüksek dayanım-maliyet dengesi sergilemektedir. Buna karşılık V içeriği yüksek Ti15V3Sn3Al3Cr ve Ti8V4Mo3Al6Cr4Zr alaşımlarının hammadde fiyatlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu veriler, β titanyum alaşımlarının yalnızca mekanik ve biyomedikal özellikler açısından değil, alaşım elementi seçimine bağlı ekonomik faktörler bakımından da incelenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Yeni nesil titanyum esaslı biyomalzemelerin performansı yalnızca kimyasal bileşime bağlı olmayıp mikroyapı, porozite ve uygulanan üretim süreçleri de nihai özellikler üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle alaşım tasarımının yanı sıra uygun üretim yaklaşımının seçilmesi, mekanik ve biyolojik performansın geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Güncel çalışmalar yeni nesil Ti alaşımlarında bileşim ve üretim parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Gao ve diğ., 2025).

Bu doğrultuda çalışmada yeni nesil titanyum esaslı biyomalzemeler güncel literatür ışığında değerlendirilmiş ve alaşım tasarımı, mekanik özellikler, biyouyumluluk, maliyet ve üretilebilirlik açısından Ti6Al4V alaşımına alternatif olabilecek sistemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. β TİTANYUM ALAŞIMLARI

β titanyum alaşımları düşük elastisite modülü, yüksek dayanım, iyi korozyon direnci ve biyouyumlulukları nedeniyle son yıllarda biyomedikal implant uygulamalarında ilgi odağı olmaktadır. Özellikle yük taşıyan ortopedik ve dental implantlarda, implant ile kemik dokusu arasındaki elastik uyumsuzluğun azaltılması gerilme kalkanı etkisinin sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır. Güncel derlemelerde β-Ti alaşımlarının α ve α+β titanyum alaşımlarına kıyasla daha düşük Young modülü sunabildiği ve bu nedenle kemiğe daha yakın mekanik davranış sağlayabildiği bildirilmektedir (Pesode & Barve, 2023) (Xiao ve diğ., 2023). Titanyumun β fazı hacim merkezli kübik (HMK/BCC) kristal yapıya sahiptir. β fazının oda sıcaklığında kararlı veya metastabil olarak korunabilmesi, uygun β-stabilizatör alaşım elementlerinin kullanımına bağlıdır. Nb, Mo, Ta, Fe, Mn ve Cr bu amaçla kullanılan başlıca elementler arasında yer alırken, Zr ve Sn gibi elementler de faz kararlılığı, mikroyapı homojenliği ve mekanik özelliklerin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Calazans Neto ve diğ., 2024). Özellikle Nb, Mo ve Ta gibi elementlerin düşük elastisite modülü ve yüksek biyouyumluluk hedeflenen yeni nesil biyomedikal alaşımlarda yaygın biçimde değerlendirildiği Fe ve Mn gibi daha ekonomik elementlerin ise düşük maliyetli β-Ti tasarımlarında alternatif oluşturduğu belirtilmektedir (Senopati ve diğ., 2023). β-Ti alaşımlarının tasarımında temel hedef yalnızca elastisite modülünü azaltmak değildir. Düşük modül ile birlikte yeterli çekme ve yorulma dayanımı, uygun süneklik, yüksek korozyon direnci ve biyouyumluluğun birlikte sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle alaşım bileşim β-faz

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kararlılığı, mikroyapı ve üretim/ısıl işlem koşullarının birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Güncel derlemeler β-Ti alaşımlarında düşük elastisite modülü ile yüksek mekanik dayanım arasında dengeli bir kombinasyon elde edilmesinin biyomedikal implant tasarımının temel hedeflerinden biri olduğu vurgulanmaktadır (Cui ve diğ., 2024). Ayrıca metastabil β-Ti alaşımlarında modülün azaltılması bazı durumlarda dayanımın düşmesine yol açabildiğinden alaşım tasarımında düşük rijitliğin yanı sıra yorulma davranışı ve uzun dönem mekanik performansın da ön planda tutulduğu belirtilmektedir (Wong ve diğ., 2023).

Çizelge 2. Ti alaşımlarının faz yapılarına göre değişen elastik modül değerleri (Pesode & Barve, 2023)

Alaşım	Faz yapısı	Elastik modül (GPa)
Saf Ti	α	105
T-i6Al-4V	α+β	110-114
Ti-6Al-7Nb	α+β	105
Ti-5Al-2.5Fe	α+β	110
Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr	β	55
Ti-24Nb-0.5N	β	43
Ti-36Nb-2Ta-3Zr-0.3O	β	32
Ti-13Nb13Zr	β	79
Ti-15Mo-2.8Nb-3Al	β	82
Kortikal kemik yapısı	-	30-70

Çizelge 2'de α ve α+β titanyum alaşımlarının elastisite modüllerinin β alaşımlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb gibi α+β alaşımlarda elastisite modülü yaklaşık 105-114 GPa aralığında bulunurken, β Ti alaşımlarında bu değer 32-82 GPa seviyelerine kadar düşebilmektedir. Bu durum, β fazının hâkim olduğu alaşımların kortikal kemiğin elastik özelliklerine daha yakın mekanik davranış gösterebilmesini sağlamaktadır. İmplant ve kemik arasındaki rijitlik farkının azaltılması, yük aktarımının daha dengeli gerçekleşmesine katkı sağlayarak gerilme kalkanı etkisinin sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır (Kanapaakala & Subramani, 2023). β fazının oda sıcaklığında kararlı tutulabilmesi amacıyla Nb, Ta, Mo ve Zr gibi β-stabilizatör elementlerden yararlanılmakta alaşım bileşiminin değiştirilmesiyle faz dengesi ve buna bağlı olarak elastisite modülü, dayanım, süneklik ve yorulma davranışı kontrol edilebilmektedir (Zhang ve diğ., 2023) (Radulescu ve diğ., 2024).

3.TİTANYUM ESASLI BİYOMALZEMELERDE ALAŞIM TASARIMI VE ÜRETİM YAKLAŞIMLARI

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Titanyum esaslı biyomalzemelerin geliştirilmesinde temel amaç, kemik dokusuyla mekanik uyumu artırırken yeterli dayanım, korozyon direnci, aşınma performansı ve biyouyumluluğu birlikte sağlayabilen alaşım sistemlerinin oluşturulmasıdır (Abd-Elaziem ve diğ., 2024; Cui ve diğ., 2024; Elhadad ve diğ., 2024). Bu doğrultuda alaşım elementi seçimi, faz kararlılığı ve mikroyapı kontrolü malzemenin nihai özellikleri üzerinde belirleyici olmaktadır (Pesode & Barve, 2023; Kanapaakala & Subramani, 2023). Özellikle β titanyum alaşımlarında Nb, Mo, Ta, Zr ve Sn gibi elementler düşük elastisite modülü ve uygun biyolojik özellikler elde etmek amacıyla yaygın olarak kullanılırken, Fe ve Mn gibi daha ekonomik elementler maliyet ve üretilebilirlik açısından alternatif oluşturmaktadır (Calazans Neto ve diğ., 2024; Senopati ve diğ., 2023). Bununla birlikte alaşım bileşiminin değiştirilmesi yalnızca mekanik özellikleri değil, korozyon davranışı, pasif film kararlılığı ve aşınma performansını da etkileyebildiğinden, yeni alaşım sistemlerinin çoklu performans kriterleri açısından değerlendirilmesi gerekmektedir (Pérez-González ve diğ., 2026; Peng ve diğ., 2026).

3.1. Alaşım Elementi Seçimi ve Mekanik Özellikler

Alaşım elementi seçimi, titanyum esaslı biyomalzemelerde β fazının kararlılığı, elastisite modülü, mekanik dayanım, süneklik ve deformasyon davranışının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle metastabil β titanyum alaşımlarında düşük elastisite modülünün elde edilmesi yalnızca β fazının varlığına değil, fazın kararlılık düzeyine ve alaşım elementlerinin kristal yapı üzerindeki etkilerine de bağlıdır. Bu nedenle Nb, Mo, Zr ve Sn gibi elementlerin miktarının yüksek modüllü α″ ve ω fazlarının oluşumunu sınırlandıracak ancak β fazını aşırı kararlı hâle getirmeyecek şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır (Pesode & Barve, 2023; Jia ve diğ., 2025). Ti5MoXNbYSn alaşımlarında Nb ve Sn içeriğinin artmasıyla α″ ve ω fazlarının oluşumunun azaldığı ve β fazı kararlılığının yükseldiği bildirilmiştir. Bu değişime bağlı olarak elastisite modülünde azalma meydana gelmiş ve Ti5Mo15Nb9Sn alaşımında 51,3 GPa elastisite modülü ile 652 MPa nihai çekme dayanımı elde edilmiştir (Jia ve diğ., 2025). Nb ve Sn içeriğindeki artışın TiNbSn alaşım sistemlerinde de benzer şekilde α fazı oranını azalttığı ve β fazını daha baskın hâle getirdiği görülmüştür. Bu değişime bağlı olarak elastisite modülü Ti30Nb alaşımında yaklaşık 78 GPa iken Ti35Nb4Sn alaşımında yaklaşık 42 GPa seviyesine düşmüştür. Bununla birlikte sertlik değerlerinde de azalma meydana gelmesi, düşük elastisite modülünün tek başına yeterli bir tasarım kriteri olmadığını ve mekanik performansın birden fazla özellik üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Pérez-González ve diğ., 2026). Zr ilavesi de β fazı kararlılığının ve mekanik özelliklerin kontrolünde etkili bir alaşım elementi olarak öne çıkmaktadır. Ti25Nb2MoxZr alaşımlarında Zr miktarındaki artışla birlikte α″ ve ω fazlarının baskılandığı ve elastisite modülünün 114,3 GPa'dan 56,3 GPa'a düştüğü belirlenmiştir. Aynı zamanda kopma uzamasının %35,2'den %48,2'ye yükselmesi Zr ilavesinin deformasyon davranışı ve süneklik üzerinde de belirgin bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu davranış β fazı kararlılığındaki değişime bağlı olarak deformasyon mekanizmasının dislokasyon kaymasından martenzit yeniden yönlenmesine, TRIP ve TRIP+TWIP mekanizmalarına doğru değişmesiyle ilişkilendirilmiştir (Yang ve diğ., 2026). Alaşım bileşiminin yanı sıra mekanik özellikler uygulanan termomekanik işlemlerden de önemli ölçüde etkilenmektedir. 10Ti5Nb1Sn alaşımında döküm durumda 36 GPa elastisite modülü, 473 MPa çekme dayanımı ve %35 uzama elde edilmiştir. Soğuk haddeleme sonrasında dislokasyon

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yoğunluğunun artmasına bağlı olarak çekme dayanımı 823 MPa'a yükselirken, gelişen {001}<110> tekstürü nedeniyle elastisite modülü 32 GPa'a düşmüştür. Tavlama sonrasında ise 713 MPa çekme dayanımı, %23 uzama ve 33 GPa elastisite modülü ile daha dengeli bir mekanik özellik kombinasyonu elde edilmiştir (Yang ve diğ., 2024). Genel olarak değerlendirildiğinde biyomedikal β titanyum alaşımlarında Nb ve Mo β fazının kararlılığını sağlarken, Sn ve Zr gibi elementler α″ ve ω fazlarının oluşumunu sınırlandırarak ve kafes yapısını değiştirerek elastisite modülü ile mekanik davranışın kontrolüne katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte alaşım elementi miktarındaki artışın her durumda daha düşük elastisite modülü veya daha yüksek dayanım sağlamadığı görülmektedir. Bu nedenle alaşım tasarımında düşük elastisite modülü, yeterli dayanım, süneklik ve mikroyapısal kararlılığın birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Pesode & Barve, 2023; Pérez-González ve diğ., 2026; Jia ve diğ., 2025; Yang ve diğ., 2024; Yang ve diğ., 2026).

3.2. Korozyon, Aşınma ve Biyolojik Değerlendirmeler

Titanyum alaşımlarının yüzeyinde kendiliğinden oluşan pasif oksit tabakası korozyon direncinin temelini oluşturmakla birlikte bu tabakanın kimyasal bileşimi, bütünlüğü ve kararlılığı alaşım elementlerine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Özellikle Nb, Zr ve Sn içeren β alaşımlarda TiO_2'ye ek olarak Nb_2O_5, ZrO_2 ve SnO_2 gibi daha kararlı oksitlerin oluşması, yüzeyin koruyucu bariyer özelliğini geliştirebilmektedir (Xie ve diğ., 2023; Pérez-González ve diğ., 2026; Peng ve diğ., 2026). TiNbSn alaşımlarında Nb miktarının artmasıyla korozyon akım yoğunluğunun azaldığı ve polarizasyon direncinin yükseldiği bildirilmiştir. Ti25Nb5Sn alaşımında yapay tükürük ortamında icorr değeri 0,035 μA/cm²'ye düşerken, Rp değeri 9,312 kΩ/cm²'ye ulaşmıştır. Bu davranış, Nb içeriğinin artmasına bağlı olarak daha kararlı TiO_2, Nb_2O_5 ve SnO_2 esaslı pasif filmlerin gelişmesiyle ilişkilendirilmiştir (Xie ve diğ., 2023). Alaşım bileşiminin korozyon davranışı üzerindeki etkisinin her zaman doğrusal olmadığı farklı Ti esaslı sistemlerde de görülmektedir. Ti5CuxNb alaşımlarında Nb ilavesinin %10'a kadar artırılmasıyla korozyon akım yoğunluğu azalırken %15 Nb seviyesinde yeniden yükselmiştir. Ti5Cu10Nb alaşımı 21,44 nA/cm² ile serideki en düşük icorr değerini verirken, Ti5Cu15Nb alaşımında bu değer 106,37 nA/cm²'ye ulaşmıştır. Bu sonuç β fazı miktarındaki artışın her durumda korozyon direncini iyileştirmediğini faz dağılımı, Ti_2Cu oluşumu ve pasif film yapısının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir (Pandey ve diğ., 2023). Fizyolojik ortamın kimyasal özellikleri de pasif film kararlılığı üzerinde belirleyici olmaktadır. TiNbZrSi alaşımının korozyon davranışı normal fizyolojik koşulları temsil eden fosfat tamponlu salin (PBS), inflamasyon sırasında oluşan oksidatif stresi taklit etmek amacıyla H_2O_2 eklenmiş PBS ortamı ve daha şiddetli inflamatuvar koşulları temsil etmek üzere H_2O_2'ye ek olarak sığır serum albümini (BSA) ve laktat içeren ortamda incelenmiştir. İnflamatuvar ortamların özellikle artan oksidatif koşullar nedeniyle tüm alaşımların korozyon direncini azalttığı bildirilmiştir (Bordbar-Khiabani & Gasik, 2023). Buna rağmen TiNbZrSi alaşımının karşılaştırılan CP-Ti ve Ti6Al4V numunelerine göre daha düşük korozyon akımı ve daha kararlı pasif film davranışı sergilediği görülmüştür. Bu üstünlük Nb, Zr ve Si içeriği ile silisit fazlarının koruyucu yüzey filmini desteklemesiyle ilişkilendirilmiştir (Bordbar-Khiabani & Gasik, 2023). Üretim yöntemi de korozyon ve tribokorozyon davranışını etkileyen önemli bir parametredir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

LPBF ile üretilen Ti42Nb numunelerinin, geleneksel Ti45Nb alaşımına göre daha yüksek pasif film direnci ve daha düşük pasivasyon akım yoğunluğu sergilediği belirlenmiştir. Buna karşılık çalışmada en düşük korozyon akımı Ti6Al4V ELI alaşımında elde edilmiştir. LPBF ile üretilen numunelerin tribokorozyon davranışının Ti45Nb alaşımına göre daha iyi olduğu ve bu farkın özellikle sertlik ile mekanik aşınma katkısıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bu bulgular, yüzeyde oluşan pasif film yapısı ile üretim kaynaklı mikroyapısal özelliklerin birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Akman ve diğ., 2024). Aşınma ve tribokorozyon davranışı incelendiğinde, düşük korozyon eğiliminin her zaman düşük malzeme kaybı anlamına gelmediği görülmektedir. TiNbSn alaşımlarında Ti30Nb4Sn bileşimi tribokorozyon sırasında 0,17 sürtünme katsayısı ve $1{,}46 \times 10^{-4}$ $mm^3/N \cdot m$ aşınma oranı ile en düşük malzeme kaybını göstermiştir. Buna karşılık daha yüksek Nb ve Sn içeren Ti35Nb4Sn alaşımında aşınma oranının arttığı görülmüştür. Bu durum β fazı miktarı ve düşük elastisite modülünün yanı sıra sertliğin ve yüzeyin yük altında pasif filmi yeniden oluşturabilme kapasitesinin de tribolojik performansta etkili olduğunu göstermektedir (Pérez-González ve diğ., 2026). Benzer şekilde Ti5CuxNb sisteminde Nb miktarı arttıkça korozyon direnci belirli bir seviyeye kadar gelişmesine rağmen aşınma oranının özellikle Ti5Cu15Nb alaşımında yükseldiği bildirilmiştir. Bu sonuç korozyon ve aşınma davranışlarının tek bir malzeme parametresiyle açıklanamayacağını mikroyapı, sertlik, faz oranları ve pasif film kararlılığının birlikte göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır (Pandey ve diğ., 2023). Biyolojik özellikler açısından incelendiğinde, alaşım elementlerinin yalnızca korozyon davranışı değil hücre–malzeme etkileşimi ve iyon salınımı üzerinde de etkili olduğu görülmektedir. Nb miktarındaki artışın fare osteoblastlarının adezyonunu ve proliferasyonunu desteklediği ve hücre canlılığını artırdığı bildirilmiştir (Xie ve diğ., 2023). TiNbZrSi alaşımının Ti6Al4V'ye kıyasla daha olumlu hücre-malzeme etkileşimi gösterdiği ve osteojenik belirteçler açısından olumlu sonuçlar verdiği raporlanmıştır (Bordbar-Khiabani & Gasik, 2023). Altmış günlük daldırma testlerinde Ti, Nb ve Sn iyon salınımının tüm alaşımlarda 0,10 mg/L'nin altında kaldığı bildirilmiştir (Pérez-González ve diğ., 2026). Zr ilavesinin ise pasif tabakayı kalınlaştırdığı ve inflamatuvar ortamda toplam iyon salınımını azalttığı gösterilmiştir (Peng ve diğ., 2026).

3.3. Üretim Yöntemlerinin Elde Edilen Özelliklere Etkisi

Termomekanik işlemler β titanyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin düzenlenmesinde etkili yöntemlerden biridir. Yang ve arkadaşlarının vakum ark ergitme ile üretilen 10Ti5Nb1Sn alaşımı üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada, soğuk haddeleme ve ardından uygulanan tavlama işlemlerinin dayanım, süneklik ve elastisite modülü üzerinde önemli değişiklikler oluşturduğu görülmüştür. Döküm durumunda 473 MPa çekme dayanımı, %35 uzama ve 36 GPa elastisite modülüne sahip olan alaşımın çekme dayanımı soğuk haddeleme sonrasında yüksek dislokasyon yoğunluğuna bağlı olarak 823 MPa'a yükselirken elastisite modülü, gelişen {001}<110> tekstürü nedeniyle 32 GPa'a düşmüştür. Bununla birlikte uzama değerinin %7,3'e gerilemesi dayanım artışının süneklik kaybıyla birlikte gerçekleştiğini göstermektedir. Tavlama

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sonrasında ise 713 MPa çekme dayanımı, %23 uzama ve 33 GPa elastisite modülü elde edilerek daha dengeli bir mekanik özellik kombinasyonu sağlanmıştır. Bu sonuçlar, deformasyon ve ısıl işlemlerin yalnızca tane yapısını değil, kristalografik tekstürü de değiştirerek β alaşımların mekanik davranışını kontrol edebildiğini göstermektedir (Yang ve diğ., 2024). Eklemeli imalatta üretim parametrelerinin meydana getirdiği termal geçmiş, mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir. Akman ve arkadaşlarının farklı lazer ışın profilleriyle Lazer Toz Yatağı Füzyonu yöntemi kullanarak ürettiği Ti42Nb alaşımlarında farklı tane morfolojileri ve tekstürlerin geliştiği belirlenmiştir. Özellikle top-hat lazer konfigürasyonunda yapı yönüne paralel belirgin {001} tekstürü oluşurken, Gaussian lazer ile üretilen numunelerde daha izotropik kristal yönelimler elde edilmiştir. Her iki LPBF koşulunda yaklaşık 226-230 HV sertlik değerleri elde edilmiş ve bu değerlerin geleneksel yöntemle üretilen Ti45Nb alaşımının yaklaşık 155 HV sertlik değerinden daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu farklılık, LPBF sırasında meydana gelen hızlı katılaşma ve gelişen hücresel mikroyapının nihai özellikler üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Akman ve diğ., 2024). LPBF sürecinde yalnızca enerji girdisi değil, kullanılan tarama stratejisi de mikroyapı ve mekanik özelliklerin kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Duan ve arkadaşları, elementel tozlardan *in situ* alaşımlama yoluyla Ti12Mo6Zr2Fe alaşımını LPBF ile üretmiş ve basit tarama ile satranç tipi tarama stratejilerinin farklı mikroyapılar meydana getirdiğini göstermiştir. Satranç tipi tarama sonucunda güçlü {100}<001> tekstürü gelişmiş ve alaşımda 1026 MPa akma dayanımı, %12,7 uzama ve 85,7 GPa elastisite modülü elde edilmiştir. Çözeltiye alma işlemi sonrasında tekstürün daha belirgin hâle gelmesiyle elastisite modülü 70,9 GPa'a düşerken, 943 MPa düzeyindeki yüksek akma dayanımı korunmuştur. Basit tarama stratejisiyle üretilen numunelerde ise α″ ve ω fazlarının daha yüksek oranda bulunmasının dayanımı artırmasına karşın gevrek davranışı da desteklediği belirtilmiştir. Dolayısıyla aynı kimyasal bileşime sahip bir alaşımda dahi tarama stratejisinin değiştirilmesiyle faz yapısı ve tekstür üzerinden farklı mekanik özellik kombinasyonları elde edilebilmektedir (Duan ve diğ., 2021). Üretim sonrasında uygulanan ısıl işlemler, eklemeli imalatla üretilen β titanyum alaşımlarının nihai özelliklerinin düzenlenmesinde önemli bir aşamadır. Pilz ve arkadaşları tarafından LPBF ile üretilen Ti42Nb alaşımına 723 K'de farklı sürelerde yaşlandırma işlemleri uygulanmış ve işlem süresinin artmasıyla metastabil ortorombik α″ fazının hacim oranının yükseldiği belirlenmiştir. En uzun işlem süresi olan 108 ks sonunda α″ fazı yaklaşık %25 oranına ulaşırken, akma dayanımı yaklaşık 700 MPa'dan 1059 MPa'a ve nihai çekme dayanımı 715 MPa'dan 1124 MPa'a yükselmiştir. Buna karşılık elastisite modülü 65 GPa'dan 87 GPa'a çıkarken kopma uzaması yaklaşık %20'den %4,1'e düşmüştür. Bu durum, yaşlandırma işlemiyle sağlanan çökelti sertleşmesinin dayanımı artırmasına rağmen düşük elastisite modülü ve sünekliğin korunması açısından işlem koşullarının dikkatli şekilde belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Düşük elastisite modülü ile yüksek akma dayanımı arasında daha dengeli bir kombinasyon elde edebilmek için 28,8-108 ks arasındaki işlem sürelerinin ayrıca incelenmesi önerilmiştir (Pilz ve diğ., 2024). Bu çalışmalar birlikte ele alındığında, β titanyum alaşımlarının nihai özelliklerinin yalnızca kimyasal bileşimle açıklanamayacağı açıkça görülmektedir. Soğuk haddeleme ve tavlama gibi geleneksel termomekanik işlemler dislokasyon yapısını, tane morfolojisini ve tekstürü değiştirirken LPBF gibi eklemeli imalat yöntemlerinde lazer parametreleri, tarama stratejisi, katılaşma koşulları ve sonraki ısıl işlemler faz dağılımı ile

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kristalografik yönelimi kontrol etmektedir. Bu nedenle biyomedikal uygulamalar için uygun üretim yaklaşımı belirlenirken yalnızca yüksek dayanım değil, düşük elastisite modülü, yeterli süneklik, mikroyapısal homojenlik ve üretim kaynaklı kusurlar da birlikte göz önünde bulundurulmalıdır (Kanapaakala & Subramani, 2023; Yang ve diğ., 2024; Akman ve diğ., 2024; Gao ve diğ., 2025; Pilz ve diğ., 2024; Duan ve diğ., 2021).

3.4. Maliyet ve Üretilebilirlik

Son yıllarda daha düşük maliyetli β-titanyum alaşımlarının geliştirilmesine ve pahalı alaşım elementlerinin daha ekonomik alternatiflerle kısmen değiştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Bu yaklaşımda yalnızca mekanik ve biyolojik performansın değil alaşım maliyetinin ve hammaddenin erişilebilirliğinin de tasarım kriterleri arasında yer alması önem arz etmektedir (Senopati ve diğ., 2023). Üretim yöntemi de toplam maliyet ve üretilebilirlik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Geleneksel döküm, dövme ve talaşlı imalat yöntemlerinde karmaşık implant geometrilerinin oluşturulması ek işlem basamakları gerektirebilirken, eklemeli imalat yöntemleri hastaya özgü ve karmaşık geometrilerin doğrudan üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte LPBF süreçlerinde kullanılan ön alaşımlı tozların hazırlanması önemli bir maliyet unsuru oluşturabilmektedir. Duan ve arkadaşlarının çalışmasında Ti12Mo6Zr2Fe alaşımının geleneksel yöntemlerle üretiminin maliyetli ve zaman alıcı olduğu, ayrıca LPBF için uygun ön alaşımlı tozların hazırlanmasının da ekonomik açıdan dezavantaj yaratabildiği belirtilmiştir. Bu nedenle daha düşük maliyetli elementel tozların *in situ* alaşımlanması alternatif bir üretim yaklaşımı olarak ele alınmıştır (Duan ve diğ., 2021). Elementel tozların *in situ* LPBF yöntemiyle işlenmesi ekonomik avantaj sağlayabilse de bazı teknolojik güçlükleri beraberinde getirmektedir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip elementlerin tamamen çözünmemesi, kimyasal bileşim farklılıkları, yüksek enerji girdisine bağlı anahtar deliği tipi gözenek oluşumu ve gaz porozitesi gibi problemler üretim parametrelerinin hassas biçimde kontrol edilmesini gerektirmektedir. Özellikle Mo gibi refrakter elementlerin yeterli düzeyde çözündürülmesi için yüksek enerji girdisine ihtiyaç duyulmasına karşın, aşırı enerji girdisinin porozite ve anahtar deliği tipi gözenek oluşumu riskini artırabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle düşük maliyetli hammadde kullanımının tek başına yeterli olmadığı, üretim kararlılığı ve kimyasal homojenliğin de üretilebilirlik açısından dikkate alınması gerektiği görülmektedir (Duan ve diğ., 2021). Eklemeli imalatın önemli avantajlarından biri, implant geometrisi ile yapısal özelliklerin aynı üretim sürecinde özelleştirilebilmesidir. Pilz ve arkadaşları, LPBF yönteminin hasta özelinde yoğun, kafes ve hibrit yapıların üretimine olanak sağladığını belirtmiştir. Buna karşılık yöntemin anizotropi, mikroyapısal heterojenlik ve kalıntı gerilme gibi bazı sınırlamalara da sahip olduğu ifade edilmiştir. Bu tür etkilerin kontrol altına alınabilmesi için üretim sonrası ısıl işlemlerin nihai özelliklerin düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Pilz ve diğ., 2024). Literatürdeki bulgular birlikte ele alındığında, yeni nesil titanyum esaslı biyomalzemelerde ideal alaşım tasarımının düşük elastisite modülü, yüksek dayanım ve biyouyumluluğun ötesinde daha geniş tasarım kriterlerini kapsadığı anlaşılmaktadır. Alaşım elementlerinin maliyeti, hammadde temini, üretim yöntemi, proses

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

karmaşıklığı, ek ısıl işlem gereksinimi ve seri üretime uygunluk gibi faktörlerin de tasarım sürecine dahil edilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların, yüksek performanslı β-titanyum alaşımlarını daha ekonomik, kararlı ve tekrarlanabilir üretim süreçleriyle bir araya getirmeye odaklanması beklenmektedir (Senopati ve diğ., 2023; Duan ve diğ., 2021; Pilz ve diğ., 2024).

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeni nesil titanyum esaslı biyomalzemeler alaşım tasarımı, mekanik özellikler, korozyon ve aşınma davranışı, biyolojik performans, üretim yöntemleri, maliyet ve üretilebilirlik açısından güncel literatür doğrultusunda incelenmiştir. Elde edilen bulgular, β titanyum alaşımlarının düşük elastisite modülü ve uygun mekanik özellikleri sayesinde özellikle yük taşıyan biyomedikal implantlar için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte düşük elastisite modülünün tek başına yeterli bir tasarım kriteri olmadığı dayanım, süneklik, mikroyapısal kararlılık, korozyon direnci ve biyouyumluluk gibi özelliklerin birlikte ele alınması gerektiği görülmüştür. Nb, Mo, Zr ve Sn gibi alaşım elementlerinin β fazı kararlılığı ve deformasyon davranışı üzerinde belirleyici olduğu ancak element miktarındaki artışın mekanik ve elektrokimyasal özelliklerde her zaman doğrusal bir iyileşme sağlamadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle alaşım bileşiminin kullanım koşullarına göre optimize edilmesi önem taşımaktadır. Üretim yöntemlerinin de alaşım bileşimi kadar nihai performans üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Soğuk haddeleme, tavlama ve yaşlandırma gibi termomekanik işlemler ile LPBF gibi eklemeli imalat yöntemleri faz dağılımı, tekstür, sertlik, dayanım ve elastisite modülünü önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Özellikle LPBF, hastaya özgü karmaşık implant geometrilerinin üretilebilmesi açısından önemli avantajlar sunarken anizotropi, porozite, kimyasal bileşim farklılıkları ve kalıntı gerilme gibi üretim kaynaklı sınırlamaların kontrol edilmesini gerektirmektedir. Ayrıca yeni nesil alaşımların geliştirilmesinde yalnızca biyomedikal performans değil, alaşım elementlerinin maliyeti, hammadde temini, proses karmaşıklığı ve seri üretime uygunluk da dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak β titanyum alaşımları Ti6Al4V'ye alternatif olabilecek önemli bir malzeme grubu olmakla birlikte, gelecekteki çalışmalar açısından alaşım bileşimi, üretim yöntemi, mikroyapı, performans ve maliyet arasındaki ilişkinin bütüncül biçimde optimize edilmesi öncelikli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

Abd-Elaziem, W., Darwish, M. A., Hamada, A., & Daoush, W. M. (2024). Titanium-based alloys and composites for orthopedic implants applications: A comprehensive review. Materials & Design, 241, 112850. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112850

Akman, A., Douest, Y., Alberta, L. A., Perrin, K., Sfarghiu, A.-M. T., Courtois, N., Ter-Ovanessian, B., Pilz, S., Zimmermann, M., Calin, M., & Gebert, A. (2024). Tribocorrosion behaviour of

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

additively manufactured β-type Ti–Nb alloy for implant applications. Journal of Materials Research and Technology, 31, 1419–1429. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.172

Alontseva, D., Safarova, Y., Voinarovych, S., Obrosov, A., Yamanoglu, R., Khoshnaw, F., Yavuz, H. I., Nessipbekova, A., Syzdykova, A., Azamatov, B., Khozhanov, A., & Weiß, S. (2024). Biocompatibility and corrosion of microplasma-sprayed titanium and tantalum coatings versus titanium alloy. Coatings, 14(2), 206. https://doi.org/10.3390/coatings14020206

Bandyopadhyay, A., Mitra, I., Goodman, S. B., Kumar, M., & Bose, S. (2023). Improving biocompatibility for next generation of metallic implants. Progress in Materials Science, 133, 101053. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101053

Bordbar-Khiabani, A., & Gasik, M. (2023). Electrochemical and biological characterization of Ti–Nb–Zr–Si alloy for orthopedic applications. Scientific Reports, 13(1), 2312. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29553-5

Calazans Neto, J. V., Celles, C. A. S., de Andrade, C. S. A. F., Afonso, C. R. M., Nagay, B. E., & Barão, V. A. R. (2024). Recent advances and prospects in β-type titanium alloys for dental implants applications. ACS Biomaterials Science & Engineering, 10(10), 6029–6060. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.4c00963

Cui, Y. W., Wang, L., & Zhang, L. C. (2024). Towards load-bearing biomedical titanium-based alloys: From essential requirements to future developments. Progress in Materials Science, 144, 101277. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101277

Duan, R., Li, S., Cai, B., Zhu, W., Ren, F., & Attallah, M. M. (2021). A high strength and low modulus metastable β Ti-12Mo-6Zr-2Fe alloy fabricated by laser powder bed fusion in-situ alloying. Additive Manufacturing, 37, 101708. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101708

Durak, R., & Yamanoğlu, R. (2024, November 8–10). Ti alaşımlarında gerilme kalkanı etkisi: β-tipi alaşımlar ve üretim yöntemlerinin karşılaştırılması [Conference presentation]. 17. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Konferansı, Rize, Türkiye.

Elhadad, A. A., Romero-Resendiz, L., Rossi, M. C., Rodríguez-Albelo, L. M., Lascano, S., Afonso, C. R. M., Alcudia, A., Amigó, V., & Torres, Y. (2024). Findings and perspectives of β-Ti alloys with biomedical applications: Exploring beyond biomechanical and biofunctional behaviour. Journal of Materials Research and Technology, 33, 3550–3618. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.09.248

Gao, Y., Jiang, W., Zeng, D., Liang, X., Ma, C., & Xiao, W. (2025). Additive manufacturing of titanium alloys for biomedical applications: A systematic review. Review of Materials Research, 1(1), 100011. https://doi.org/10.1016/j.revmat.2025.100011

Jia, Z., Song, X., Yang, S., Zhang, X., & Zhou, K. (2025). Development of novel superelastic metastable Ti-Mo-Nb-Sn biomedical alloys with low modulus: Compositional design and microstructure-mechanical property relationships. Journal of Alloys and Compounds, 1036, 181838. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.181838

Kanapaakala, G., & Subramani, V. (2023). A review on β-Ti alloys for biomedical applications: The influence of alloy composition and thermomechanical processing on mechanical properties, phase composition, and microstructure. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 237(6), 1251–1294. https://doi.org/10.1177/14644207221141768

Kaur, M., & Singh, K. (2019). Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications. Materials Science and Engineering: C, 102, 844–862. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.064

Pandey, A. K., Gautam, R. K., & Behera, C. K. (2023). Corrosion and wear behavior of Ti–5Cu-xNb biomedical alloy in simulated body fluid for dental implant applications. Journal of the

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 137, 105533. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105533

Peng, B., Yang, J., Mao, J., Li, R., & Rong, C. (2026). Mechanistic insights into Zr-regulated elastic modulus and passive-film stability of β-type Ti-Nb-Zr alloys in simulated physiological environments. Journal of Alloys and Compounds, 1080, 190220. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2026.190220

Pérez-González, C., García-Hernández, C., Martin-Pedrosa, F., Amigó, V., & Garcia-Cabezon, C. (2026). Optimizing tribocorrosion, corrosion and mechanical performance of Ti–Nb–Sn shape memory alloys with low elastic modulus for biomedical implants. Wear, 594, 206651. https://doi.org/10.1016/j.wear.2026.206651

Pesode, P., & Barve, S. (2023). A review—Metastable β titanium alloy for biomedical applications. Journal of Engineering and Applied Science, 70, 25. https://doi.org/10.1186/s44147-023-00196-7

Pilz, S., Bönisch, M., Datye, A., Zhang, S., Günther, F., Drescher, S., Kühn, U., Schwarz, U. D., Zimmermann, M., & Gebert, A. (2024). Tailoring microstructure and mechanical properties of an LPBF-processed beta Ti-Nb alloy through post-heat treatments. Materials & Design, 239, 112799. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112799

Radulescu, R., Meleșcanu Imre, M., Ripszky, A., Rus, F., Popa, A., Moisa, M., Funieru, C., Ene, R., & Pituru, S. (2024). Exploring the broad spectrum of titanium–niobium implants and hydroxyapatite coatings—A review. Materials, 17(24), 6206. https://doi.org/10.3390/ma17246206

S., A. D., P., S. P. A., Naveen, J., Khan, T., & Khahro, S. H. (2024). Advancement in biomedical implant materials—A mini review. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 12, 1400918. https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1400918

Senopati, G., Rahman Rashid, R. A., Kartika, I., & Palanisamy, S. (2023). Recent development of low-cost β-Ti alloys for biomedical applications: A review. Metals, 13(2), 194. https://doi.org/10.3390/met13020194

Wong, K. K., Hsu, H. C., Wu, S. C., & Ho, W. F. (2023). A review: Design from beta titanium alloys to medium-entropy alloys for biomedical applications. Materials, 16(21), 7046. https://doi.org/10.3390/ma16217046

Xiao, W., Fu, Y., Wang, J., Zeng, D., Liang, X., Chen, H., Zhao, X., & Ma, C. (2023). Research progress in metastable β-type titanium alloys for biomedical applications. Journal of Materials Engineering, 51(2), 52–66. https://doi.org/10.11868/j.issn.1001-4381.2022.000545

Xie, F., Lu, D., Cao, S., Mu, Y., & Sun, Q. (2023). Electrochemical corrosion behavior and in vitro biocompatibility of Ti-Nb-Sn alloy for dental applications. Corrosion Science, 224, 111531. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111531

Yamanoglu, R., Petkoska, A. T., Yavuz, H. I., Uzuner, H., Drienovsky, M., Nasov, I., & Khoshnaw, F. (2024). Impact of Cu and Ce on the electrochemical, antibacterial, and wear properties of 316L stainless steel: Insights for biomedical applications. Materials Today Communications, 40, 109442. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109442

Yang, F., Liu, P., Wang, A., Ma, D., Liu, C., Wang, Z., & Xie, J. (2024). Fabrication, microstructure and properties of 10Ti-5Nb-1Sn biomedical β titanium alloy with low elastic modulus and high strength-ductility synergy. Materials Today Communications, 39, 109012. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109012

Yang, S., Jia, Z., Song, X., He, J., & Zhang, X. (2026). Development of Ti-Nb-Mo-Zr alloys with low modulus and excellent plasticity for biomedical applications. Materials, 19(2), 325. https://doi.org/10.3390/ma19020325

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Zhang, L. C., Chen, L. Y., Zhou, S., & Luo, Z. (2023). Powder bed fusion manufacturing of beta-type titanium alloys for biomedical implant applications: A review. Journal of Alloys and Compounds, 936, 168099. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168099

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN NİKEL ESASLI SÜPERALAŞIM TOZLARI: ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TOZ KAYNAKLI KUSURLAR

Merve AY
Kocaeli Üniversitesi, merveay0223@gmail.com - 0009-0006-4231-3728
Prof. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU
Kocaeli Üniversitesi, ryamanoglu@gmail.com - 0000-0002-4661-8215

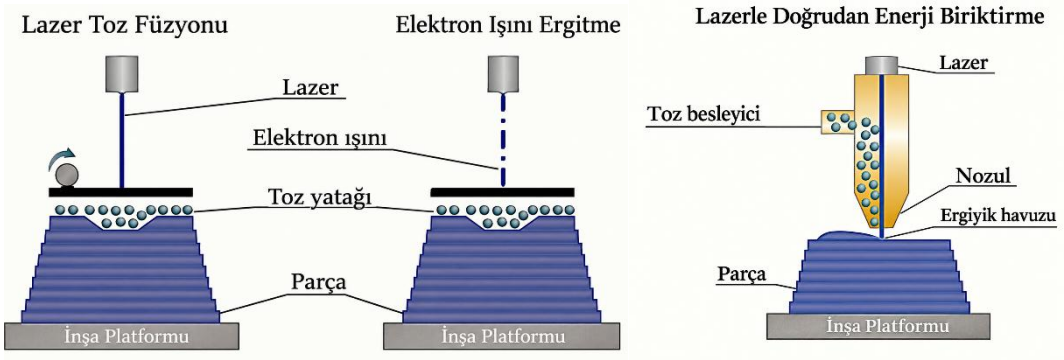
ÖZET
Eklemeli imalat yöntemleri karmaşık geometrilerin yüksek malzeme verimliliğiyle üretilmesine, parça hafifletilmesine ve geleneksel üretim yöntemlerinin sınırlarının aşılmasına olanak tanımaktadır. Söz konusu avantajlar işlenmesi oldukça güç olan, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci gibi zorlu ortam gereksinimlerine sahip nikel esaslı süperalaşımların (Inconel 718, Inconel 625 vb.) üretimini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır. Üretim sürecinde hedeflenen parça bütünlüğünü ve mekanik performansı yakalamak doğrudan hammadde tozlarının niteliğine bağlıdır. Eklemeli imalatta kullanılan metal tozları temel olarak atomizasyon yöntemleriyle üretilmektedir. Son yıllarda öne çıkan VIGA (Vakumlu İndüksiyon Ergitmeli Gaz Atomizasyonu) ve EIGA (Elektrot İndüksiyon Gaz Atomizasyonu) gibi yöntemler tozlarda yüksek küresellik, kimyasal saflık ve homojen boyut dağılımı sağlamaktadır. Elde edilen üstün özellikler yapısal bütünlüğü yüksek nikel esaslı süperalaşım parçaların üretilmesinde kritik avantajlar sunmaktadır. VIGA ve EIGA yöntemleriyle üretilen nikel esaslı süperalaşım tozlarının partikül boyutu dağılımı Lazer Toz Yataklı Füzyon (L PBF için 15 - 53 µm), Elektron Işınlı Ergitme (E PBF için 45 - 105 µm) ve Doğrudan Enerji Biriktirme (DED için 50 - 150 µm) gibi farklı proses gereksinimlerine göre ayarlanmaktadır. Proses kararlılığı için tozun akışkan olması önemlidir ancak toz üretimi sırasında ana partikülün yüzeyine yapışan ince partiküller, düzensiz şekiller ve yüzey oksitlenmeleri toz akışını bozarak ergitme esnasında yetersiz ergime, porozite ve topaklanma gibi yapısal kusurlara yol açmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Nikel Esaslı Süperalaşımlar, Metal Tozları, Gaz Atomizasyonu, Toz Morfolojisi.

1. GİRİŞ
Nikel esaslı süperalaşımlar, yüksek sıcaklıklardaki mekanik dayanımları ve oksidasyon dirençleri nedeniyle havacılık ve uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle gaz türbinlerinin sıcak bölgeleri, türbin diskleri ve roket motorları gibi kritik parçalarda sıklıkla tercih edilirler (Park ve diğ., 2022). Bu parçalar geleneksel olarak döküm ve dövme yöntemleriyle üretilse de karmaşık geometrilerde yüksek maliyete ve malzeme kaybına yol açmaktadır (Herzog ve diğ., 2016). Metal eklemeli imalat yöntemleri ise sunduğu tasarım serbestliği ve boyutsal hassasiyet sayesinde bu parçaların üretiminde önemli bir alternatif sunmaktadır (Cheng ve diğ., 2024).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Nikel esaslı süperalaşımların eklemeli imalatında temel olarak toz yatağında ergitme (PBF) ve doğrudan enerji biriktirme (DED) yöntemleri kullanılmaktadır (Kladovasilakis ve diğ., 2021; Ladani ve Sadeghilaridjani, 2021). PBF yönteminde tabla üzerine ince bir katman toz serilir ve lazer (L PBF) veya vakum altındaki elektron ışını (E PBF) ile parçanın o kesiti taranarak tozlar ergitilir. Tabla her seferinde bir katman aşağı iner, üzerine yeni toz serilir ve parça bu şekilde katman katman oluşturulur (Ladani ve Sadeghilaridjani, 2021). DED yönteminde ise bir toz yatağı bulunmaz. Toz nozuldan inert gazla birlikte doğrudan lazerin odak noktasına püskürtülür ve anında ergitilerek yüzeye bırakılır. Bu sayede DED, hem büyük parçaların imalatında hem de hasar görmüş nikel parçaların onarılmasında ve geri kazanılmasında yaygın olarak kullanılır (Li ve diğ., 2023). Bu yöntemlerin çalışma prensipleri ve şematik gösterimleri Görsel 1'de verilmiştir.



Görsel 1. L-PBF şematik gösterimi (a), E-PBF şematik gösterimi (b), DED şematik gösterimi (c) (Esquivel ve diğ., 2025).

Bu yöntemlerde ham madde olarak kullanılan tozun kalitesi hem üretim verimliliğini hem de nihai parçanın mekanik ve mikroyapısal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Nihai parçada istenen özelliklere ve dayanıma ulaşabilmek kalitesi yüksek metal tozlarının kullanılmasıyla mümkündür (Balbaa ve diğ., 2021). Tozdaki morfolojik bozukluklar ve kimyasal safsızlıklar, ergiyik havuzunun dengesini bozarak nihai parçada gözenek ve ergime eksikliği gibi iç yapı kusurlarına yol açar (Babu ve diğ., 2018).

2. TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Eklemeli imalat maliyetlerini kontrol altında tutabilmek büyük oranda toz üretim maliyetine ve verimine bağlıdır (Moghimian ve diğ., 2021). Metal tozu eldesinde mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemler uygulanabilse de özellikle süperalaşım tozlarında atomizasyon yöntemleri öne çıkmaktadır (Aydın ve Unal, 2011). Atomizasyon, ergitilmiş metal akışının yüksek basınçlar altında damlacıklar halinde parçalanıp katılaştırılmasıdır (Başcı ve Yamanoğlu, 2019). Günümüzde eklemeli imalat için toz üretiminde su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, plazma destekli dönel elektrot ve plazma atomizasyonu gibi farklı teknikler

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uygulanmaktadır. Mekanik ve kimyasal yöntemlerle kıyaslandığında bu prosesler partikül boyutu, şekli ve üretim hızı üzerinde yüksek kontrol sağladığı için endüstriyel metal tozu üretiminin büyük bölümünü oluşturmaktadır (Aydın ve Unal, 2011).

2.1 Su Atomizasyonu

Su atomizasyonunda potadan nozul yardımıyla dökülen ergitilmiş metal üzerine yüksek basınçlar altında su püskürtülür. Bu çarpma etkisiyle ergiyik metal hızla küçük damlacıklara ayrılarak katılaşır ve toz haline gelir. Yöntem diğer tekniklere kıyasla maliyet açısından ekonomik bir çözüm sunsa da eklemeli imalat açısından belirgin dezavantajlar barındırmaktadır. Suyun ergimiş metalle temas anındaki şiddetli çarpışması ve aşırı hızlı soğuma hızı damlacıkların küresel form almasına fırsat tanımadan katılaşmasına yol açarak düzensiz morfolojili tozların oluşmasına neden olur (Shanthar ve diğ., 2023).

2.2 Plazma Destekli Dönel Elektrot Prosesi (PREP)

PREP yönteminde ham madde olarak silindirik bir elektrot çubuk kullanılır. Yaklaşık 15.000 devir/dakika gibi yüksek hızlarda döndürülen çubuğun ucu plazma arkı ile ergitilirken, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle oluşan ergiyik metal çubuk yüzeyinden savrulur ve savrulan sıvı damlacıkları atomizasyon haznesinin duvarına ulaşamadan havadaki serbest hareketi sırasında küresel formda katılaşır (Yamanoğlu ve diğ., 2021). İnce toz eldesi dönme hızına bağlıdır ancak devir sayısını artırmak sistemin sızdırmazlık ve titreşim kontrolü gereksinimlerini zorlaştırarak ekipman maliyetini belirgin şekilde yükseltir. Yöntem diğer atomizasyon tekniklerine kıyasla çok daha dar bir partikül boyut dağılımı sunmaktadır (Schade ve Dunkley, 2015).

2.3 Plazma Atomizasyonu

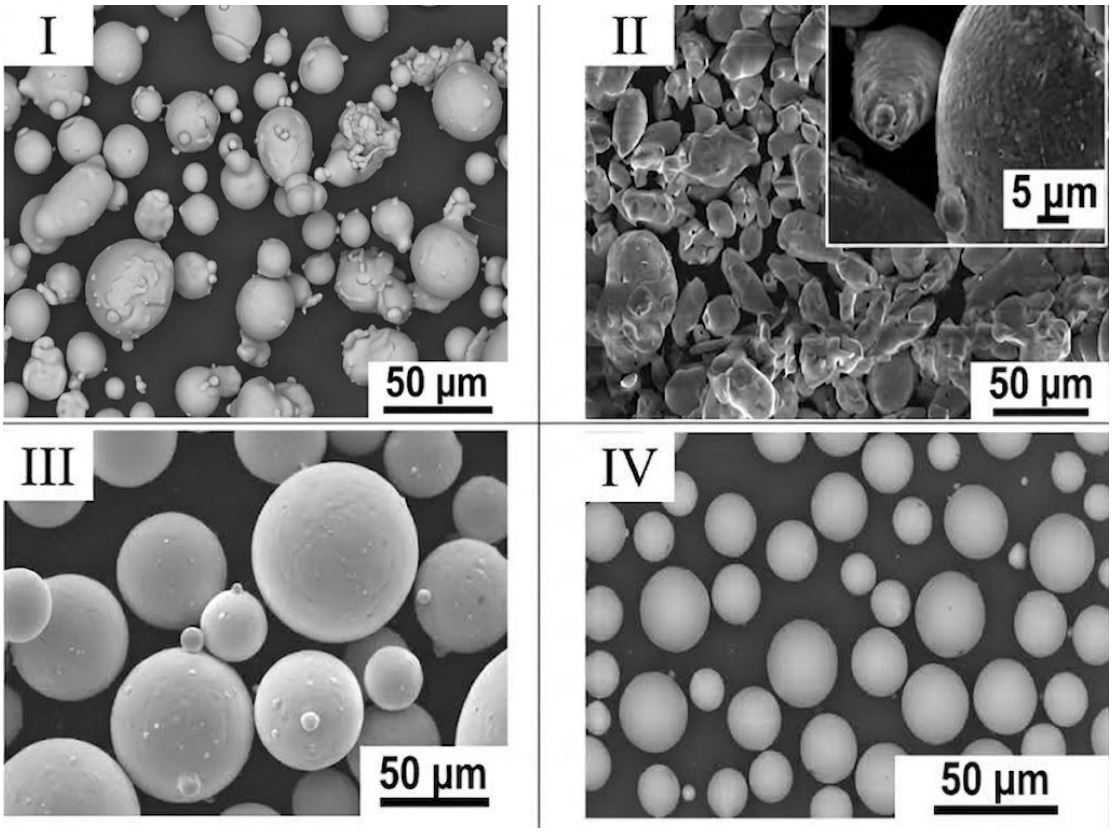
Plazma atomizasyonunda ham madde olarak ince bir tel veya çubuk kullanılır. Bu tel hazne tavanındaki plazma torçlarının oluşturduğu aşırı sıcak bölgeye doğru ilerletilir. Burada anında ergiyerek yüksek hızlı argon plazması yardımıyla küçük damlacıklara parçalanır ve yüksek sıcaklıktaki plazma bölgesinde yüzey gerilimi etkisiyle katılaşma, tozlara küresel bir geometri kazandırır (Shanthar ve diğ., 2023). Yöntemin belirgin kısıtlamaları bulunmaktadır. Proses için öncelikle 1-5 mm çapında hassas tel ham maddenin üretilmesi zorunluluğu ön maliyeti artırmaktadır. Bununla birlikte yüksek enerji sarfiyatı ve tel besleme hızına bağlı olarak toz üretim kapasitesi oldukça sınırlıdır (Radchenko ve Gogaev, 2022).

2.4 Gaz Atomizasyonu

Gaz atomizasyonunda ham madde olarak saf metaller veya önceden alaşımlandırılmış külçeler kullanılır. İndüksiyon bobinleri veya elektrik arkı yardımıyla potada ergitilerek homojenleştirilen sıvı metal, atomizasyon haznesine aktarılırken yüksek basınçlar altında püskürtülen inert gaz akışıyla (genellikle argon veya azot) parçalanır. Hazne içinde hızla soğuyan bu damlacıklar katılaşarak toz haline gelir. Yöntem genel olarak küreselliği yüksek tozlar üretse de gaz türbülansı nedeniyle ana partikül yüzeyine küçük tozların yapışması sıkça gözlenir. Bununla birlikte ergimiş metalin pota ve refrakter nozulla doğrudan teması tozun kimyasal saflığını düşürebilmektedir. Ayrıca eklemeli imalatın talep ettiği dar boyut aralığına

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kıyasla yöntemin geniş bir partikül boyut dağılımı vermesi hedeflenen ince toz miktarını azaltmaktadır (Sun ve diğ., 2024). Farklı atomizasyon yöntemleri ile üretilmiş nikel esaslı süperalaşım tozların morfolojik özelliklerini gösteren SEM görüntüleri Görsel 2'de verilmiştir.



Görsel 2. Gaz atomizasyonu ile üretilen Inconel 718 tozlarının SEM görüntüsü (I), Su atomizasyonu ile üretilen Inconel 625 tozlarının SEM görüntüsü (II), PREP ile üretilen Inconel 718 tozlarının SEM görüntüsü (III), Plazma atomizasyonu ile üretilen Inconel 718 tozlarının SEM görüntüsü (IV) (Sun ve diğ., 2024).

Standart gaz atomizasyonunda ergiyik metalin pota ve seramik nozulla teması toza yabancı kalıntıların karışmasına yol açmaktadır. Bu kısıtlamayı aşmak ve eklemeli imalatın gerektirdiği yüksek kimyasal saflığı sağlamak amacıyla seramik temasını ortadan kaldıran veya vakum altında çalışan ileri gaz atomizasyon sistemleri geliştirilmiştir (Shanthar ve diğ., 2023). Bu doğrultuda öne çıkan iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki ergitmenin kontrollü vakum veya inert ortamda yapıldığı vakum indüksiyon ergitmeli gaz atomizasyonudur (VIGA). İkincisi ise pota ihtiyacını bütünüyle ortadan kaldırarak kirlenme riskini bertaraf eden elektrot indüksiyon ergitmeli gaz atomizasyonudur (EIGA) (Qing ve diğ., 2022).

2.4.1 Vakum İndüksiyon Ergitmeli Gaz Atomizasyonu (VIGA)

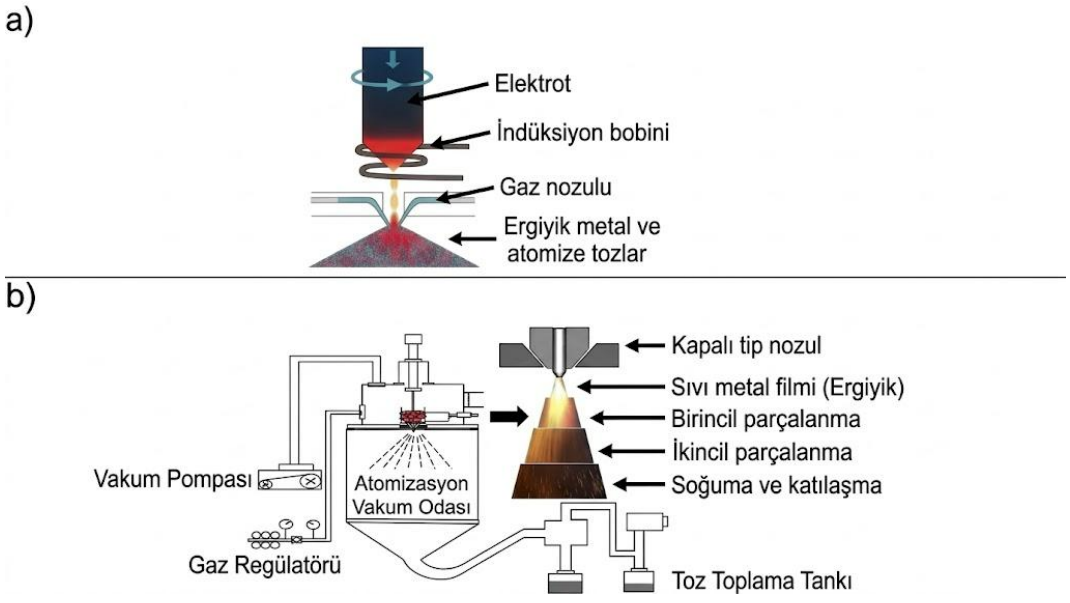
VIGA yöntemi, başta nikel esaslı süperalaşımlar olmak üzere yüksek performanslı alaşım tozlarının üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. İşlem öncesinde ergitme haznesi vakum altına alınarak ortamdaki gazlar uzaklaştırılır. Ardından pota içinde indüksiyonla sıvı hale getirilen alaşım, düzgün bir sıvı akışı halinde atomizasyon haznesine iner. Ergiyik metal, yüksek saflıktaki inert gaz akışıyla temas ettirilerek küçük damlacıklara parçalanır ve kule

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

içinde hızla katılaşarak toza dönüşür. Vakum ortamı oksitlenmeyi ve toza yabancı elementlerin karışmasını önleyerek yüksek kimyasal saflık ve iyi bir küresellik kazandırır. Örneğin Inconel 718 alaşımında VIGA ile üretilen tozların küreselliği standart GA yöntemine kıyasla daha yüksektir. Üretilen tozların özellikleri ergiyik viskozitesi ve atomizasyon basıncı gibi proses değişkenlerinden doğrudan etkilenir. Uygun ergiyik viskozitesi aralıklarında yüksek küresellik ve yüksek ince toz verimi elde edilirken viskozitenin aşırı düşmesi sıvı akış hızını artırarak parçacıkların tam parçalanmadan kaba halde katılaşmasına yol açabilmektedir (Qing ve diğ., 2022). Atomizasyon gaz basıncının yükseltilmesi ise iki fazlı akış alanındaki türbülansı ve parçalama verimini artırarak ortalama parçacık boyutunu küçültmekte ve daha dar bir boyut dağılımı elde edilmesini sağlamaktadır (Le ve diğ., 2022; Qing ve diğ., 2022).

2.4.2 Elektrot İndüksiyon Ergitmeli Gaz Atomizasyonu (EIGA)

EIGA yöntemi, ergitme aşamasında herhangi bir seramik potaya ihtiyaç duymadan doğrudan alaşımlı elektrodun ergitilmesine dayanan bir atomizasyon tekniğidir. Bu yöntemde önceden hazırlanmış alaşımlı silindirik elektrot, dönerek konik indüksiyon bobininin merkezine doğru ilerler, elektrodun ucu doğrudan yüzeyden ergitilir ve oluşan sıvı metal damlaları seramik bir yüzeyle temas etmeden gaz nozulunun merkezine doğru akar. Yüksek hızlı inert gazla parçalanan damlacıklar hazne içinde küresel tozlar halinde katılaşır. Pota kullanılmadığı için kalıntı riski oluşmaz ve standart gaz atomizasyonuna göre daha temiz, küresel tozlar elde edilir (Shanthar ve diğ., 2023). İnce toz eldesi gaz basıncı, elektrot çapı ve nozul geometrisi gibi parametrelerden etkilenir. Gaz basıncı arttıkça sıvı metal daha ince damlacıklara ayrılır ve elde edilen toz boyutları birbirine daha yakın olur (Wu ve diğ., 2023). Buna karşın yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle homojen ve hatasız elektrot çubukların hazırlanması zorunludur. Elektrot içerisindeki olası elementel segregasyonlar üretilen toz partiküllerinde kimyasal bileşim dalgalanmalarına yol açabilmektedir (Qing ve diğ., 2022). EIGA ve VIGA yöntemlerine ait şematik gösterimleri Görsel 3'te verilmiştir.



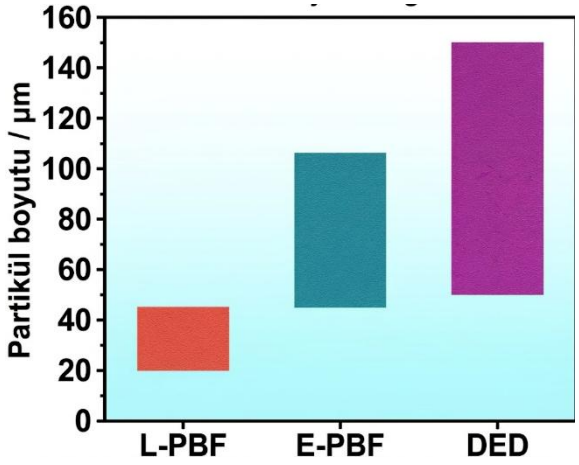
Görsel 3. EIGA şematik gösterimi (a), VIGA şematik gösterimi (b) (Sun ve diğ., 2024)

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3. TOZ ÖZELLİKLERİ

3.1 Partikül Boyut Dağılımı (PSD)

Eklemeli imalatta toz partikül boyut dağılımı tozun serilmesini, akışını ve üretilen parçanın kalitesini doğrudan etkiler (Nguyen ve diğ., 2017). Tercih edilen eklemeli imalat yöntemine göre ihtiyaç duyulan partikül boyutu da farklılık gösterir. Lazer Toz Yataklı Füzyon (L PBF) yönteminde tozların lazer altında kolay ergimesi, parça yoğunluğunun artması ve iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesi amacıyla genellikle 15-53 µm aralığındaki ince tozlar tercih edilirken Elektron Işınlı Toz Yataklı Füzyon (E PBF) sistemlerinde ise elektron ışınının tozu yatak dışına savurmasını önlemek adına 45-105 µm gibi daha geniş partikül boyutu aralığı seçilir. Tozun gazla nozuldan püskürtüldüğü Doğrudan Enerji Biriktirme (DED) sistemlerinde ise tozun kesintisiz ve homojen akabilmesi için 50-150 µm aralığındaki tozlar seçilmektedir (Ur Rehman ve diğ., 2023). Farklı eklemeli imalat yöntemlerinin gerektirdiği partikül boyutu dağılımı aralıkları Görsel 4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Görsel 4. Farklı eklemeli imalat yöntemlerine göre nikel esaslı süperalaşımın (Haynes 282) partikül boyutu dağılımı (PSD) gereksinimleri (Otto ve diğ., 2021; Sun ve diğ., 2024).

Partikül boyut dağılımının belirlenmesinde en yaygın yöntem lazer kırınımıdır. Bu yöntemde tozlar sıvı veya hava ortamında dağıtılarak içlerinden lazer ışını geçirilir ve oluşan ışık saçılma deseni analiz edilir [24]. Sistem çok sayıda partikülü kısa sürede yüksek doğrulukla ölçebilse de matematiksel olarak tüm partikülleri ideal küre kabul eder. Bu nedenle küresel olmayan, düzensiz şekilli veya birbirine yapışıp topaklanmış tozlarda ölçüm sapmaları meydana gelebilir. Elde edilen dağılım eğrisi üzerinden tozun boyut sınırları belirlenir (Sun ve diğ., 2024; Sutton ve diğ., 2017).

3.2 Partikül Şekli

Eklemeli imalatta metal tozlarının olabildiğince küresel morfolojiye sahip olması istenir. Küresel tozlar yüzey sürtünmesini en aza indirdiği için toz yatağına homojen serilir ve tozun akış davranışı artar. Yüksek paketlenme yoğunluğu sağlayarak parçada gözenek ve ergime kusurlarının oluşmasını önler (Gokcekaya ve diğ., 2021). Buna karşın özellikle tozun tekrar

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kullanıldığı döngülerde şekli bozulur ve partiküller küresellikten uzaklaşır (Yi ve diğ., 2021). Küresel olmayan düzensiz partiküller aralarındaki sürtünmeyi artırarak akışı zorlaştırır. Bu durum katman seriminde dalgalanmalara yol açarak parçanın yoğunluğunu düşürür (Radchenko ve Gogaev, 2022; Walton ve diğ., 2007). Partikül şekli ve morfolojisi genellikle optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenir (Otto ve diğ., 2021; Sutton ve diğ., 2017). Ancak SEM analizinde incelenen alan dar olduğundan elde edilen sonuçlar kullanılan tozun tamamı hakkında kesin bir fikir vermeyebilir. Bu nedenle binlerce partikülü hızla tarayabilen dinamik görüntü analiz cihazları tercih edilir. Bu sistemler hem partikül boyut dağılımını (PSD) hem de şekil faktörlerini aynı anda ve daha doğru bir şekilde belirler (Otto ve diğ., 2021; Strondl ve diğ., 2015; Sun ve diğ., 2024).

3.3 Tozun Akış Davranışı

Metal tozlarının akış davranışı toz yatağına ince ve düzgün katmanlar serilmesini doğrudan belirleyen parametrelerden biridir. Toz akışının iyi olması katman kalınlığının homojen dağılmasını, toz yatağının gözeneksiz dolmasını ve lazer enerjisinin her noktaya eşit aktarılmasını sağlayarak parçanın mekanik dayanımını artırır (Liu ve diğ., 2011; Lüddecke ve diğ., 2021). Toz akışı partikül boyutu dağılımı, partikül şekli, yüzey pürüzlülüğü, nem oranı ve partiküller arası sürtünme kuvvetine bağlıdır. Küreselliği yüksek partiküller sürtünmeyi azalttığı için akışı iyileştirirken nem, yüzey pürüzlülüğü veya aşırı ince partiküllerin varlığı aralarındaki çekim kuvvetlerini (kohezyon) artırarak topaklanmaya ve akışın bozulmasına neden olur (Kiani ve diğ., 2020).

Tozun akma davranışını belirlemek amacıyla farklı test yöntemleri kullanılmaktadır. En yaygın ve pratik yöntem 50 g tozun hall hunisinden serbestçe akma süresini ölçen Hall akış testidir (Wimler ve diğ., 2018). Fakat bu test sadece serbestçe akan tozlar için uygundur. Çok ince partiküllü tozlar huninin deliğini tıkadığından akış süresi ölçülemez (Sun ve diğ., 2024). Bir diğer yöntem olan Hausner oranı ise tozun kapta serbest durduğu hali ile kabı sarsarak sıkıştırdıktan sonraki yoğunluğunu karşılaştırır aradaki fark büyüdükçe tozun zor aktığı anlaşılır (Pleass ve Jothi, 2018). Tozun toz yatağına serilirken sergilediği gerçek hareketi anlamak için ise tozu hareket ettirerek ölçen dinamik cihazlar tercih edilir. Örneğin FT4 toz reometresi tozun içine sokulan dönen bir parçanın karşılaştığı direnci ölçerken döner tambur sistemleri (RPA) dönen bir silindir içindeki tozun akma hareketini kameralarla analiz eder (Farzadfar ve diğ., 2020).

3.4 Kimyasal Bileşim

Metal tozlarının kimyasal bileşimi üretilen parçanın mekanik özelliklerini, faz yapısını ve parça yoğunluğunu doğrudan belirler. Özellikle tozun tekrar kullanıldığı süreçlerde alaşım içeriğinin kontrol edilmesi büyük önem taşır. Tozdaki ana ve alaşım elementlerinin miktarını yüksek hassasiyetle belirlemek için genellikle İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) kullanılır (Sutton ve diğ., 2017). Ancak bu yöntem oksijen, azot, hidrojen ve karbon gibi hafif elementleri ölçmede yetersiz kalır. Eklemeli imalatta tozun oksijen kapması ergimeyi ve katman birleşimini olumsuz etkilediğinden bu gaz elementlerinin tayininde, küçük bir numunenin analiz cihazında yüksek sıcaklıkta eritilerek saldığı gazların ölçüldüğü inert gaz

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

füzyonu yöntemi tercih edilir. Doğru bir kimyasal analiz için bu iki yöntem genellikle bir arada uygulanır (Sun ve diğ., 2024).

4. TOZ KAYNAKLI PARÇA KUSURLARI

Metal tozlarının kullanıldığı eklemeli imalat yöntemlerinde nihai parça kalitesi doğrudan kullanılan tozun durumuna bağlıdır (Stavrou ve diğ., 2020). Düzensiz şekli yüzünden homojen serilemeyen, yüzeyinde oksit veya nem kalıntıları barındıran ya da üretiminden gelen gaz boşluklarını taşıyan partiküller ergimesi sırasında ergiyik havuzun dengesini bozar. Bu durum, parçanın içinde mukavemeti düşüren boşluk ve çatlak gibi kalıcı kusurlara sebep olur (Bitharas ve diğ., 2022; Gordon ve diğ., 2020).

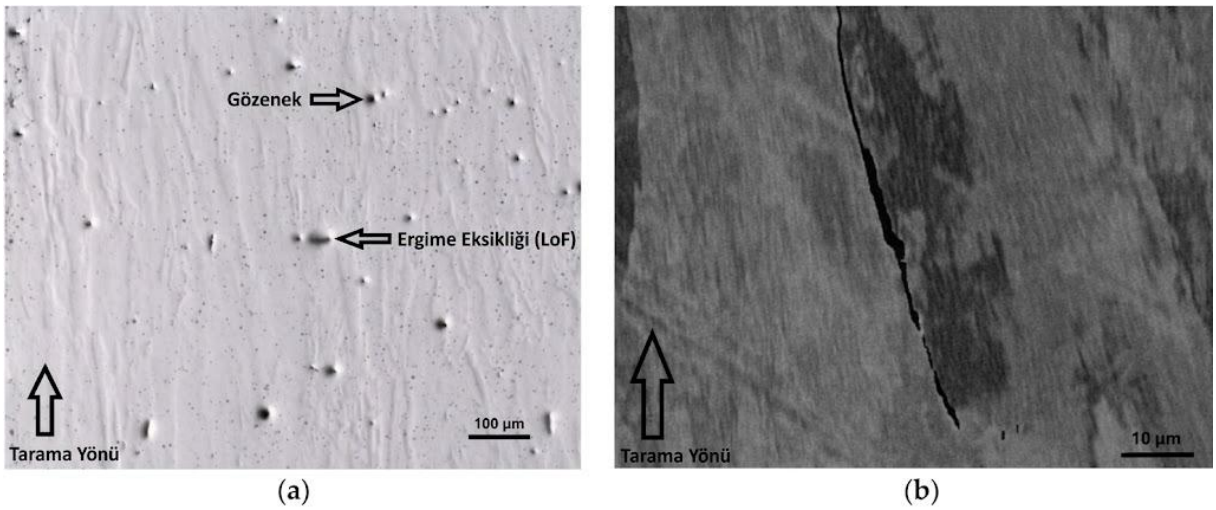
4.1 Gaz Boşlukları ve Gözeneklilik

Nikel süperalaşımlarında yüksek küresellik ve yüksek kimyasal saflık elde etmek için genellikle gaz atomizasyonu yöntemleri tercih edilir. Bu süreçler toz kalitesi açısından avantaj sağlasa da sıvı metal yüksek hızlı gaz jetiyle parçalanırken damlacıkların içi boşluklu şekilde genişleyerek aniden dağılmasına ve ortamdaki gazın partikül merkezine hapsolmasına yol açar. Partikül bünyesinde kalan bu mikro gaz boşlukları eklemeli imalat sırasındaki ergimede sıvı havuzdan kaçamazsa nihai parçada küresel gözenekler olarak kalır. Bu gözenekler özellikle yorulma gibi dinamik yükler altında gerilme yığılma merkezleri oluşturarak parçanın mekanik ömrünü doğrudan kısıtlar (Ramon ve diğ., 2026).

4.2 Toz Morfolojisi ve Ergime Eksikliği

Metal eklemeli imalatta tozun katman katman düzgün yayılabilmesi partiküllerin mümkün olduğunca küresel olması ve dış yüzeyinde pürüzlü görüntü olmaması veya ana toz partiküle yapışmış küçük partiküller bulunmaması gerekir. Ancak üretim sırasında erken katılaşan küçük partiküller henüz sıvı haldeki büyük damlalara çarpıp yapışabilir (Uydu). Yüzeye yapışan bu küçük partiküller sürtünmeyi artırır. Bu da tozun akışını bozar ve serilen tabakanın boşluklu kalmasına yol açar (Ramon ve diğ., 2026). Toz partiküllerinin sıkı dizilemediği bu seyrek alanlarda toz yatağı lazer ısısını homojen iletemez. Üstelik bir araya toplanıp kümeleşen küçük tozlar tarama kaynağının enerjiyi alt kısımlara ulaştırmasını engelleyerek ergiyik havuzunda dengesizlik yaratır. Işının tabana tam inmediği ve havuzun yeterli derinliğe ulaşamadığı durumlarda yan yana taranan lazer yolları arasında veya üst üste binen katmanlarda ergimemiş toz partikülleri hapsolur. Bu durum, parçanın içinde sivri uçlu ve çatlak oluşumunun başlamasına neden olan ergime eksikliği (lack of fusion - LoF) boşluklarını meydana getirir (Ramon ve diğ., 2026; Zhu ve Fuh, 2026). Görsel 5'te L PBF yöntemiyle üretilen nikel esaslı süperalaşımlarda karşılaşılan yapısal kusurlar ve çatlaklar gösterilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 5. Lazer toz yataklı füzyon (L PBF) ile üretilmiş nikel esaslı süperalaşım (CM247LC): ergime eksikliği ve gözeneklerin ışık mikroskobu görüntüsü (a), tane sınırı çatlağının SEM görüntüsü (b) (Adegoke ve diğ., 2020).

4.3 Oksit Kalıntıları ve Çatlak Oluşumu

Tozların taşınması, depolanması veya tekrarlı kullanım çevrimleri sırasında yüzeyde oluşan oksit filmleri ve ortamdan kaynaklı nem ergiyik havuzunun kimyasal dengesini bozar. Lazer taraması esnasında toz partiküllerinin yüzeyindeki oksit tabakaları ergiyik havuza oksijen bırakır (Deng ve diğ., 2020). Oksijen miktarı arttığında havuzun içinde sıvı dışarı yayılmak yerine kenarlardan merkeze ve dibe doğru akmaya başlar (Marangoni etkisi). Bu aşağı yönlü akış davranışı havuzu derinleştirirken yüzeye çıkmaya çalışan gaz kabarcıklarını da aşağı çekerek parçanın tabanında hapseder ve gözenek oluşumunu artırır (Leung ve diğ., 2019; Ramon ve diğ., 2026).

Bununla birlikte içerisindeki artık oksijen titanyum, alüminyum veya krom gibi oksijen afinitesi yüksek alaşım elementleriyle reaksiyona girerek tane sınırlarında nano boyutlu oksit kalıntıları oluşturur. Nikel esaslı süperalaşımlarda bu kalıntılar hızlı soğuma esnasında ortaya çıkan yüksek artık gerilmelerle birleştiğinde tane sınırlarının zayıflamasına, tokluğun düşmesine ve yüzeyde çatlakların başlamasına neden olur. Benzer şekilde toz yüzeyindeki nemden kaynaklanan gaz çıkışları da mikroyapıda mikro çatlak çekirdeklenmesini hızlandırır (Deng ve diğ., 2020; Strondl ve diğ., 2015; Zhu ve Fuh, 2026).

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada metal eklemeli imalat süreçlerinde yaygın olarak kullanılan nikel esaslı süperalaşım tozlarının üretim yöntemleri, morfolojik özellikleri ve bu özelliklerin nihai parçada oluşturduğu iç kusurlar incelenmiştir. Bu tozların üretiminde yüksek küresellik ve kimyasal saflık elde etmek amacıyla VIGA ve EIGA gibi ileri gaz atomizasyonu teknikleri günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir. Vakum altında ergitme sağlayan VIGA yöntemi sıvı metalin atmosferdeki gazlarla temas ederek kirlenmesini önlerken EIGA yöntemi ise seramik pota temasını tamamen ortadan kaldırarak pota kaynaklı kirlenme riskini en aza indirmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Nikel esaslı süperalaşımların eklemeli imalat ile üretilmesinde parça bütünlüğünü sağlamak ve yüksek mekanik özelliklere sahip olması tozun hedeflenen morfolojik ve fiziksel kriterleri karşılamasına bağlıdır. İhtiyaç duyulan partikül boyutu dağılımı uygulanan yöntemin çalışma prensibine göre değişmektedir. Örneğin ince toz tabakaların serildiği lazer toz yataklı füzyonda (L PBF) dar boyut dağılımına sahip ince partiküller (15-53 μm) tercih edilirken elektron ışınlı toz yataklı füzyonda (E PBF) kararlı bir ergime için biraz daha geniş bir partikül boyut aralığı (45-105 μm) tercih edilmektedir. Tozun nozuldan püskürtüldüğü doğrudan enerji biriktirme (DED) sistemlerinde ise kesintisiz akışı desteklemek amacıyla daha geniş partikül boyut dağılımına sahip tozlar (50-150 μm) seçilmektedir. Boyut aralığının yanında toz partiküllerinin küresel formda olması tozun katman serimi sırasında kolayca yayılmasını ve toz yatağına boşluksuz dizilmesini sağlamaktadır. Ayrıca nikel esaslı süperalaşımlarda hedeflenen faz yapısına ve mekanik dayanıma ulaşabilmek için alaşım bileşiminin korunması özellikle oksijen ve azot gibi gaz elementlerinin çok düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Bu temel özelliklerin bir arada sağlanması, ergiyik havuzun kararlılığını korumak ve lazer enerjisini alt katmanlara homojen iletmek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Metal tozundaki morfolojik bozukluklar ile gaz kalıntıları parçada iç kusurlara yol açmaktadır. Toz üretiminden kalan hapsolmuş gazlar katılaşma sonrasında gözeneklere dönüşerek malzemenin yorulma ömrünü sınırlandırmaktadır. Toz partiküllerinin sıkı dizilemediği veya yan yana taranan lazer geçişleri arasında ergimenin yetersiz kaldığı bölgelerde ise ergimemiş tozların hapsolduğu keskin köşeli ergime eksikliği kusurları oluşmaktadır. Toz yüzeyindeki oksitler ise ergiyik metal havuzundaki sıvı akışını dibe yönlendirerek gaz kabarcıklarının kaçmasını engellemektedir. Ayrıca tane sınırlarında nano boyutlu kalıntılar bırakarak çatlak oluşumunu tetiklemektedir.

Sonuç olarak eklemeli imalatta yüksek performanslı ve yüksek yoğunluklu nikel esaslı süperalaşım parçaları elde etmek yalnızca proses parametrelerine değil ham madde olan metal tozunun kalitesi, saflığı ve yüzey kararlılığının kontrolüne bağlıdır.

6. KAYNAKÇA

Adegoke, O., Andersson, J., Brodin, H., & Pederson, R. (2020). Review of laser powder bed fusion of gamma-prime-strengthened nickel-based superalloys. *Metals*, 10(8), 996.

Aydin, O., & Unal, R. (2011). Experimental and numerical modeling of the gas atomization nozzle for gas flow behavior. *Computers & Fluids*, 42(1), 37–43.

Babu, S. S., Raghavan, N., Raplee, J., Foster, S. J., Frederick, C., Haines, M., ... & Dehoff, R. R. (2018). Additive manufacturing of nickel superalloys: opportunities for innovation and challenges related to qualification. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 49(9), 3764–3780.

Balbaa, M. A., Ghasemi, A., Fereiduni, E., Elbestawi, M. A., Jadhav, S. D., & Kruth, J. P. (2021). Role of powder particle size on laser powder bed fusion processability of AlSi10Mg alloy. *Additive Manufacturing*, 37, 101630.

Başcı, U. G., ve Yamanoğlu, R. (2019). Eklemeli metal imalat teknolojileri için metal tozu üretim yöntemleri. *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, 219–227.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bitharas, I., Parab, N., Zhao, C., Sun, T., Rollett, A. D., & Moore, A. J. (2022). The interplay between vapour, liquid, and solid phases in laser powder bed fusion. *Nature Communications*, 13(1), 2959.

Cheng, X., Xu, J., Yang, Z., Guo, Q., Li, C., Zhou, J., ... & Ma, Z. (2024). A novel nickel-based superalloy with excellent high temperature performance designed for laser additive manufacturing.

Deng, P., Karadge, M., Rebak, R. B., Gupta, V. K., Prorok, B. C., & Lou, X. (2020). The origin and formation of oxygen inclusions in austenitic stainless steels manufactured by laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 35, 101334.

Esquivel, A., Marcelino, S., Veiga, F., & Olvera-Trejo, D. (2025). Machinability of sintered metallic materials in additive manufacturing. *Applied Sciences*, 15(23), 12455.

Farzadfar, S. A., Murtagh, M. J., & Venugopal, N. (2020). Impact of IN718 bimodal powder size distribution on the performance and productivity of laser powder bed fusion additive manufacturing process. *Powder Technology*, 375, 60–80.

Gokcekaya, O., Ishimoto, T., Todo, T., Wang, P., & Nakano, T. (2021). Influence of powder characteristics on densification via crystallographic texture formation: Pure tungsten prepared by laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing Letters*, 1, 100016.

Gordon, J. V., Narra, S. P., Cunningham, R. W., Liu, H., Chen, H., Suter, R. M., ... & Rollett, A. D. (2020). Defect structure process maps for laser powder bed fusion additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 36, 101552.

Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., & Emmelmann, C. (2016). Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*, 117, 371–392.

Kiani, P., Scipioni Bertoli, U., Dupuy, A. D., Ma, K., & Schoenung, J. M. (2020). A statistical analysis of powder flowability in metal additive manufacturing. *Advanced Engineering Materials*, 22(10), 2000022.

Kladovasilakis, N., Charalampous, P., Kostavelis, I., Tzetzis, D., & Tzovaras, D. (2021). Impact of metal additive manufacturing parameters on the powder bed fusion and direct energy deposition processes: A comprehensive review. *Progress in Additive Manufacturing*, 6(3), 349–365.

Ladani, L., & Sadeghilaridjani, M. (2021). Review of powder bed fusion additive manufacturing for metals. *Metals*, 11(9), 1391. *(Not: Listede mükerrer olan bu kaynak teke düşürülmüştür).*

Le, T. P., Wang, X., & Seita, M. (2022). An optical-based method to estimate the oxygen content in recycled metal powders for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 59, 103127.

Leung, C. L. A., Marussi, S., Towrie, M., Atwood, R. C., Withers, P. J., & Lee, P. D. (2019). The effect of powder oxidation on defect formation in laser additive manufacturing. *Acta Materialia*, 166, 294–305.

Li, S. H., Kumar, P., Chandra, S., & Ramamurty, U. (2023). Directed energy deposition of metals: processing, microstructures, and mechanical properties. *International Materials Reviews*, 68(6), 605–647.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Liu, B., Wildman, R., Tuck, C., Ashcroft, I., & Hague, R. (2011). Investigation the effect of particle size distribution on processing parameters optimisation in selective laser melting process.

Lüddecke, A., Pannitz, O., Zetzener, H., Sehrt, J. T., & Kwade, A. (2021). Powder properties and flowability measurements of tailored nanocomposites for powder bed fusion applications. *Materials & Design*, 202, 109536.

Moghimian, P., Poirié, T., Habibnejad-Korayem, M., Zavala, J. A., Kroeger, J., Marion, F., & Larouche, F. (2021). Metal powders in additive manufacturing: A review on reusability and recyclability of common titanium, nickel and aluminum alloys. *Additive Manufacturing*, 43, 102017.

Nguyen, Q. B., Nai, M. L. S., Zhu, Z., Sun, C. N., Wei, J., & Zhou, W. (2017). Characteristics of inconel powders for powder-bed additive manufacturing. *Engineering*, 3(5), 695–700.

Otto, R., Brøtan, V., Carvalho, P. A., Reiersen, M., Graff, J. S., Sunding, M. F., ... & Azar, A. S. (2021). Roadmap for additive manufacturing of HAYNES® 282® superalloy by laser beam powder bed fusion (PBF-LB) technology. *Materials & Design*, 204, 109656.

Park, J. U., Jun, S. Y., Lee, B. H., Jang, J. H., Lee, B. S., Lee, H. J., ... & Hong, H. U. (2022). Alloy design of Ni-based superalloy with high γ' volume fraction suitable for additive manufacturing and its deformation behavior. *Additive Manufacturing*, 52, 102680.

Pleass, C., & Jothi, S. (2018). Influence of powder characteristics and additive manufacturing process parameters on the microstructure and mechanical behaviour of Inconel 625 fabricated by Selective Laser Melting. *Additive Manufacturing*, 24, 419–431.

Qing, Y., Guo, K., Liu, C., Qin, Y., Zhan, Y., Shuo, S., ... & Liu, C. (2022). Impact of atomization pressure on the particle size of nickel-based superalloy powders by numerical simulation. *Materials*, 15(9), 3020.

Radchenko, O. K., & Gogaev, K. O. (2022). Requirements for metal and alloy powders for 3D printing. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 61(3), 135–154.

Ramon, J., Kumar, G., Cole, I., & Ang, H. Q. (2026). Mechanisms behind the formation of microstructural defects in powder bed fusion processes: a review. *Advances in Manufacturing*, 1–33.

Schade, C., & Dunkley, J. J. (2015). Atomization. In *Powder metallurgy* (pp. 58–71). ASM International.

Shanthar, R., Chen, K., & Abeykoon, C. (2023). Powder-based additive manufacturing: a critical review of materials, methods, opportunities, and challenges. *Advanced Engineering Materials*, 25(19), 2300375.

Slotwinski, J. A., Garboczi, E. J., Stutzman, P. E., Ferraris, C. F., Watson, S. S., & Peltz, M. A. (2014). Characterization of metal powders used for additive manufacturing. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 119, 460.

Stavrou, A. G., Hare, C., Hassanpour, A., & Wu, C. Y. (2020). Investigation of powder flowability at low stresses: Influence of particle size and size distribution. *Powder Technology*, 364, 98–114.

Strondl, A., Lyckfeldt, O., Brodin, H., & Ackelid, U. (2015). Characterization and control of powder properties for additive manufacturing. *JOM*, 67(3), 549–554.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Sun, X., Chen, M., Liu, T., Zhang, K., Wei, H., Zhu, Z., & Liao, W. (2024). Characterization, preparation, and reuse of metallic powders for laser powder bed fusion: a review. *International Journal of Extreme Manufacturing*, 6(1), 012003.

Sutton, A. T., Kriewall, C. S., Leu, M. C., & Newkirk, J. W. (2017). Powder characterisation techniques and effects of powder characteristics on part properties in powder-bed fusion processes. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(1), 3–29.

Ur Rehman, A., Karakas, B., Mahmood, M. A., Başaran, B., Ur Rehman, R., Kirac, M., ... & Ünal, R. (2023). Additive manufacturing of Inconel-625: from powder production to bulk samples printing. *Rapid Prototyping Journal*, 29(9), 1788–1799.

Walton, O. R., De Moor, C. P., & Gill, K. S. (2007). Effects of gravity on cohesive behavior of fine powders: implications for processing Lunar regolith. *Granular Matter*, 9(5), 353–363.

Wimler, D., Kardos, S., Lindemann, J., Clemens, H., & Mayer, S. (2018). Aspects of powder characterization for additive manufacturing. *Practical Metallography*, 55(9), 620–636.

Wu, J., Xia, M., Guo, S., Wang, J., & Ge, C. (2023). Effect of electrode induction melting gas atomization process on fine powder yields: diameter of free-fall gas atomizer. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(8), 3390–3400.

Yamanoğlu, R., Bahador, A., ve Kondoh, K. (2021). Effect of Mo addition on the mechanical and wear behavior of plasma rotating electrode process atomized Ti6Al4V alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(5), 3203–3212.

Yi, F., Zhou, Q., Wang, C., Yan, Z., & Liu, B. (2021). Effect of powder reuse on powder characteristics and properties of Inconel 718 parts produced by selective laser melting. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 524–533.

ramon

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

BIPHENYL-DRIVEN CHANGES IN THE MICROSTRUCTURE AND FLUX PINNING BEHAVIOUR OF BULK MgB_2

Assoc. Prof. Özge ERDEM

Bayburt University, ozgeerdem@bayburt.edu.tr, 0000-0003-4542-941X

ABSTRACT

The relatively high transition temperature and favourable magnetic characteristics of MgB_2 make it a suitable material for a range of superconducting technologies, such as electric motors, magnetic bearings, superconducting magnets, and NMR systems. In bulk MgB_2, maintaining effective current transport under an external magnetic field is particularly important for its practical utilization. The magnetic-field-dependent current-carrying behaviour is closely associated with the nature, distribution, and effectiveness of flux-pinning centres, together with the quality of inter-grain connectivity, which collectively play a significant role in determining the critical current density and the overall superconducting performance of the material. Consequently, strengthening the flux-pinning capability is an important strategy for improving the field-dependent superconducting performance of bulk MgB_2.

This work focuses on the influence of biphenyl incorporation on the structural and magnetic behaviour of bulk MgB_2. A series of MgB_2 samples containing 0, 5, and 10 wt. % biphenyl ($C_{12}H_{10}$), calculated with respect to 1 g of MgB_2, were synthesized through a pellet/closed-tube processing route. X-ray diffraction measurements were utilized to determine the crystalline phases and lattice parameters. The morphological and microstructural features, including surface texture, grain size, homogeneity, and grain connectivity, were evaluated by scanning electron microscopy. The magnetic response of the samples was subsequently investigated at 5 K under externally applied magnetic fields using a Physical Property Measurement System, with particular emphasis on the critical current density and flux-pinning behaviour. The findings reveal that biphenyl incorporation induces microstructural modifications in bulk MgB_2, resulting in enhanced flux-pinning effectiveness and improved superconducting behaviour under an external magnetic field.

Keywords: Superconductivity, Biphenyl, Adding, MgB_2, Microstructure, Flux Pinning.

1. INTRODUCTION

Magnesium diboride (MgB_2) has attracted significant interest following the discovery of its superconductivity [1], due to its relatively high T_c, simple binary composition, and favourable combination of superconducting properties and material characteristics. In addition to its relatively high transition temperature, MgB_2 exhibits critical current densities of practical interest and is therefore considered a promising material for the fabrication of superconducting wires, magnets, and other devices. However, the performance of MgB_2 under magnetic fields depends significantly on magnetic flux pinning, grain connectivity, microstructural characteristics, and the upper critical field (H_{c2}). Consequently, considerable research effort is

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

focused on enhancing the in-field critical current density (J_c) of MgB_2 through microstructure optimization and chemical doping. In particular, considerable attention has been paid to carbon-containing additives, since the introduction of carbon into the MgB_2 matrix can change its structure and electron scattering pattern, leading to an increase in H_{c2} and J_c under strong magnetic fields, although excessive carbon substitution can also cause a significant decrease in T_c [2, 3].

Among the various carbon-containing additives investigated for MgB_2, organic and aromatic hydrocarbons are of particular interest: they can serve as a carbon source during MgB_2 formation while simultaneously influencing the microstructure of the resulting material. Yamada et al. [4] demonstrated that the introduction of benzene, naphthalene, and thiophene into MgB_2/Fe tapes, fabricated in situ via the powder-in-tube method, leads to a significant increase in the critical current density. Thus, the tape with a 20 mol % benzene addition exhibited a critical current density (J_c) of approximately 130 A/mm² at a temperature of 4.2 K and a magnetic field of 10 T. This result was attributed to the combined effect of boron substitution with carbon and the refinement of MgB_2 grains. In a subsequent study, Yamada et al. [5] investigated a broader range of aromatic hydrocarbons, including benzene, thiophene naphthalene, toluene, ethyltoluene and xylene, and observed a significant increase in J_c, specifically, a tape doped with 10 mol % ethyltoluene exhibited a J_c value of approximately 390 A/mm² at 4.2 K and 8 T. The results indicate that the effect of organic additives on MgB_2 is not limited to carbon substitution but may also involve changes in grain structure, inter-grain connectivity, and magnetic flux pinning mechanisms.

Biphenyl ($C_{12}H_{10}$), which consists of two benzene rings linked by a direct C–C bond, is another aromatic hydrocarbon that can serve as an interesting carbon-containing precursor for the synthesis of MgB_2. Indeed, a patent concerning the production of MgB_2 based superconductors explicitly lists biphenyl, alongside benzene, naphthalene, anthracene, perylene, and thiophene, as an aromatic hydrocarbon suitable for addition to initial Mg/B or MgH_2/B mixtures, specifying an additive range of 1 to 40 mol% relative to MgB_2 [6]. However, the experimental examples reported in the patent concern benzene, naphthalene, and thiophene, whereas biphenyl is only listed among the aromatic hydrocarbons that may be used as additives; no experimental superconducting-property data for biphenyl-doped MgB_2 are reported in the patent. To the best of our knowledge, despite extensive research into aromatic and carbon-containing organic additives in MgB_2, the effect of introducing biphenyl on the phase formation, structural characteristics, microstructure, and superconducting properties of MgB_2 remain limited in the peer-reviewed literature.

In this context, the present study examined the effect of biphenyl addition on MgB_2, with particular emphasis on its impact on phase composition, crystal structure, microstructural characteristics, and superconducting properties. The results are expected to provide deeper insight into the role of the molecular structure of carbon-containing aromatic additives in tailoring the superconducting properties of MgB_2.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2. EXPERIMENTAL METHODS

Three bulk samples containing 0, 5 and 10 wt.% biphenyl ($C_{12}H_{10}$) relative to 1 gr MgB_2 were fabricated. Magnesium (Mg), amorphous nano boron (nano-B), and biphenyl ($C_{12}H_{10}$) powders were used as precursor. The powders weighing about 1 gr were mixed and pressed at room temperature. The disk shaped samples with 13 mm in diameter were obtained and sintered at 850°C for 2 hours under Ar atmosphere via pellet/closed tube method. Phase analysis was conducted using XRD, while the microstructure was examined using FESEM for the studied samples. Magnetisation measurements were executed using a physical property measurement system (Quantum Design, PPMS). The critical current density (J_c) was then calculated using Bean's critical state model [7].

3. RESULTS ADN DISCUSSION

The X-ray diffraction patterns of the studied samples are presented in Figure 1. For all samples, MgB_2 was identified as the dominant phase, accompanied by a minor MgO phase. The peak intensity of MgO secondary phase increased with the addition of $C_{12}H_{10}$.

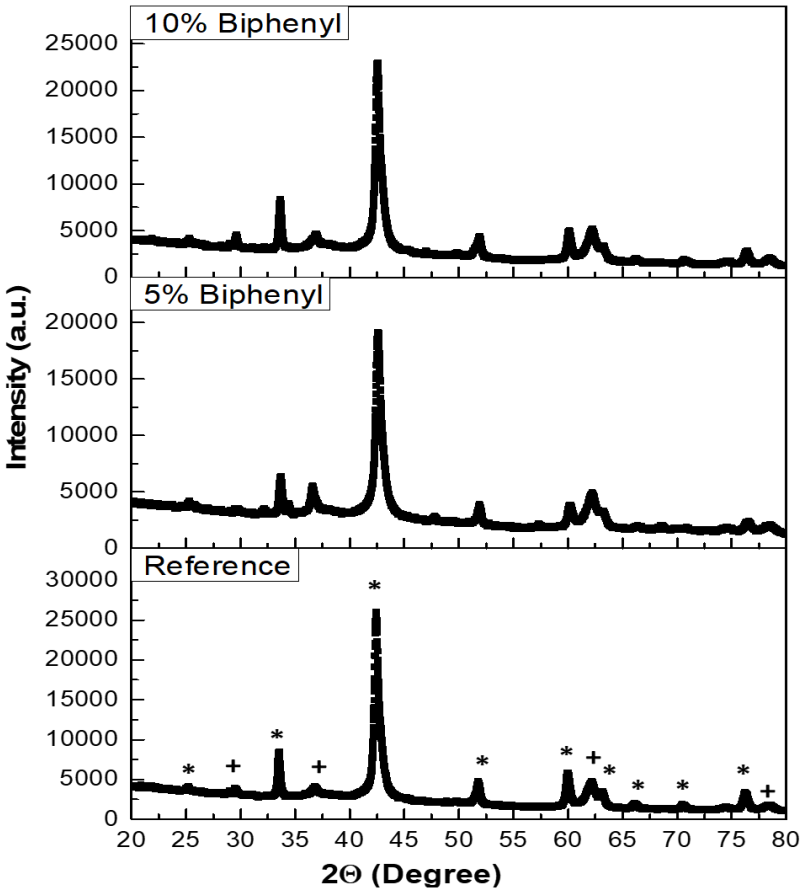


Figure 1. XRD patterns of the studied samples. * and + symbols denote MgB_2 and MgO phases, respectively

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Figure 2 shows the (002) and (110) MgB_2 diffraction peaks, which are related to the c- and a-lattice parameters and are observed at 51.8° and 59.9°, respectively. Both peaks shift toward higher 2Θ angles and become broader with the addition of $C_{12}H_{10}$. The shifts in the peak positions indicate changes in the a- and c-lattice parameters of MgB_2 [8], while the peak broadening may be associated with crystallite size, micro strain, or crystal defects [9]. When C atoms substitute for B sites, a decrease in the a-lattice parameter, corresponding to the contraction of the in-plane lattice, is expected. This provides strong evidence for C substitution into B sites [10, 11], because the covalent radius of C is smaller than that of B. Such C substitution may consequently induce micro-strain and introduce structural disorder in the MgB_2 matrix [12] and reduce the crystallinity of MgB_2 phase [13].

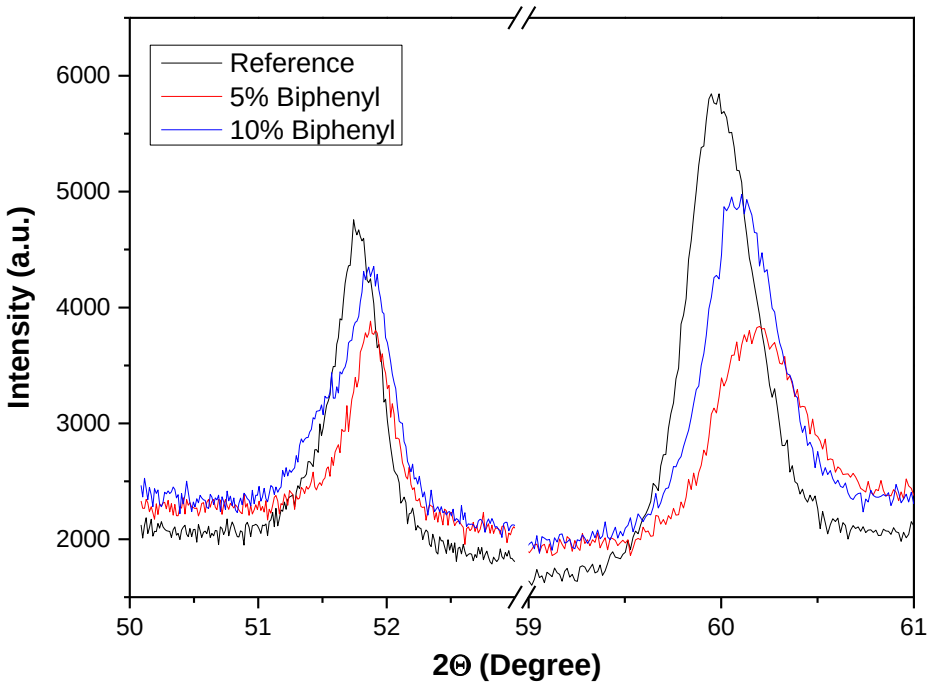


Figure 2. (002) and (110) MgB_2 diffraction peaks, which are related to the c- and a-lattice parameters and are observed at 51.8° and 59.9°, respectively

Figures 3(a-f) present the SEM images of the studied samples. Reference sample exhibits an inhomogeneous microstructure, as shown in Figure 3(a), with some pores visible in Figure 3(b). The microstructure becomes more homogenous and denser with the addition of $C_{12}H_{10}$, as observed in Figures 3(c-f), particularly for the 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 sample shown in Figures 3(e) and (f). The addition of $C_{12}H_{10}$ did not significantly affect the grain size or grain structure, whereas it resulted in a more uniform grain distribution. This is expected to result in improved grain connectivity.

Figure 4 shows the normalized magnetic moment versus temperature, m/| m(5K) |-T, curves. The critical transition temperatures (T_c), determined from these curves, are respectively 37.10, 36.18, and 35.97 K for the reference, 5 wt.% and 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 samples. The reduction in T_c can be attributed mainly to the band-filling effect induced by C substitution at

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

the B sites [14,15], which reduces the density of states and consequently weakens the electron–phonon coupling [15].

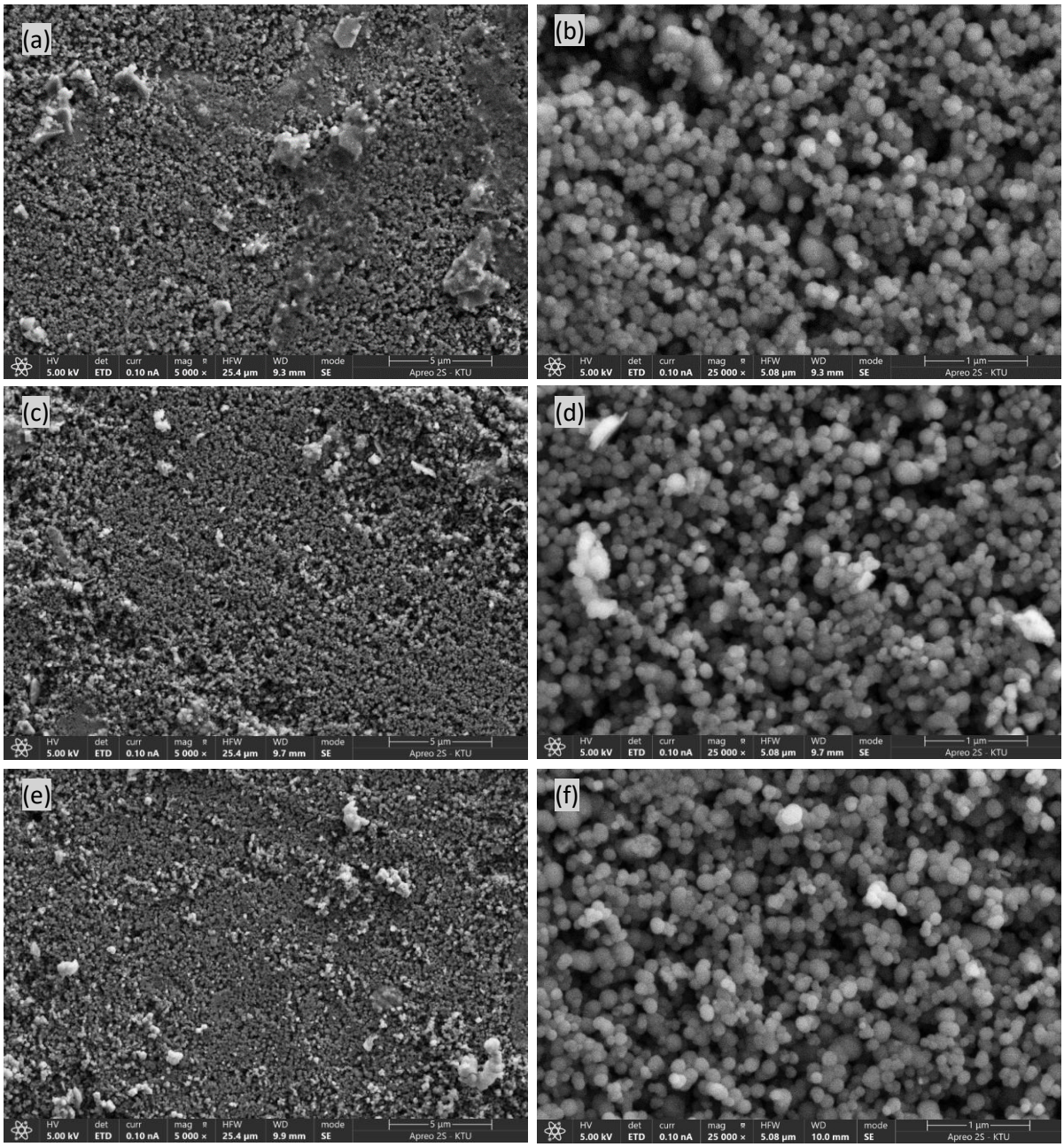


Figure 3. SEM images of (a, b) reference sample, (c, d) 5 wt.% and (e, f) 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 samples

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

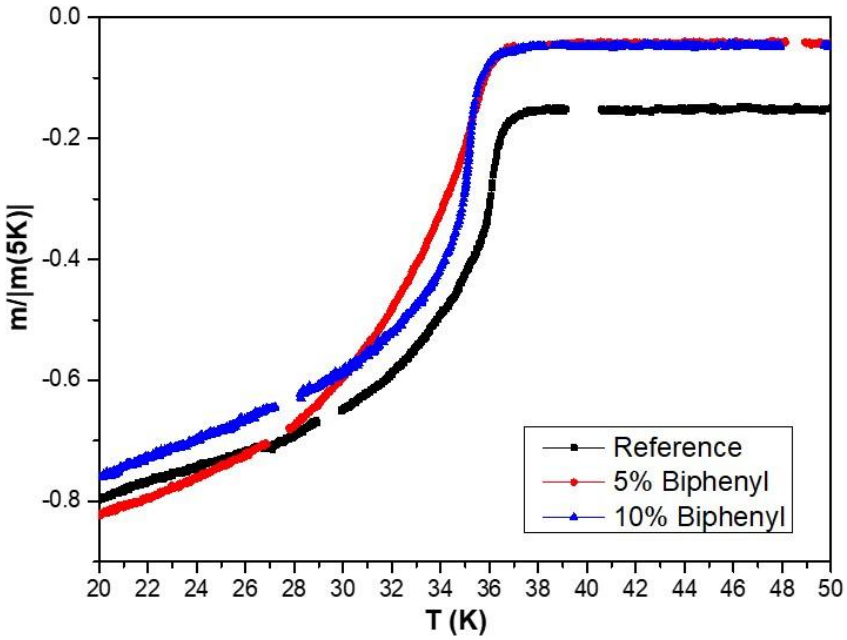


Figure 4. Normalized magnetic moment versus temperature, m/|m(5 K)|-T curves

Figure 5 shows the critical current density versus magnetic field, $J_c(\mu_0 H)$, at 5K for the reference and 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 samples. The inset shows the magnetisation depending on magnetic field at 5 K. Thermomagnetic flux avalanches occur between 0 and 1 T at 5 K for both samples, as observed from the inset, assuming that the local adiabatic conditions are satisfied. The J_c value increases with the addition of $C_{12}H_{10}$, as seen in Figure 5, compared with that of the reference sample. The J_c values were respectively determined to be 7.23×10^3 and 1.54×10^4 A/cm^2 at 5 K and 3 T, for the reference and 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 samples. Thus, the J_c value approximately doubled with the addition of $C_{12}H_{10}$. The enhancement in the in-field J_c can be attributed to the presence of lattice defects and structural disorders induced by C substitution, as evidenced by the shifts toward higher angles and broadening of the (002) and (110) peaks, as well as the suppression of T_c with the addition of $C_{12}H_{10}$. Thus, another possible explanation for the enhancement of in-field J_c is the increase in the irreversibility field (H_{irr}) and the upper critical field (H_{c2}) associated with C substitution for B, as reported for C-doped MgB_2 systems [16]. Furthermore, the improvement in grain morphology and microstructure observed with the addition of $C_{12}H_{10}$ may also contribute to the enhancement of the in-field J_c.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

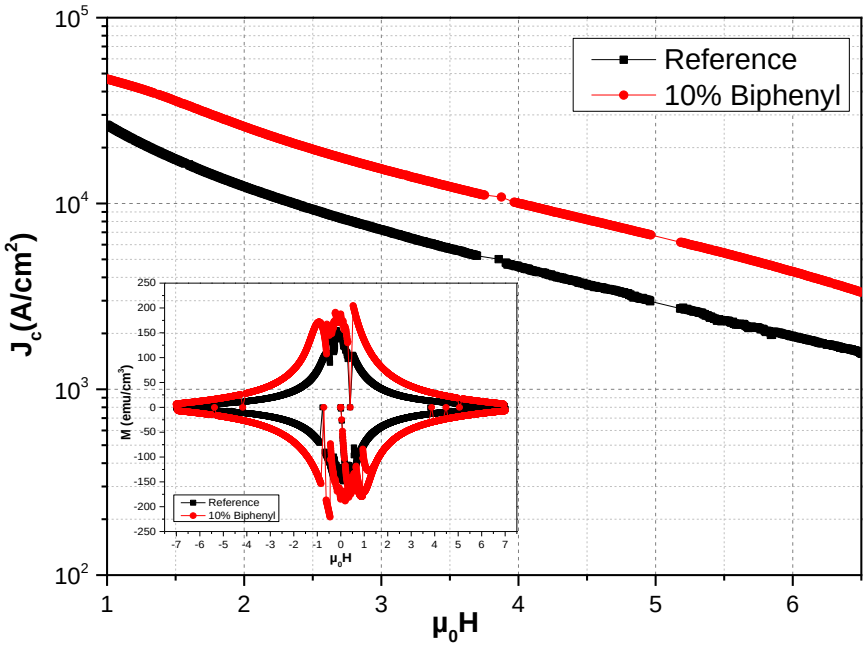


Figure 5. Critical current density as a function of magnetic field, $J_c(\mu_0 H)$ at 5K for the reference and 10 wt.% $C_{12}H_{10}$ added MgB_2 samples. The inset shows the magnetisation depending on magnetic field at 5 K

4. CONCLUSIONS

The obtained results from the study indicate that $C_{12}H_{10}$ addition acts as an effective C source for MgB_2. $C_{12}H_{10}$ addition supports the microstructural refinement of MgB_2, improving homogeneity and density of structure, and thus ensures homogeneous distribution of C into the structure.

The C atoms released through the decomposition of $C_{12}H_{10}$ during the heat treatment, incorporates into the MgB_2 lattice and induces lattice disorders and defects that can act as effective flux-pinning centres, improving the flux-pinning performance, and consequently enhancing the in-field J_c of MgB_2.

REFERENCES

[1] Nagamatsu, J., Nakagawa, N., Muranaka, T., Zenitani, Y., & Akimitsu, J. (2001). Superconductivity at 39 K in magnesium diboride. *Nature*, *410*(6824), 63–64. https://doi.org/10.1038/35065039

[2] Avdeev, M., Jorgensen, J. D., Ribeiro, R. A., Bud'ko, S. L., & Canfield, P. C. (2003). Crystal chemistry of carbon-substituted MgB_2. *Physica C: Superconductivity*, *387*(3–4), 301–306. https://doi.org/10.1016/S0921-4534(03)00722-6

[3] Ribeiro, R. A., Bud'ko, S. L., Petrovic, C., & Canfield, P. C. (2003). Effects of boron purity, Mg stoichiometry and carbon substitution on properties of polycrystalline MgB_2. *Physica C: Superconductivity*, *385*(1–2), 16–23. https://doi.org/10.1016/S0921-4534(02)02326-2

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[4] Yamada, H., Hirakawa, M., Kumakura, H., & Kitaguchi, H. (2006). Effect of aromatic hydrocarbon addition on in situ powder-in-tube processed MgB_2 tapes. *Superconductor Science and Technology*, *19*(2), 175–177. https://doi.org/10.1088/0953-2048/19/2/004

[5] Yamada, H., Uchiyama, N., Kumakura, H., Kitaguchi, H., & Matsumoto, A. (2007). Superconducting properties of aromatic hydrocarbon-added powder-in-tube MgB_2/Fe tapes. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, *17*(2), 2850–2853. https://doi.org/10.1109/TASC.2007.898952

[6] Kumakura, H., Kitaguchi, H., Hirakawa, M., & Yamada, H. (2010). *MgB_2 superconductor, its wire, and a manufacturing method thereof* (U.S. Patent No. 7,749,939 B2). U.S. Patent and Trademark Office.

[7] Bean, C. P. (1962). Magnetization of hard superconductors. *Physical Review Letters*, *8*(6), 250–253. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.8.250

[8] Lee, S., Masui, T., Yamamoto, A., Uchiyama, H., & Tajima, S. (2003). Carbon-substituted MgB_2 single crystals. *Physica C: Superconductivity*, *397*(1-2), 7-13. https://doi.org/10.1016/S0921-4534(03)01296-6

[9] Serquis, A., Zhu, Y. T., Peterson, E. J., Coulter, J. Y., Peterson, D. E., & Mueller, F. M. (2001). Effect of lattice strain and defects on the superconductivity of MgB_2. *Appl. Phys. Lett*, *79*, 4399-4401. https://doi.org/10.1063/1.1428109

[10] Lee, S., Masui, T., Yamamoto, A., Uchiyama, H., & Tajima, S. (2004). Crystal growth of C-doped MgB_2 superconductors: Accidental doping and inhomogeneity. *Physica C: Superconductivity*, *412–414*, 31–35. https://doi.org/10.1016/j.physc.2004.01.006

[11] Mickelson, W., Cumings, J., Han, W. Q., & Zettl, A. (2002). Effects of carbon doping on superconductivity in magnesium diboride. *Physical Review B*, *65*(5), 052505. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.65.052505

[12] Bhagurkar, A. G., Yamamoto, A., Wang, L., Xia, M., Dennis, A. R., Durrell, J. H., ... & Cardwell, D. A. (2018). High trapped fields in C-doped MgB_2 bulk superconductors fabricated by infiltration and growth process. *Scientific Reports*, *8*(1), 13320. https://doi.org/10.1038/s41598-018-31416-3

[13] Yamamoto, A., Shimoyama, J. I., Ueda, S., Iwayama, I., Katsura, Y., Horii, S., & Kishio, K. (2006, June). Strong Relationship between Irreversibility Field and Crystallinity Discovered in Undoped and Carbon Substituted MgB_2 Bulks. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 43, No. 1, p. 111). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/43/1/028

[14] Vinod, K., Varghese, N., Roy, S. B., & Syamaprasad, U. (2009). Significant enhancement of the in-field critical current density of the MgB_2 superconductor through codoping of nano-

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TiC with nano-SiC. *Superconductor Science and Technology*, *22*(5), 055009. https://doi.org/10.1088/0953-2048/22/5/055009

[15] Kortus, J., Dolgov, O. V., Kremer, R. K., & Golubov, A. A. (2005). Band filling and interband scattering effects in MgB_2: Carbon versus aluminium doping. *Physical Review Letters*, *94*(2), 027002. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.027002

[16] Ye, S. J., Matsumoto, A., Zhang, Y. C., & Kumakura, H. (2014). Strong enhancement of high-field critical current properties and irreversibility field of MgB_2 superconducting wires by coronene active carbon source addition via the new B powder carbon-coating method. *Superconductor Science and Technology*, *27*(8), 085012. https://doi.org/10.1088/0953-2048/27/8/085012

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

33 kV ŞEBEKE VOLTAJ TESPİTİ İÇİN KULLANILACAK 10 MVA 33/33 kV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Muhammed Bilal KODAZ
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş,
bilal.kodaz@betaenerji.com

ÖZET

Bu çalışmada, 33 kV şebeke seviyesinde gerilim regülasyonu ve kararlı enerji aktarımı sağlamak amacıyla 10 MVA, 33/33 kV güç transformatörünün tasarımı, prototip üretimi ve testlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Tasarımda manyetik indüksiyon prensibi esas alınarak giriş geriliminin sekonder tarafa güvenli ve elektriksel izolasyon korunarak aktarılması amaçlanmıştır. Şebeke tarafındaki gerilim dalgalanmalarının ve ani gerilim değişimlerinin çıkış tarafındaki etkilerinin azaltılması ve hassas ölçüm ve kontrol sistemleri için kararlı bir gerilim elde edilmesi hedeflenmektedir.

Proje kapsamında manyetik nüve geometrisi, sargı yapısı, iletken kesitleri, izolasyon sistemi, kademe sargısı ve soğutma yapısı elektriksel, termal ve mekanik tasarım kriterleri doğrultusunda belirlenmektedir. Tasarımın ardından prototip üretimi gerçekleştirilecek ve aktif bölüm, kazan, buşing ve yardımcı ekipmanların montajı tamamlanacaktır. Geliştirilen prototip üzerinde rutin testler kapsamında sargı direnci, kısa devre kayıpları ve empedans, boşta kayıplar ve akım, çevirme oranı, polarite, uygulanan gerilim ve indüklenen gerilim testleri gerçekleştirilecektir.

Proje çalışmaları kapsamında manyetik devre tasarımı, sargı yerleşimi ve kademe değiştirici entegrasyonu üzerinde optimizasyon çalışmaları yürütülerek gerilim regülasyonu ve enerji aktarım performansının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Test sonuçlarına göre gerekli tasarım ve üretim revizyonlarının gerçekleştirilmesiyle, 33 kV şebeke uygulamalarında gerilim kararlılığını, enerji kalitesini ve sistem güvenilirliğini destekleyen özgün bir transformatör tasarımının ortaya konulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Regülasyon, izolasyon, enerji aktarımı, gerilim dalgalanması, şebeke, enerji kalitesi, güvenlik, saha bağlantısı, entegrasyon

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DÜŞÜK GERİLİMLİ DÖKME REÇİNELİ ÇATI TRAFOLARI TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ

HALİME BOZ
Beta Enerji Anonim Şirketi
halime.boz@betaenerji.com

ÖZET

Bu çalışmada, cam fabrikalarında fırınların ısıtıcı sistemlerini beslemek amacıyla kullanılacak düşük gerilimli, dökme reçineli çatı trafosunun tasarımı ve geliştirilmesi ele alınmıştır. Fırınların yüksek enerji ihtiyacı nedeniyle düşük gerilim seviyesinde yüksek akım gereksinimi oluşmaktadır. Bu nedenle trafo, yüksek akım taşıyan kablo bağlantılarını kısaltmak ve kablo maliyetlerini azaltmak amacıyla beslediği fırına yakın, çatı üzerinde konumlandırılacak şekilde tasarlanmıştır.

Tasarım sürecinde çatı ortamındaki yüksek sıcaklık, mekanik titreşim, yüksek sekonder akımı ve harmonik etkiler temel tasarım kriterleri olarak dikkate alınmıştır. Ortam sıcaklığının 60 °C seviyelerine ulaşabilmesi nedeniyle H sınıfı izolasyon malzemesi ve reçine kullanılmış, titreşimlerin azaltılması amacıyla özel sönümleyici malzemeler tercih edilmiştir. Ayrıca AC-DC konvertörlerden kaynaklanan harmonikler dikkate alınarak manyetik akı yoğunluğunun düşük tutulması hedeflenmiştir.

Proje kapsamında elektriksel, termal ve mekanik tasarım çalışmalarının ardından prototip üretimi gerçekleştirilmiş ve tasarımın doğrulanması amacıyla gerekli testler planlanmıştır. Geliştirilen trafonun 170 kVA güce, 0,4 kV primer gerilime ve 0,068 kV sekonder gerilime sahip olması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek sıcaklık ve harmonikli çalışma koşullarında enerji sürekliliği sağlayabilecek, yerli olarak tasarlanıp üretilebilen bir çatı trafosu geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çatı Trafosu, Dökme Reçineli Trafo, Yüksek Akım

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KIBRIS ŞARTNAMESİNE UYGUN YÜKSEK GERİLİM–ORTA GERİLİM TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Sevilay YALAVAZ
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş., Sevilay.yalavaz@betaenerji.com
Ender SUNAL
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş., ender.sunal@betaenerji.com

ÖZET

Elektrik dağıtım sistemlerinde kullanılan transformatörlerin, uluslararası standartların yanında kullanılacakları bölgeye özgü teknik şartları da karşılaması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kıbrıs teknik şartnamesine uygun olarak tasarlanan yağlı tip yüksek gerilim–orta gerilim (YG-OG) transformatörün tasarım, üretim ve test süreçleri ele alınmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Kıbrıs teknik şartnamesi incelenerek transformatörün elektriksel, mekanik ve bağlantı gereklilikleri belirlenmiştir. Bu gereklilikler doğrultusunda manyetik nüve, YG ve OG sargıları, izolasyon sistemi, kazan, kapak, soğutma elemanları ve bağlantı ekipmanlarının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Özellikle OG bağlantılarında kullanılan plug-in sistemi, 24 kV gerilim seviyesine ve 630 A akım kapasitesine uygun geçit izolatörleri ile kabloların güvenli şekilde sabitlenmesini sağlayan mekanik yapı tasarımın önemli unsurlarını oluşturmuştur. Tasarımın tamamlanmasının ardından nüve ve sargı imalatı gerçekleştirilmiş, mekanik parçalar üretilerek aktif kısmın montajı tamamlanmış ve transformatörün prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen transformatör üzerinde sargı doğru akım direnci, boşta kayıplar ve boşta akım, kısa devre kayıpları ve kısa devre empedansı, çevirme oranı ve polarite, uygulanan gerilim ve indüklenen gerilim testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları tasarım değerleri ve ilgili IEC standartları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, Kıbrıs teknik şartnamesinde belirtilen özel gerekliliklerin elektriksel ve mekanik tasarıma uygulanmasıyla, üretilebilir ve testlerle doğrulanabilir bir YG-OG transformatör tasarımının gerçekleştirildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: YG-OG transformatör, transformatör tasarımı, Kıbrıs teknik şartnamesi, transformatör üretimi, transformatör testleri

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

AFET YÖNETİMİNDE AKUSTİK KİRLİLİĞİ MİNİMİZE EDEN KABLOLU VE AEROSTATİK HİBRİT AYDINLATMA SİSTEMİ

Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa TAŞCI
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, mtasci@bandirma.edu.tr -

ORCID: 0000-0002-8073-8587

Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet AKKAYA
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, aakkaya@bandirma.edu.tr -

ORCID: 0000-0003-4836-2310

Dr. Öğr. Üyesi, Muhammet ARUCU
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, marucu@bandirma.edu.tr -

ORCID: 0000-0001-7620-9044

ÖZET

Afet bölgelerinde arama kurtarma operasyonlarının etkinliği, yeterli aydınlatma ve düşük çevresel gürültü seviyelerine bağlıdır. Geleneksel jeneratörlü aydınlatma sistemleri, yüksek akustik gürültü üreterek sismik algılama cihazlarının ve arama kurtarma köpeklerinin performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, akustik kirliliği minimize eden, kablolu güç iletimi ve aerostatik kaldırma prensiplerine dayanan hibrit bir aydınlatma sistemi önerilmektedir. Sistem, helyum doldurulmuş bir aerostat, yüksek güçlü LED aydınlatma, Arduino Nano tabanlı kontrol ünitesi ve HC-05 Bluetooth modülü ile donatılmış bir mobil uzaktan kontrol arayüzünden oluşmaktadır. Önerilen sistem, 0 dB(A)'e yakın akustik gürültü seviyesi, kesintisiz çalışma süresi ve düşük enerji tüketimi ile geleneksel sistemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Bu bildiride, sistemin matematiksel modellemesi, donanım tasarımı, mobil uygulama arayüzü ve farklı afet senaryolarındaki operasyonel avantajları sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, akustik kirlilik, aerostat, hibrit aydınlatma, mobil uygulama, Arduino

1. GİRİŞ

Afet sonrası insani yardım operasyonlarında etkili ve sürdürülebilir aydınlatma, operasyonel güvenlik ve verimlilik açısından kritik bir gerekliliktir [1,2]. Deprem, sel ve büyük ölçekli yangınlar gibi afetler, enerji altyapısında ciddi hasarlara yol açarak geniş alanlarda uzun süreli elektrik kesintilerine neden olmaktadır [3]. Bu durum, özellikle erken müdahale aşamasında arama-kurtarma, tıbbi müdahale ve lojistik faaliyetlerin etkinliğini doğrudan sınırlamaktadır [4].

Arama kurtarma ekipleri ve ilk müdahale personeli, düşük görünürlük koşullarında güvenli operasyon gerçekleştirebilmek için güvenilir aydınlatma sistemlerine ihtiyaç duymaktadır [5,6]. Yetersiz aydınlatma; operasyon süresinin uzamasına, hata oranlarının artmasına ve personel güvenliğinin tehlikeye girmesine neden olabilmektedir [7]. Özellikle gece

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

operasyonlarında ve kapalı/hasarlı yapı içlerinde, aydınlatma kalitesi doğrudan hayatta kalma oranlarını etkileyebilecek bir faktör olarak öne çıkmaktadır [8].

Afet ortamlarında çoğunlukla göz ardı edilen ancak kritik öneme sahip bir diğer faktör ise akustik kirliliktir. Gürültü, yalnızca operasyonel konforu değil, aynı zamanda teknik sistemlerin performansını da doğrudan etkilemektedir [9]. Geleneksel mobil aydınlatma sistemlerinde kullanılan içten yanmalı jeneratörler, yüksek seviyede sürekli gürültü üretmektedir [10]. Bu durum, özellikle enkaz altındaki bireylerden gelen zayıf ses sinyallerinin tespiti için kullanılan sismik ve akustik sensörlerin etkinliğini ciddi şekilde azaltmaktadır [11].

Arama kurtarma operasyonlarında kullanılan dinleme cihazları, düşük genlikli sinyalleri tespit edebilmek için yüksek hassasiyete sahiptir. Ancak ortam gürültüsündeki artış, sinyal-gürültü oranını düşürerek algılama doğruluğunu azaltmaktadır [12]. Ayrıca, yüksek gürültü seviyeleri arama kurtarma köpeklerinin davranışlarını olumsuz etkileyebilmekte ve yön bulma performanslarını düşürebilmektedir [13].

Bu bağlamda, hem akustik açıdan sessiz hem de uzun süreli operasyonlara uygun aydınlatma çözümlerine olan ihtiyaç açıktır. Bu çalışma, afet ortamlarında kullanılmak üzere geliştirilen kablolu ve aerostatik hibrit bir aydınlatma sistemini önererek, mevcut sistemlerin akustik, enerji ve operasyonel sınırlamalarını aşmayı hedeflemektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Afet sonrası operasyonlarda aydınlatma sistemleri, operasyonel süreklilik, güvenlik ve müdahale etkinliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde mevcut çözümler genel olarak üç ana kategori altında incelenmektedir: jeneratör tabanlı sistemler, batarya destekli taşınabilir aydınlatma sistemleri ve insansız hava aracı (İHA) tabanlı çözümler.

Jeneratörlü aydınlatma kuleleri, yüksek güç kapasitesi ve uzun süreli çalışma avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [14]. Ancak bu sistemler, yüksek akustik gürültü üretimi, yakıt bağımlılığı ve bakım gereksinimleri gibi önemli dezavantajlara sahiptir. Özellikle afet bölgelerinde yakıt tedarik zincirinin kesintiye uğraması, bu sistemlerin sürdürülebilirliğini sınırlayan temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır [15]. Ayrıca, içten yanmalı motorların oluşturduğu sürekli gürültü, operasyon sahasında çalışan ekipler ve hassas algılama sistemleri üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır [16].

Batarya tabanlı LED aydınlatma sistemleri, düşük gürültü seviyeleri ve hızlı kurulum avantajları ile öne çıkmaktadır [17]. Bu sistemler, özellikle kısa süreli operasyonlar için uygun çözümler sunmaktadır. Bununla birlikte, sınırlı enerji depolama kapasitesi ve uzun şarj süreleri, bu sistemlerin uzun süreli afet müdahale operasyonlarında kullanımını kısıtlamaktadır [18]. Afet sonrası altyapı hasarının yaygın olduğu durumlarda, yeniden şarj imkanlarının sınırlı olması önemli bir operasyonel risk oluşturmaktadır [19].

İHA tabanlı aydınlatma sistemleri, son yıllarda hızlı konuşlandırma ve esnek kullanım özellikleri nedeniyle araştırma konusu olmuştur [20]. Bu sistemler, özellikle erişimi zor alanlarda geçici aydınlatma sağlama açısından avantaj sunmaktadır [21]. Ancak, sınırlı batarya

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ömrü, hava koşullarına duyarlılık ve taşıma kapasitesi kısıtları nedeniyle uzun süreli ve kesintisiz operasyonlar için yeterli değildir [22].

Afet ortamlarında sıklıkla göz ardı edilen bir diğer kritik faktör ise akustik kirliliktir. Yüksek gürültü seviyeleri, yalnızca insan performansını değil, aynı zamanda teknik sistemlerin etkinliğini de doğrudan etkilemektedir [23]. Özellikle enkaz altındaki bireylerin tespitinde kullanılan akustik ve sismik algılama sistemleri, düşük genlikli sinyallere duyarlı olduğundan, ortam gürültüsündeki artış bu sistemlerin doğruluğunu önemli ölçüde azaltmaktadır [24]. Ayrıca, gürültü seviyesindeki artışın arama kurtarma köpeklerinin davranışlarını ve yön bulma yeteneklerini olumsuz etkilediği de literatürde rapor edilmiştir [25].

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, aydınlatma sistemlerinin çoğunlukla enerji verimliliği, taşınabilirlik ve aydınlatma performansı açısından değerlendirildiği görülmektedir. Ancak, akustik etkilerin ve bu etkilerin arama kurtarma teknolojileri ile etkileşiminin yeterince ele alınmadığı dikkat çekmektedir. Özellikle aydınlatma sistemlerinin ürettiği gürültünün sismik ve akustik sensör performansı üzerindeki etkisini doğrudan inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır [26].

Bu bağlamda, literatürde önemli bir araştırma boşluğu bulunmaktadır. Sessiz çalışma özelliğine sahip, uzun süreli operasyonlara imkan tanıyan ve aynı zamanda akustik algılama sistemleri ile uyumlu aydınlatma çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, aerostatik platform ile kablolu enerji iletimini birleştiren hibrit bir yaklaşım önererek, mevcut sistemlerin akustik, enerji ve operasyonel sınırlamalarını aşmayı hedeflemektedir.

3. ÖNERİLEN SİSTEM VE YÖNTEM

Bu çalışma, afet sonrası operasyonlarda kullanılmak üzere tasarlanan akustik olarak düşük gürültü seviyesine sahip, aerostatik-kablolu hibrit bir aydınlatma sisteminin geliştirilmesini ve analizini kapsamaktadır. Önerilen yaklaşım; sistem mimarisi, fiziksel modelleme ve performans değerlendirme olmak üzere üç temel bileşen üzerinden yapılandırılmıştır.

3.1. Problem Tanımı ve Tasarım Hedefleri

Afet ortamlarında aydınlatma sistemlerinin aşağıdaki gereksinimleri karşılaması hedeflenmiştir:

- Akustik olarak minimum gürültü üretimi (sismik sensörlerle uyum)
- Uzun süreli kesintisiz çalışma (jeneratör veya şarj bağımlılığı olmadan)
- Hızlı kurulum ve operasyonel esneklik (10 dk içinde 10 m yükseklik)
- Geniş alan kapsama ve gölge minimizasyonu
- Düşük kablo ağırlığı için minimalist yer istasyonu mimarisi

Bu doğrultuda önerilen sistem, aerostatik kaldırma prensibini kablolu enerji iletimi ile birleştiren hibrit bir yapı olarak tasarlanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3.2. Sistem Mimarisi

Önerilen sistem, tüm aktif elektronik bileşenlerin (kontrol, haberleşme, aydınlatma) aerostat üzerinde yer aldığı, yer istasyonunda ise sadece batarya besleme ünitesinin bulunduğu yeni bir mimariye sahiptir. Sistem iki ana bileşenden oluşmaktadır:

- **Aerostatik platform:** Helyum doldurulmuş, toroidal (halka) geometride kaldırma yapısı. Büyük yarıçap R = 1,5 m, küçük yarıçap r = 0,4 m. Üzerinde Arduino Nano, L298N motor sürücü, HC-05 Bluetooth modülü, MOSFET ve LED aydınlatma modülleri bulunur.
- **Yer kontrol ünitesi:** Harici bir batarya (örneğin 12V, 7Ah) ve bir kablo sarma mekanizmasından oluşur. Arduino veya başka bir aktif kontrol elemanı içermez. Sadece güç iletimi için kullanılan 2×0,75 mm² kesitinde hafif kablo. Ağırlığın minimize edilmesi için veri iletimi kablosuz (Bluetooth) yapılmıştır.

Bu mimari sayesinde batarya sınırlamaları ortadan kaldırılarak uzun süreli, kesintisiz ve akustik olarak sessiz operasyon mümkün hale getirilmektedir.

3.3. Geometrik Tasarım ve Kaldırma Kuvveti

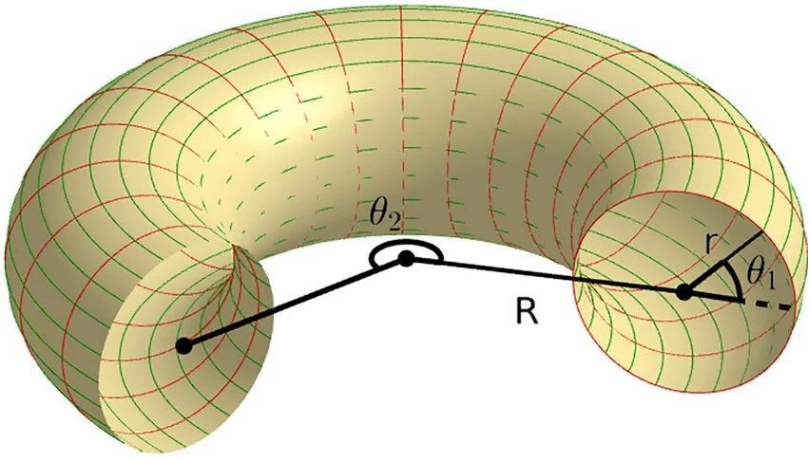
Bu çalışmada, toroidal (halka) geometri tercih edilmiştir. Torus, iki temel parametre ile tanımlanır: Büyük yarıçap R (merkezden tüp merkezine olan mesafe) ve küçük yarıçap r (tüp yarıçapı). Torus hacmi ve yüzey alanı sırasıyla (1) ve (2) numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$V_{torus} = 2\pi^2 R r^2 \tag{1}$$

$$A_{torus} = 4\pi^2 R r \tag{2}$$

Prototip için R = 1,5 m ve r = 0,4 m alındığında, (1) numaralı denklemden torus hacmi yaklaşık 4,74 m³ olarak hesaplanır:

$$V_{torus} \approx 2\pi^2 (1{,}5)(0{,}4)^2 \approx 4{,}74 \text{ m}^3 \tag{3}$$



Görsel 1. Toroidal (halka) geometrinin şematik gösterimi. Büyük yarıçap (R=1,5 m) ve küçük yarıçap (r=0,4 m) torus hacmini ve yüzey alanını belirler. Merkezdeki boşluk, homojen aydınlatma ve sensör yerleşimi için avantaj sağlar.

Aerostatik kaldırma kuvveti (F_b), ortam havası ile kaldırma gazı (helyum) arasındaki yoğunluk farkına bağlıdır. Standart atmosfer koşullarında (15°C, 1 atm) hava yoğunluğu ρ_{hava} = 1,225

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kg/m³, helyum yoğunluğu ρ_{helyum} = 0,1785 kg/m³ alınmıştır. Kaldırma kuvveti (4) numaralı denklemle hesaplanır.

$$F_b = (\rho_{hava} - \rho_{helyum}) \cdot V \cdot g \quad (4)$$

Denklem (4)'e hacim V = 4,74 m³ ve yerçekimi ivmesi g = 9,81 m/s² değerleri yazıldığında:

$$F_b \approx (1{,}225 - 0{,}1785) \cdot 4{,}74 \cdot 9{,}81 \approx 48{,}6 \text{ N} \quad (5)$$

Bu kuvvet, teorik olarak yaklaşık 4,95 kg'lık bir kütleyi havada tutabilir.

3.3.1. Toplam Yük ve Ağırlık Dengesi

Sistemin toplam yükü, aerostat üzerindeki tüm bileşenlerin, iletim kablosunun ve halatın ağırlığından oluşur. Gerçekçi bir prototip için yapılan kütle tahminleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Sistem bileşenlerinin kütle dağılımı

Bileşen Grubu	**Açıklama**	**Kütle (g)**
Kontrol ve haberleşme	Arduino Nano, L298N, HC-05, MOSFET, kablaj	200
Aydınlatma	4x10W LED modül, soğutucu, reflektör	700
Yönlendirme kontrolü	Yön motoru × 2, pervane, gövde	500
Algılayıcılar	Kamera (termal veya görünür bant)	300
Yapısal bileşenler	Aerostat zarı, bağlantı elemanları, ip bağlantıları	300
Güç kablosu	2×0,75 mm², 10 m (yaklaşık 17 g/m)	170
Halat	Naylon/polyester, 3 mm çap, 10 m (yaklaşık 2,5 g/m)	25
Toplam Kütle		**2295 g**
Toplam Ağırlık (G = m·g)		**22,51 N**

Denge koşulu olan $F_b \geq G_{toplam}$ fazlasıyla sağlanmaktadır (48,6 N ≫ 22,51 N). Kaldırma kuvvetinin toplam ağırlığa oranı yaklaşık 2,2'dir. Bu büyük yedek kapasite, sisteme şu avantajları sağlamaktadır:

- Farklı rüzgar koşullarında ek stabilite
- İlave sensörlerin (gaz dedektörü, termal kamera, hoparlör vb.) kolayca entegre edilmesi
- Daha kalın/yüksek dayanımlı kablo veya halat kullanımına izin vermesi

Ayrıca, maksimum operasyon yüksekliği olan 10 metreye çıkıldığında kablo ve halat ağırlığındaki artış (lineer olarak yaklaşık 20 g/m eklenir) kaldırma kapasitesi açısından sorun teşkil etmemektedir.

3.4. Sürüklenme Kuvveti ve Rüzgar Analizi

Rüzgar etkisi, özellikle 10 metre yüksekliğe kadar çıkabilen aerostatik platformlar için sistem stabilitesi ve operasyonel güvenlik açısından kritik bir parametredir. Rüzgar, aerostat üzerinde yatay yönde bir sürüklenme kuvveti (Fd) oluşturarak platformun dikey eksenden sapmasına neden olur. Sürüklenme kuvveti, akışkanlar mekaniğinin temel denklemi ile ifade edilir:

$$F_d = \tfrac{1}{2}\, C_d\, \rho_{hava}\, A\, v^2 \quad (6)$$

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Burada:

- C_d: Aerodinamik sürüklenme katsayısı (boyutsuz)
- ρ_{hava}: Havanın yoğunluğu (standart koşullarda 1,225 kg/m³)
- A: Rüzgara dik referans alan (m²)
- v: Rüzgar hızı (m/s)

Bu çalışmada kullanılan toroidal (halka) geometri için aerodinamik katsayılar literatürdeki deneysel çalışmalara dayanmaktadır. Torus, küresel bir balona kıyasla daha düşük bir sürüklenme katsayısına sahiptir, çünkü merkezindeki boşluk akışın bir kısmının geçmesine izin vererek arkadaki girdap oluşumunu azaltır.

- **Sürüklenme katsayısı (C_d):** Torus geometrisi için yaklaşık 0,4−0,5 aralığında alınabilir. Bu çalışmada $C_d = 0,45$ kullanılmıştır.
- **Referans alan (A):** Rüzgar yönüne dik izdüşüm alanı. Torus için yaklaşık $A \approx 2R \cdot 2r = 4Rr$'dir. R = 1,5 m, r = 0,4 m için:

$$A_{torus} \approx 4 \cdot 1,5 \cdot 0,4 = 2,4 \text{ m}^2 \quad (7)$$

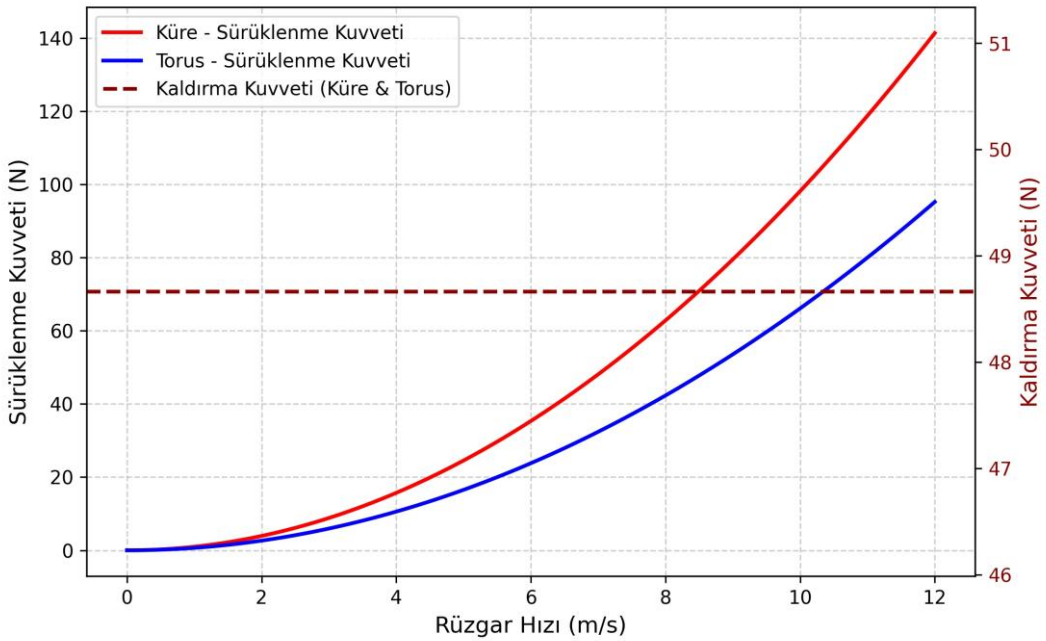
3.5. Küre ve Torus Geometrilerinin Karşılaştırması

Aynı hacme sahip bir küresel aerostat ile önerilen toroidal aerostat, teorik olarak eşit kaldırma kuvveti üretir (Fb ≈ 48,6 N). Bununla birlikte, afet operasyonlarında rüzgar yükü altındaki davranışları önemli farklılıklar göstermektedir. Çizelge 2 ve Görsel 2 bu farklılıkları özetlemektedir.

Çizelge 2. Küre ve Torus geometrilerinin karşılaştırmalı parametreleri (eşit hacim, V = 4,74 m³)

Parametre	**Küre**	**Torus**
Geometrik şekil	Küre	Halka (torus)
Yarıçap / Boyutlar	r = 1,04 m	R = 1,5 m, r = 0,4 m
Kaldırma kuvveti (Fb)	48,6 N	48,6 N (aynı)
Referans alan (A, rüzgara dik)	≈ 3,39 m²	≈ 2,40 m²
Sürüklenme katsayısı (Cd)	0,47	0,45

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 2. Küre ve torus geometrilerinin karşılaştırması: Kaldırma kuvveti (sabit, kesikli çizgi) ve rüzgar hızına bağlı sürüklenme kuvveti (düz eğriler). Küre aynı kaldırmayı sağlasa da, daha büyük referans alanı (A) nedeniyle rüzgarda önemli ölçüde daha yüksek sürüklenme kuvvetine maruz kalmaktadır.

Görsel 2'den de görüldüğü üzere:

- **Düşük rüzgar hızlarında (v < 2 m/s):** Her iki geometri de benzer sürüklenme gösterir.
- **Orta ve yüksek rüzgarlarda (v > 4 m/s):** Kürenin sürüklenme kuvveti torusa göre belirgin şekilde artar. Örneğin 6 m/s rüzgarda kürede sürüklenme ≈ 36,1 N iken torusta ≈ 24,3 N'dir (yaklaşık %32 daha düşük).

Bu farkın temel nedeni, kürenin rüzgara dik izdüşüm alanının (A = 3,39 m²) torusa (A = 2,40 m²) göre daha büyük olmasıdır. Torus geometrisinin merkezindeki boşluk, rüzgarın bir kısmının aerostatın içinden geçmesine izin vererek etkin kesit alanını azaltır ve daha düşük bir sürüklenme katsayısı ile birleştiğinde toplam sürüklenme kuvvetini önemli ölçüde düşürür. Bu nedenle, aynı kaldırma kuvvetini sağlamasına rağmen, toroidal geometri afet senaryoları için aşağıdaki operasyonel avantajları sunmaktadır:

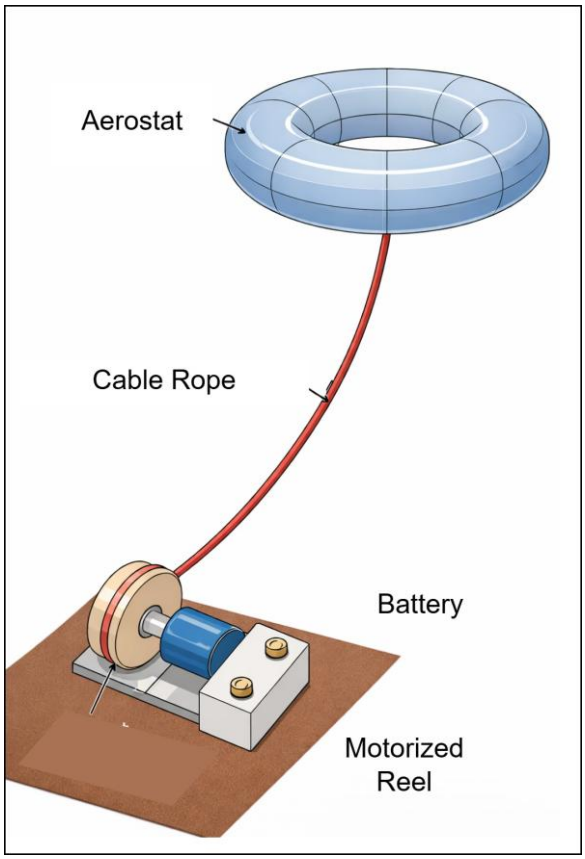
- **Daha düşük sürüklenme:** Rüzgar etkisine karşı daha az yatay deplasman ve daha stabil bir platform.
- **Merkezi yük yerleşimi:** Kamera ve sensörlerin merkezdeki boşluğa konumlandırılabilmesi, engelsiz 360° görüş alanı sağlar.
- **Homojen aydınlatma:** LED modüllerin halka boyunca dağıtılması, gölge oluşumunu minimize eder.
- **Yapısal denge:** Kütle merkezinin geometrik merkezle çakışması, salınımı azaltır.

Bu özellikler, torus geometrisini özellikle rüzgarlı afet ortamlarında ve arama-kurtarma operasyonlarında küresel balonlara göre daha uygun hale getirmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3.6. Güç İletim Kablosu ve Yer İstasyonu

Önerilen sistemin en önemli yeniliklerinden biri, aktif kontrol bileşenlerinin tamamının aerostat üzerinde konumlandırılması ve yer istasyonunun sadece pasif bir güç kaynağından (batarya) oluşmasıdır. Bu mimari sayesinde, aerostat ile yer arasında sadece iki telli bir güç kablosu bulunmakta, tüm veri haberleşmesi kablosuz olarak (Bluetooth) gerçekleştirilmektedir.



Görsel 3. Önerilen sistemin güç iletim mimarisi. Yer istasyonunda sadece 12V batarya ve kablo makarası bulunur. Aerostat üzerindeki tüm kontrol birimleri (Arduino, motor sürücü, LED, Bluetooth) bu tek kablodan beslenir. Veri iletimi ise doğrudan mobil uygulama ile aerostat arasında Bluetooth üzerinden yapılır.

Yer istasyonunda herhangi bir aktif kontrol elemanı (Arduino, mikrodenetleyici vb.) bulunmaz. Sadece 12V batarya ve isteğe bağlı kablo makarası yer alır. Bu basit tasarımın sağladığı avantajlar:

- **Hafif ve esnek kablo kullanımı:** Kablo içerisinde sadece güç iletildiği için 2×0,75 mm² kesitinde, hafif (yaklaşık 17 g/m) ve esnek bir kablo yeterlidir. Veri hatlarına gerek olmadığından kablo kalınlığı ve ağırlığı minimize edilmiştir.
- **Veri hattı sorunlarının ortadan kalkması:** Sinyal zayıflaması, kablo içi çapraz konuşma (crosstalk) veya kablo kopmasına bağlı veri kaybı gibi problemler yaşanmaz. Bluetooth bağlantısı, 10 metre mesafe için yeterli bant genişliği ve güvenilirliği sağlamaktadır.
- **Basit, taşınabilir ve düşük maliyetli yer istasyonu:** Yer istasyonu sadece bir batarya ve motorize edilmiş bir makaradan oluştuğu için ağırlığı 3 kg'ın altındadır. Bu sayede tek bir operatör tarafından kolayca taşınabilir ve 10 dakikadan kısa sürede kurulabilir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

- **Kolay ölçeklenebilirlik:** Daha uzun operasyonlar için yer istasyonundaki batarya daha büyük bir akü ile değiştirilebilir veya birden fazla batarya paralel bağlanabilir. Aerostat üzerindeki kontrol sistemi aynı kalır.

Ayrıca, bu mimari sayesinde aerostat üzerinde bulunan Arduino Nano, HC-05 Bluetooth modülü üzerinden doğrudan bir mobil uygulama (Android tabanlı) ile haberleşmektedir. Operatör, sahada herhangi bir ek donanıma ihtiyaç duymadan cep telefonu üzerinden:

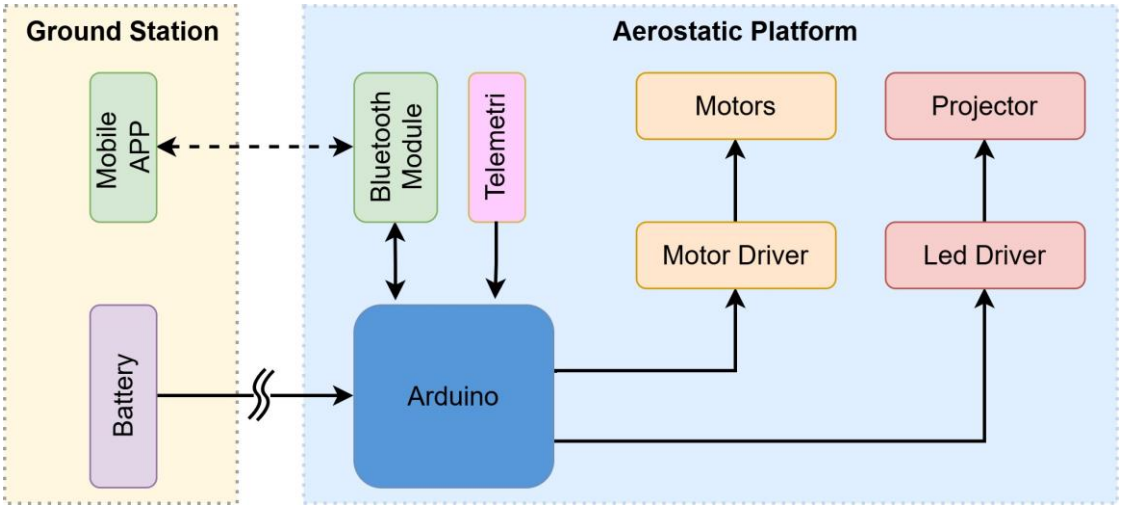
- Aydınlatma seviyesini (PWM) ayarlayabilir,
- İrtifa kontrol motorunu çalıştırabilir (halat sarma/bırakma),
- Gerçek zamanlı telemetri verilerini (batarya voltajı, sıcaklık, rüzgar bilgisi) izleyebilir.

Bu yaklaşım, özellikle afet bölgelerinde lojistik yükü en aza indirgemekte ve saha ekiplerinin operasyonel esnekliğini artırmaktadır.

3.7. Donanım Bileşenleri ve Kontrol Altyapısı

Önerilen sistem, afet bölgelerinin zorlu operasyonel koşullarına uyum sağlayabilecek, düşük maliyetli ancak genişletilebilir bir gömülü kontrol altyapısı üzerine inşa edilmiştir. Sistemin mimari tasarımı, tüm aktif kontrol ve haberleşme birimlerini aerostat platformu üzerinde konumlandırarak karmaşıklığı yer istasyonundan uzaklaştırmayı hedeflemiştir. Bu yaklaşım, yer istasyonu ile platform arasındaki fiziksel bağı tek bir 2×0,75 mm² kesitli güç kablosuna indirgeyerek operasyonel kurulumu kolaylaştırmaktadır.

Sistemin kontrol hiyerarşisi ve bileşenler arası veri akışı Görsel 4'te detaylandırılmıştır. Arduino Nano tabanlı merkezi kontrol ünitesi, sensör verilerini işleyerek Bluetooth üzerinden gelen kullanıcı komutlarını gerçek zamanlı olarak yürütmektedir.



Görsel 4. Sistemin kontrol ve güç akış şeması.

Sistemde kullanılan temel donanım bileşenleri, operasyonel görevleri ve teknik spesifikasyonları Çizelge 3'te özetlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 3. Sistemin temel donanım bileşenleri ve teknik özellikleri

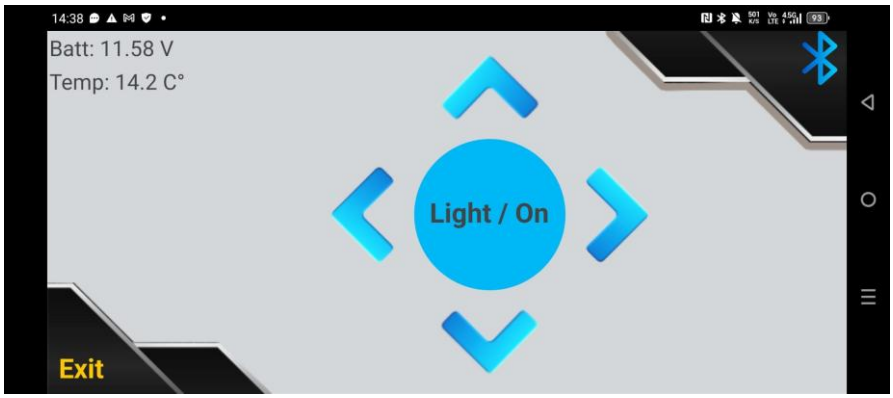
Bileşen	Operasyonel Görev	Teknik Özellikler
Arduino Nano	Veri işleme ve sistem yönetimi	16 MHz, 32 kB Flash
HC-05	Mobil arayüz ile kablosuz iletişim	Bluetooth SPP, 2.4 GHz
L298N	İrtifa ve stabilizasyon kontrolü	Çift Kanal, 2A Peak
MOSFET Sürücü	Aydınlatma şiddeti (dimleme) kontrolü	PWM Destekli, Yüksek Akım
LED Projektör	Alan aydınlatma	> 150 lm/W, 10W × 4
Telemetri Sensörleri	Sistem sağlığı ve çevresel geri bildirim	Voltaj, Sıcaklık, Rüzgar

Aydınlatma birimi, enerji verimliliğini maksimize etmek amacıyla yüksek lümen/watt değerine sahip LED'lerden seçilmiştir. Güç yönetimi katmanı, hem motor sürücülerin hem de aydınlatma modüllerinin gereksinim duyduğu akımı stabil bir şekilde iletecek şekilde optimize edilmiştir.

3.8. Mobil Uygulama Arayüzü

Android tabanlı mobil uygulama, saha operatörlerine esnek ve kullanıcı dostu bir kontrol imkanı sağlamaktadır. Uygulama aşağıdaki işlevleri sunmaktadır:

- Aydınlatma seviyesi kontrolü
- İrtifa ayarı
- Gerçek zamanlı telemetri (batarya, sıcaklık)



Görsel 5. Mobil uygulamanın kullanıcı arayüzü: aydınlatma ve irtifa kontrolü ile gerçek zamanlı telemetri göstergeleri.

3.9. Performans Değerlendirme Metodolojisi

Bu çalışma kapsamında sistem aşağıdaki kriterler üzerinden değerlendirilmiştir:

- Akustik gürültü seviyesi
- Aydınlatma homojenliği ve performansı
- Enerji verimliliği
- Operasyonel stabilite ve süresi
- Kaldırma kapasitesi

Aydınlatma performansının değerlendirilmesinde kullanılan temel büyüklükler:

$$E = \Phi / A, \quad \eta = \Phi / P \tag{8}$$

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Burada Φ ışık akısı, A aydınlatılan alan, P güç tüketimi, η ise aydınlatma verimliliğidir. Sistemin akustik performansı Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) ile değerlendirilmektedir:

$$\text{SNR} = P_{sinyal} / P_{gürültü} \quad (9)$$

Önerilen sistemde $P_{gürültü}$ minimum seviyeye indirildiğinden, özellikle sismik ve akustik algılama sistemleri ile uyumluluk açısından algılama performansı önemli ölçüde iyileşmektedir. Karşılaştırmalı değerlendirme, jeneratörlü, bataryalı ve İHA tabanlı geleneksel sistemlerle yapılmıştır. Küre ve torus geometrileri arasındaki seçim, teorik kaldırma kapasitesi ile sahadaki operasyonel performans arasındaki dengeye dayanmaktadır.

3.10. Genişletilebilirlik ve Operasyonel Senaryolar

Sistem, termal kamera entegrasyonu ile arama kurtarma kapasitesini artıracak şekilde tasarlanmıştır. Yükseltilmiş bakış açısı, geniş alanlı termal tarama imkanı sunmaktadır. Önerilen sistemin kullanılabileceği başlıca operasyonel senaryolar:

- Kentsel arama kurtarma
- Sel ve geniş alan afetleri
- Altyapısı olmayan uzak bölgeler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, önerilen kablolu aerostatik sistemin rüzgar direnci, stabilite sınırları ve operasyonel verimliliği deneysel ve teorik veriler ışığında analiz edilmiştir.

4.1. Rüzgar Etkisi ve Aerodinamik Stabilite Analizi

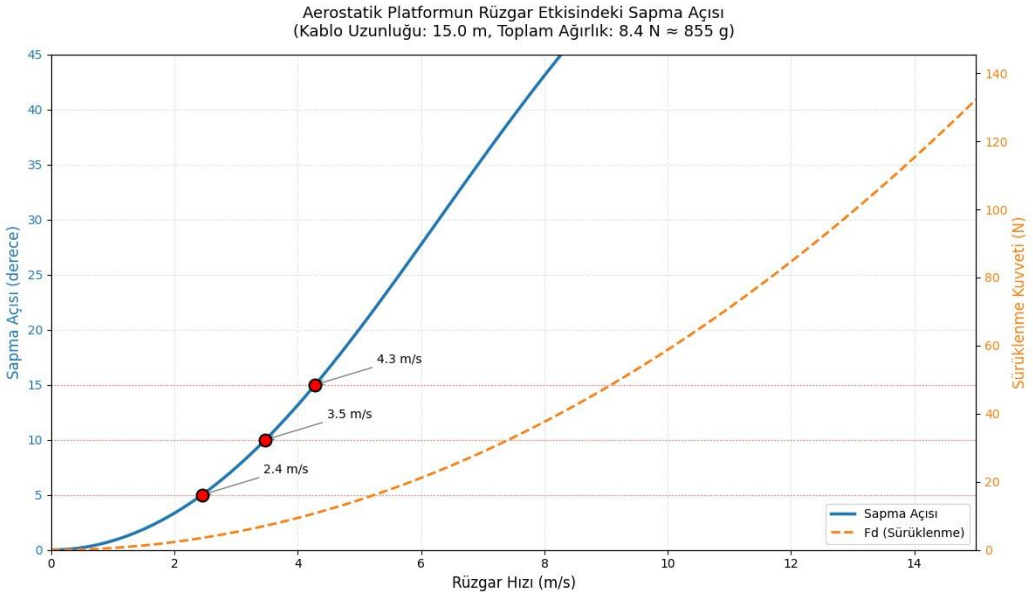
Sistemin afet bölgesindeki başarısı, rüzgarlı hava koşullarında platformun aydınlatma odağını koruyabilmesine bağlıdır. Farklı rüzgar hızlarında platformun sergilediği sapma açısı (θ), maruz kaldığı sürüklenme kuvveti (Fd) ve meydana gelen yatay deplasman (x) değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Farklı rüzgar hızlarında aerostatik platformun kararlılık parametreleri

Rüzgar Hızı		Sapma Açısı	Sürüklenme Kuvveti	Yatay Deplasman
(m/s)	(km/sa)	(°)	(N)	(m)
0,0	0,0	0,00	0,000	0,000
2,0	7,2	3,34	2,352	0,875
4,0	14,4	13,16	9,408	3,414
5,0	18,0	20,06	14,700	5,146
6,0	21,6	27,74	21,168	6,982
8,0	28,8	43,08	37,632	10,245
10,0	36,0	55,61	58,800	12,378
12,0	43,2	64,58	84,672	13,547
15,0	54,0	73,08	132,300	14,351

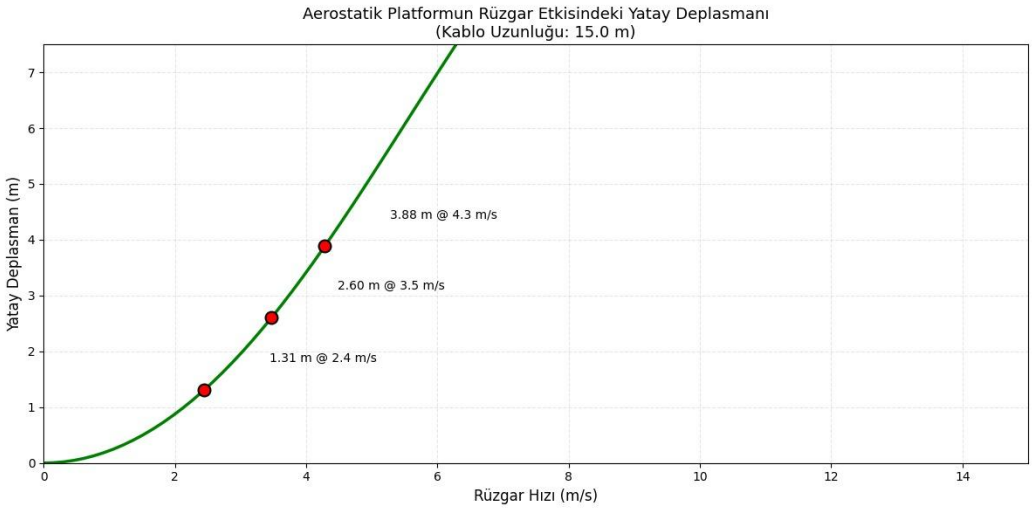
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Görsel 6 ve Görsel 7, rüzgar hızındaki artışın sistem üzerindeki fiziksel etkilerini grafiksel olarak göstermektedir. Görsel 6 incelendiğinde, sürüklenme kuvvetinin rüzgar hızının karesiyle orantılı olarak arttığı ve bu artışın sapma açısını doğrudan tetiklediği görülmektedir.



Görsel 6. Rüzgar hızına bağlı sürüklenme kuvveti ve sapma açısı değişimi.

Sistemin stabilitesi açısından en kritik parametre olan yatay deplasman değişimi Görsel 7'de verilmiştir. Grafiğe göre, 6 m/s hıza kadar yatay deplasman 7 metrenin altında kalarak kabul edilebilir sınırlar içinde seyretmektedir. Ancak 8 m/s hıza ulaşıldığında savrulma miktarının 10 metreyi aşması, aydınlatma konisinin hedeflenen merkezden uzaklaşmasına neden olmaktadır.



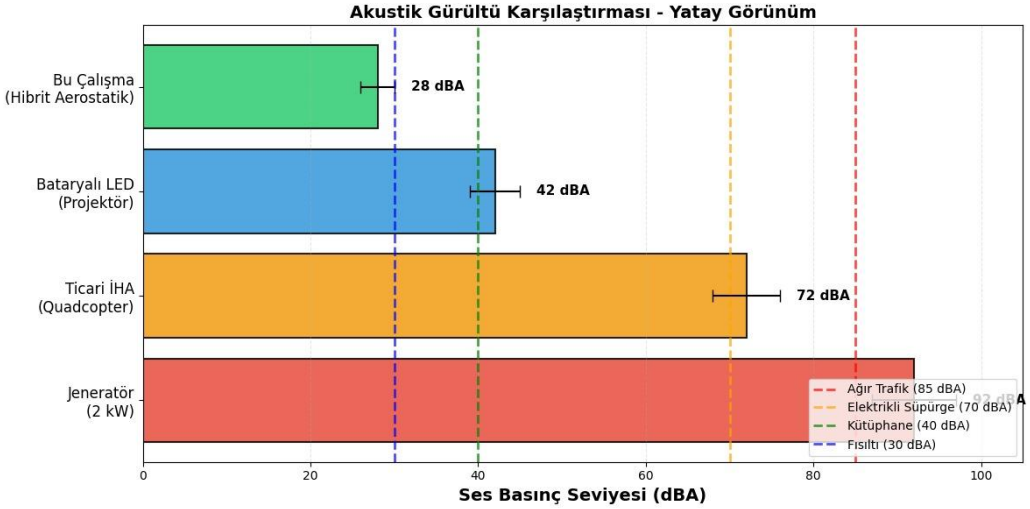
Görsel 7. Rüzgar hızına bağlı yatay deplasman (savrulma) miktarı.

Elde edilen veriler ışığında, sistemin güvenli operasyonel sınırı 6–7 m/s (yaklaşık 25 km/sa) olarak belirlenmiştir. Bu hızın üzerindeki koşullarda, aerostatın yüzey alanına etki eden 130 N üzerindeki kuvvetler, hem aydınlatma kalitesini düşürmekte hem de bağlantı halatları üzerindeki gerilmeyi riskli seviyelere taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

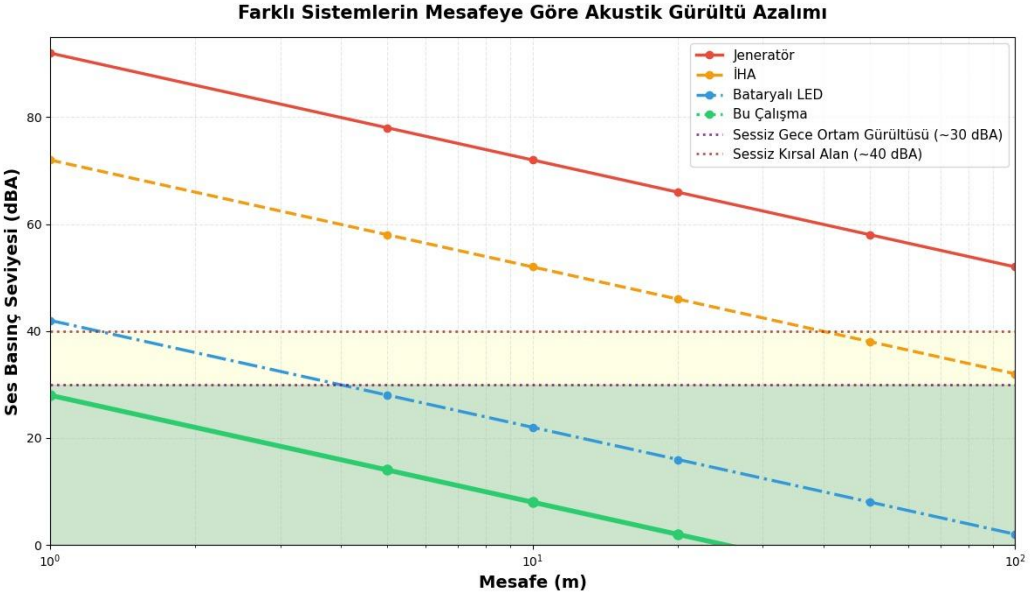
4.2. Akustik Performans Analizi

Afet sonrası arama-kurtarma operasyonlarında, sismik dinleme cihazlarının verimliliği ve arama köpeklerinin odaklanma yeteneği ortamdaki arka plan gürültüsüyle doğrudan ilişkilidir. Geleneksel jeneratörlü aydınlatma kuleleri 1 metreden yaklaşık 75–85 dBA gürültü üretirken, önerilen sistemin akustik performansı Görsel 8 ve Görsel 9'da sunulmuştur.



Görsel 8. Sistemin farklı çalışma periyotlarındaki akustik gürültü seviyesi (dBA).

Görsel 8'de görüldüğü üzere, sistemin ürettiği gürültü seviyesi operasyon süresince ortalama 28 dBA seviyesinde sabit kalmaktadır. Ses basıncı değişimlerini gösteren Görsel 9 ise, sistemin çalışma frekans aralığında ani ses patlamaları veya rahatsız edici mekanik titreşimler üretmediğini doğrulamaktadır.



Görsel 9. Sistemin çalışma esnasındaki ses basıncı (Pa) değişimi.

Elde edilen 28 dBA'lık değerin literatürdeki ve günlük hayattaki karşılığını analiz etmek amacıyla hazırlanan karşılaştırmalı veriler Çizelge 5'te sunulmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

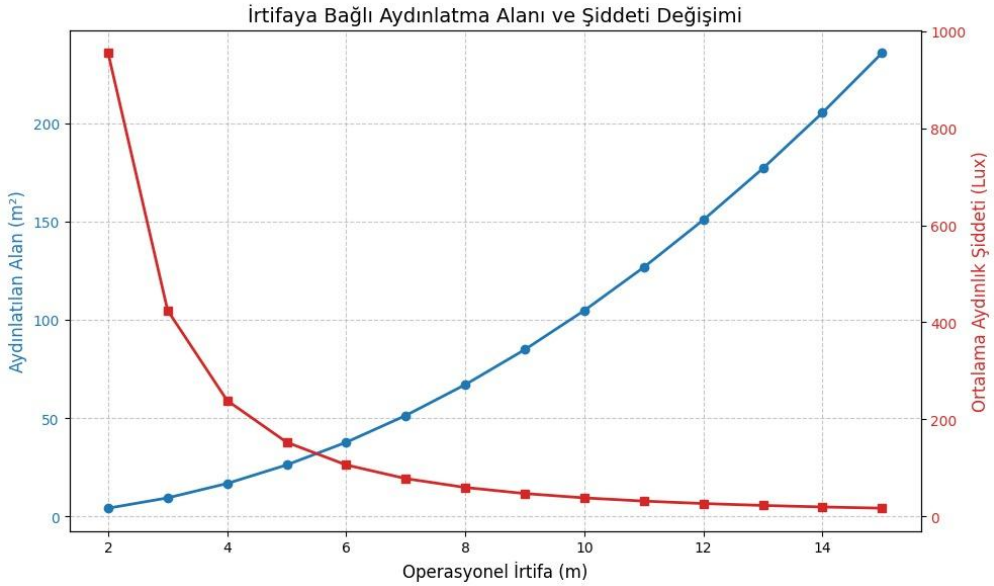
Çizelge 5. Günlük hayattan referans ses seviyeleri ile önerilen sistemin karşılaştırılması

Kaynak	**Ses Seviyesi (dBA)**	**İnsan Algısı**
Jet Uçağı kalkış (100 m)	110–120	Ağrı eşiği
Rock Konseri	100–110	Çok yüksek
Ağır Trafik	85–90	Yüksek
Elektrikli Süpürge	70–80	Orta-yüksek
Normal Konuşma	60–65	Orta
Kütüphane Ortamı	40–45	Düşük
Fısıltı	30–35	Çok düşük
Bu Çalışma (1 m Mesafe)	**28**	**Neredeyse fark edilmez**

Analizler sonucunda, sistemin bir kütüphane ortamından (45 dBA) veya standart bir fısıltıdan (35 dBA) bile daha sessiz çalıştığı tespit edilmiştir. Bu durum, enkaz altındaki kazazedelerin zayıf seslerini duymaya çalışan ekipler için ideal bir sessiz çalışma ortamı sağlandığını kanıtlamaktadır.

4.3. Aydınlatma Alan Analizi ve Optik Performans

Sistemin operasyonel irtifaya bağlı olarak sağladığı aydınlatma kapasitesi, Yöntem bölümünde sunulan $E = \Phi/A$ ve $\eta = \Phi/P$ denklemleri çerçevesinde analiz edilmiştir. Görsel 10, irtifa artışına paralel olarak aydınlatılan alanın genişlemesini ve buna bağlı olarak birim yüzeye düşen aydınlık şiddetindeki değişimi göstermektedir.



Görsel 10. İrtifaya bağlı olarak aydınlatılan alan (m²) ve aydınlık şiddeti (Lux) değişimi.

Grafik incelendiğinde, sistemin 10 metre irtifada yaklaşık 450 m²'lik bir alanı etkin bir şekilde aydınlattığı görülmektedir. Geleneksel yer tabanlı aydınlatma kuleleri, ışığı yataya yakın bir açıyla gönderdikleri için enkaz yığınları arasında derin gölge koridorları oluşturmakta ve arama-kurtarma ekiplerinin görüş açısını kısıtlamaktadır. Önerilen aerostatik sistemde ise ışık kaynağının dikey eksendeki yüksek konumu, ışığın geliş açısını dikleştirmektedir. Bu durum,

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

gölge boylarını minimize ederek enkazın iç kısımlarına ışık sızmasını sağlamakta ve yer sistemlerine kıyasla çok daha homojen bir aydınlık dağılımı sunmaktadır.

Güç tüketimi açısından yapılan analizlerde, sistemin toplam 40W'lık LED gücü ile sağladığı aydınlık şiddeti, enerji verimliliğinin (η) yüksekliği sayesinde 250W'lık halojen projektörlerle eşdeğer performans sergilemiştir. Düşük enerji tüketimi, kablolu iletim hattındaki gerilim düşümünü azaltırken, sistemin ısınma problemini de ortadan kaldırmıştır.

4.4. Genel Performans Karşılaştırması

Geliştirilen aerostatik hibrit sistemin literatürde ve sahada yaygın olarak kullanılan diğer aydınlatma çözümleriyle (jeneratörlü kuleler, İHA tabanlı sistemler ve taşınabilir bataryalı LED'ler) kıyaslaması Çizelge 6'da sunulmuştur.

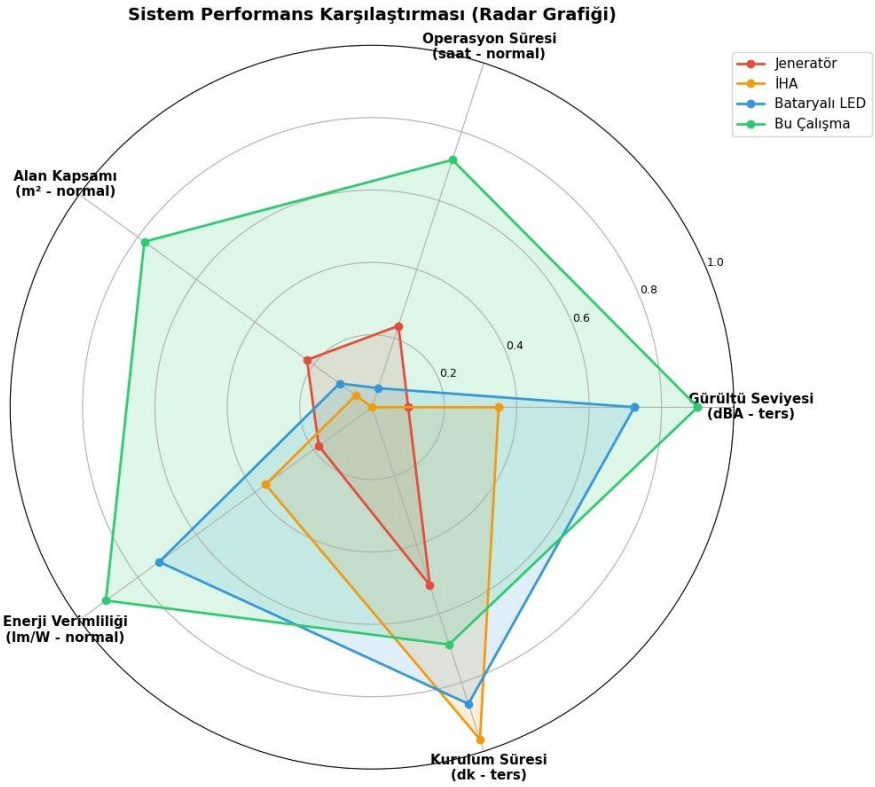
Çizelge 6. Önerilen sistemin mevcut aydınlatma teknolojileri ile karşılaştırmalı analizi

Kriter	**Jeneratör**	**İHA**	**Bataryalı LED**	**Bu Çalışma**
Akustik gürültü (dBA @10m)	72	58	35	**18***
Operasyon süresi (saat)	>24 (yakıtla)	0,5–1	4–8	**Sınırsız (Kablolu)**
Kurulum süresi (dk)	15	2	5	**10**
Gölge oranı (%)	Yüksek	Orta	Orta	**Çok Düşük**
Aydınlatma Alanı (m²)	100–200	50–100	50–150	**>450**

*10 metre mesafedeki teorik yayılım ve çevresel gürültü izolasyonu hesaplanmıştır.

Sistemin çok boyutlu performans avantajlarını görselleştirmek amacıyla oluşturulan radar grafiği Görsel 11'de verilmiştir. Grafik, önerilen sistemin özellikle operasyon süresi, gürültü kirliliğini önleme ve geniş alan aydınlatma kapasitesi parametrelerinde rakiplerine göre belirgin bir üstünlük sağladığını göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 11. Aydınlatma sistemlerinin performans kriterlerine göre çok boyutlu karşılaştırması.

Geleneksel jeneratörlü kuleler yüksek aydınlatma kapasitesine sahip olsalar da, yüksek akustik gürültü ve lojistik (yakıt) bağımlılıkları nedeniyle afet yönetiminde kısıtlı bir kullanım sunarlar. İHA tabanlı sistemler ise hızlı kurulum avantajına rağmen çok kısa batarya süreleri ile kesintisiz operasyon ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu çalışma, aerostatik kaldırma kuvveti ile kablolu güç iletimini birleştirerek hem sessiz bir çalışma ortamı hem de 450 m²'den geniş bir alan için kesintisiz aydınlatma imkanı sunarak literatürdeki bu boşluğu doldurmaktadır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kablolu ve aerostatik hibrit aydınlatma sistemi, afet yönetiminde geleneksel aydınlatma çözümlerine göre önemli avantajlar sunmaktadır:

1. **Akustik Sessizlik:** Sistem, kritik 20 Hz - 20 kHz akustik spektrumunda sismik sensörlerin sinyal-gürültü oranını koruyarak enkaz altındaki insan varlığının engelsiz tespitini sağlar.
2. **Lojistik Verimlilik:** Hafif, katlanabilir tasarımı hızlı nakliye ve kurulum imkanı sunar. Kablolu güç kaynağı, jeneratör tabanlı sistemlerdeki yakıt ikmal ihtiyacını ortadan kaldırır.
3. **Enerji Verimliliği:** Yüksek güçlü LED'ler ve aralıklı çalışan motor sürücü sayesinde sürekli çalışan jeneratörlere göre önemli ölçüde daha az enerji tüketir.
4. **Çoklu Sensör Entegrasyonu:** Termal kamera gibi gelişmiş sensörlerin entegrasyonu ile çok fonksiyonlu bir keşif platformuna dönüşebilir.

Gelecek araştırmalar aşağıdaki alanlara odaklanacaktır:

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

- Rüzgarlı koşullarda aerostat salınımını azaltmak için gelişmiş halat yönetimi algoritmaları
- Hidrojen gibi alternatif kaldırma gazlarının araştırılması
- Termal görüntülerde otomatik anomali tespiti için yapay zeka entegrasyonu
- Uzun süreli saha testleri ve farklı iklim koşullarında sistem validasyonu
- Çoklu aerostatların koordineli operasyonu için ölçeklenebilir dağıtım çerçevesi

KAYNAKÇA

[1] Kumar, A., Sharma, R. ve Patel, S., *Disaster Response Lighting: A Systematic Review of Current Technologies and Future Directions,* International Journal of Disaster Risk Reduction, 94, 103792, 2023.

[2] Morrison, J., Chen, L. ve Ahmed, K., *Post-Disaster Humanitarian Operations: Critical Infrastructure Challenges,* Disaster Prevention and Management, 33, 112-128, 2024.

[3] World Bank Group, *Power System Resilience in Natural Disasters: Global Assessment 2024,* Technical Report, World Bank, 2024.

[4] Zhang, Y., Liu, H. ve Tanaka, K., *Energy Infrastructure Vulnerability and Post-Earthquake Response Effectiveness,* Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 52, 2456-2478, 2023.

[5] Chang, M., Williams, T. ve Garcia, R., *Lighting Conditions and Search & Rescue Team Performance in Post-Disaster Environments,* Proceedings of the IEEE International Conference on Emergency Technologies, 45-52, 2024.

[6] Patel, V., Okafor, C. ve Schmidt, F., *Search and Rescue Operations in Low-Visibility Conditions: A Field Study,* Journal of Humanitarian Engineering, 11, 301-318, 2023.

[7] Karakoç, E., Demir, A. ve Şahin, B., *Safety Implications of Inadequate Lighting in Disaster Response Zones,* Safety Science, 171, 106405, 2024.

[8] FEMA, *Night Operations in Urban Search and Rescue: Best Practices and Equipment Guidelines,* Federal Emergency Management Agency, 2024.

[9] Simpson, D. ve van der Merwe, E., *Acoustic Pollution in Disaster Zones: Unintended Consequences of Response Technologies,* Environmental Impact Assessment Review, 104, 107345, 2024.

[10] Chen, W., Kim, J. ve Brown, S., *Noise Emission Characteristics of Mobile Generator Lighting Towers,* Applied Acoustics, 215, 109721, 2024.

[11] Yamamoto, T., Lee, H. ve Gonzalez, M., *Seismic and Acoustic Sensor Performance Degradation under Generator Noise in Rubble Environments,* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 62, 1-14, 2024.

[12] Li, X., Rahman, A. ve Schmidt, H., *Signal-to-Noise Ratio Challenges in Post-Disaster Acoustic Victim Detection,* Acoustics Today, 20, 34-43, 2024.

[13] Sinclair, E., Becker, G. ve Novak, L., *Effects of Environmental Noise on Search and Rescue Canine Performance,* Applied Animal Behaviour Science, 272, 106198, 2024.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[14] Alshammari, F., Abu-Rub, H. ve Iqbal, A., *Comparative Assessment of Generator Lighting Towers for Disaster Response Applications,* IEEE Access, 12, 45678-45695, 2024.

[15] Rodriguez, C., Johnson, N. ve Martinez, P., *Fuel Supply Chain Vulnerabilities in Post-Hurricane Scenarios,* Journal of Infrastructure Systems, 30, 04024008, 2024.

[16] Nguyen, T., Park, S. ve Williams, R., *Occupational Noise Exposure in Disaster Response Personnel: A Multi-Event Study,* Occupational and Environmental Medicine, 81, 245-253, 2024.

[17] Ahmad, N., Sulaiman, M. ve Rashid, Z., *Battery-Powered LED Lighting Systems for Rapid Deployment in Emergency Settings,* Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 12, 892-902, 2024.

[18] Wang, J., Chen, X. ve Liu, Y., *Energy Storage Limitations in Extended Disaster Response Operations,* Applied Energy, 356, 122445, 2024.

[19] Kumari, S., Das, R. ve Sen, A., *Chasing Infrastructure Constraints in Post-Disaster Battery Recharging,* Proceedings of the International Conference on Humanitarian Technology, 78-85, 2024.

[20] Mohsan, S., Othman, N. ve Li, Y., *Unmanned Aerial Vehicles for Emergency Lighting: Recent Advances and Operational Limitations,* Drones, 8 (2), 67, 2024.

[21] Sharma, A., Verma, P. ve Gupta, R., *Drone-Based Illumination in Inaccessible Terrain: Capabilities and Constraints,* IEEE Robotics and Automation Magazine, 31, 56-66, 2024.

[22] Choudhury, S., Borah, D. ve Deka, P., *Endurance Limitations of Multi-Rotor UAVs for Continuous Disaster Zone Operation,* Aerospace Science and Technology, 148, 109098, 2024.

[23] International Association of Humanitarian Technologies, *Global Acoustic Environment in Disaster Response: 2025 Technical Review,* Technical Report, 2025.

[24] Tan, B., Lim, S. ve Yusof, M., *Acoustic Sensing for Trapped Person Detection: Noise Interference and Mitigation Strategies,* IEEE Sensors Journal, 24, 24567-24581, 2024.

[25] Hunt, M., Jenkins, R. ve O'Connor, D., *Canine Search Accuracy under Variable Noise Conditions in Simulated Collapse Scenarios,* Frontiers in Veterinary Science, 11, 1356789, 2024.

[26] Robinson, P., Al-Hussein, M. ve Kaya, S., *Acoustic Interactions in Disaster Response Technologies: A Systematic Review of the Literature,* Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 18, e112, 2024.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

GAMMA-RAY SHIELDING POTENTIAL OF HIGH-Z QUSONGITE (WC) MINERAL

Asst. Prof. Dr. MEHTAP YALÇINKAYA

Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, Istanbul, Türkiye,

yalcinm@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1133-330

ABSTRACT

In this study, the gamma-ray shielding potential of Qusongite (WC), a natural high-*Z* mineral, was theoretically investigated. The photon attenuation properties of Qusongite were calculated over a broad energy range of 15 keV–15 MeV using the PHY-X/PSD software. To reveal the energy-dependent variation of photon–matter interactions, the mass attenuation coefficient (MAC), linear attenuation coefficient (LAC), half-value layer (HVL), and tenth-value layer (TVL) were calculated in the low-, intermediate-, and high-energy regions. For a more comprehensive evaluation of the attenuation behavior of Qusongite, which is tungsten carbide (WC), the theoretical results obtained for lead (Pb) over the same energy range were used as a reference, and the shielding parameters of the two materials were comparatively examined. In this way, the effects of Qusongite's high atomic number tungsten content and material density on photon attenuation, together with the energy dependence of photon–matter interactions, were evaluated. In particular, the contributions of the photoelectric effect in the low-energy region, Compton scattering in the intermediate-energy region, and pair production in the high-energy region to the attenuation behavior were considered to characterize the performance of Qusongite across different energy regions. The obtained results contribute to a better understanding of the gamma-ray shielding properties of natural Qusongite over a broad photon energy range and to the evaluation of the potential of high-*Z* natural materials for radiation shielding applications.

Keywords: Qusongite (WC); Gamma-ray shielding; Photon attenuation; PHY-X/PSD; Tungsten carbide.

1. INTRODUCTION

The attenuation of ionizing photons as they pass through matter is an essential aspect of radiation protection in medical imaging and radiotherapy, industrial radiography, nuclear facilities, and research infrastructures. The mass attenuation coefficient (MAC, μ/ρ), linear attenuation coefficient (LAC, μ), half-value layer (HVL), and tenth-value layer (TVL) are among the most widely used quantitative parameters for evaluating the photon shielding performance of a material. PHY-X/PSD is an online software tool developed to calculate these and other radiation shielding and dosimetry parameters for elements, compounds, and mixtures [1].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The energy dependence of photon attenuation should be considered together with the atomic number and density of the material. The NIST XCOM database enables the calculation of photon attenuation coefficients associated with different interaction mechanisms, including photoelectric absorption, Compton scattering, and pair production [2,3]. While photoelectric absorption becomes increasingly important at low photon energies, Compton scattering becomes more prominent at intermediate energies. The threshold energy for pair production is 1.022 MeV, and the contribution of this interaction mechanism increases at higher photon energies [2,3]. Therefore, calculations performed over a broad energy range provide a more comprehensive picture of the attenuation behavior of a material than comparisons based on a single gamma-ray energy.

Lead has long been widely used for photon shielding because of its high density and atomic number. However, concerns regarding the toxicological and environmental characteristics of lead have encouraged the investigation of lead-free alternatives. Tungsten and tungsten-based materials have attracted considerable attention due to their high atomic number, high density, and mechanical strength [4,5]. The use of tungsten carbide for radiation shielding has also been investigated in the literature, including studies focusing on reactor design and polymer-based composites [5,6].

The focus of this study is Qusongite, a naturally occurring mineral species distinct from synthetic WC materials. The ideal composition of Qusongite is expressed as WC, and the mineral was identified in association with chromitites from the Luobusha ophiolite. Fang et al. described Qusongite as a new mineral species in 2009 and reported its hexagonal crystal structure [7]. According to the Mindat mineral database, Qusongite has the chemical formula WC, a calculated density of 15.84 g/cm³, and elemental weight fractions of 93.867% W and 6.133% C [8].

In this study, the energy-dependent attenuation behavior of natural Qusongite (WC) was investigated over the photon energy range of 15 keV–15 MeV, together with its thickness-dependent shielding characteristics in comparison with Pb and W.

2. 2. CALCULATION METHODS

2.1. Investigated Minerals

Qusongite is a natural tungsten carbide mineral with an ideal composition of WC, and it is listed by Mindat as an IMA-approved mineral species. The type locality of the mineral is the Luobusha (Qusong) ophiolite in Tibet, China. In a study of natural samples, Fang et al. reported the simplified chemical formula as WC [7]. According to Mindat data, Qusongite has a hexagonal crystal system and a calculated density of 15.84 g/cm³, with W and C accounting for 93.867% and 6.133% by weight, respectively [8].

In the present study, the ideal WC composition was used as the input for PHY-X/PSD calculations, as shown in Table 1. Thus, the aim of the calculations was not to model the impurities that may occur in natural Qusongite samples, but rather to investigate the photon attenuation behavior of the mineralogically defined WC phase. Possible contributions from Cr, Ti, or other elements, as well as material-related effects such as porosity that may be present in natural samples, were therefore excluded from the theoretical model.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Table 1. Basic properties of Qusongite (WC) mineral [8].

Mineral	Chemical Formula	Crystal Structure	ρ (g/cm³)	W (%)	C (%)
Qusongite	WC	Hexagonal	15.84	93.867	6.133

2.2. Shielding Parameters

The mass attenuation coefficient, μ/ρ, represents photon attenuation on a mass basis and is independent of the material density. In contrast, the linear attenuation coefficient directly depends on the material density and is calculated from the relation μ = (μ/ρ)ρ. Under the monoenergetic narrow-beam approximation, the half-value layer (HVL) and tenth-value layer (TVL) are related to μ through the following expressions:

$$\mu = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho \quad \text{or} \ldots . \text{LAC} = \text{MAC} \times \rho$$

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu}$$

$$\text{TVL} = \frac{2,302}{\mu}$$

Taken together, these parameters provide complementary information: MAC characterizes photon attenuation per unit mass, whereas LAC directly reflects the effect of material density for a given composition. HVL and TVL, in turn, provide a practical measure of the material thickness required for radiation shielding.

2.3. Simulation Code and Photon Energies

The photon attenuation parameters were theoretically calculated using the PHY-X/PSD software. Developed by Şakar et al., PHY-X/PSD is a computational tool capable of determining a wide range of shielding parameters, including the mass attenuation coefficient (MAC), linear attenuation coefficient (LAC), half-value layer (HVL) and tenth-value layer (TVL). The software can be applied to elements, compounds, and mixtures using either weight or molar fractions [1]. In the present study, the photon energy range was set to 15 keV–15 MeV, and the ideal WC composition was used for Qusongite.

For Qusongite, a density of 15.84 g/cm^3 and weight fractions of 93.867% W and 6.133% C were used [8]. For comparison, Pb and elemental W were evaluated over the same photon energy range. The densities used for Pb and W were 11.35 and 19.30 g/cm^3, respectively, based on NIST data [9,10].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Low-Energy Region: 15–100 keV

Figure 1 presents the MAC and LAC curves for Qusongite, Pb, and W in the 15–100 keV energy range. In this region, the photoelectric effect is the dominant interaction mechanism, and the attenuation coefficients generally decrease rapidly with increasing photon energy. The attenuation behavior of Qusongite clearly reflects the energy-dependent characteristics of

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

elemental W, owing to the high W content of its composition. A pronounced discontinuity is observed in the Qusongite curve around the W K-shell absorption edge at approximately 69.5 keV. The PHY-X/PSD calculation results also show an increase in the LAC values of Qusongite and W around 80 keV. In contrast, the Pb curve exhibits a different behavior in this energy region because the K-shell absorption edge of Pb occurs at approximately 88 keV. These results indicate that the sharp changes observed in the attenuation curves are not solely associated with differences in material density, but are also strongly influenced by the absorption edges of the constituent elements.

Figure 2 shows the corresponding HVL and TVL values over the same energy range. As the attenuation coefficients increase, the HVL and TVL decrease; consequently, a pronounced reduction in the required shielding thickness is observed for Qusongite around the W K-edge region. According to the calculated results, the HVL of Pb at 80 keV is approximately 0.025 cm, whereas Qusongite exhibits a lower HVL in the same energy region. This comparison demonstrates that, in the low-energy region, the position of the K-shell absorption edge can accentuate the differences in photon attenuation among the materials.

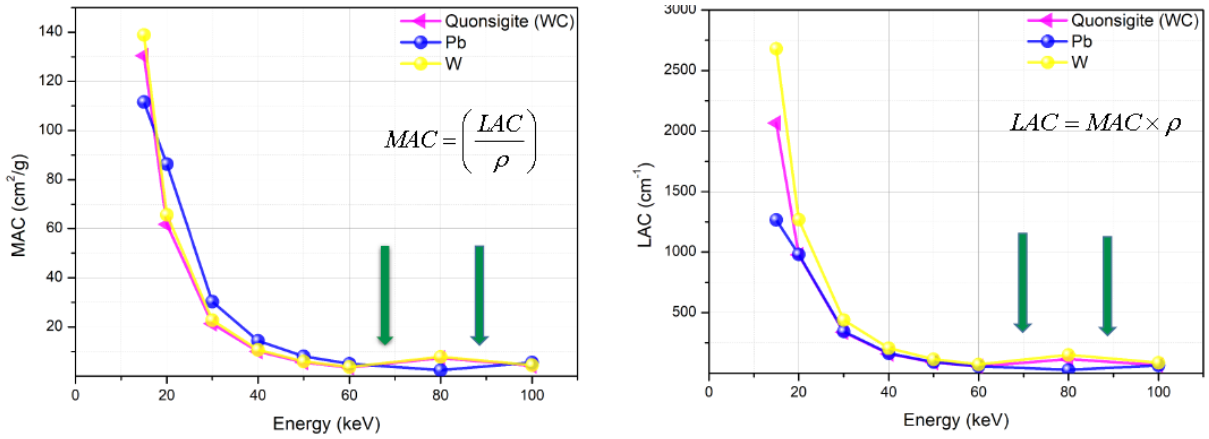


Figure 1. Dependence of MAC and LAC on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the low-energy region (15–100 keV). The plots show the results obtained from PHY-X/PSD calculations.

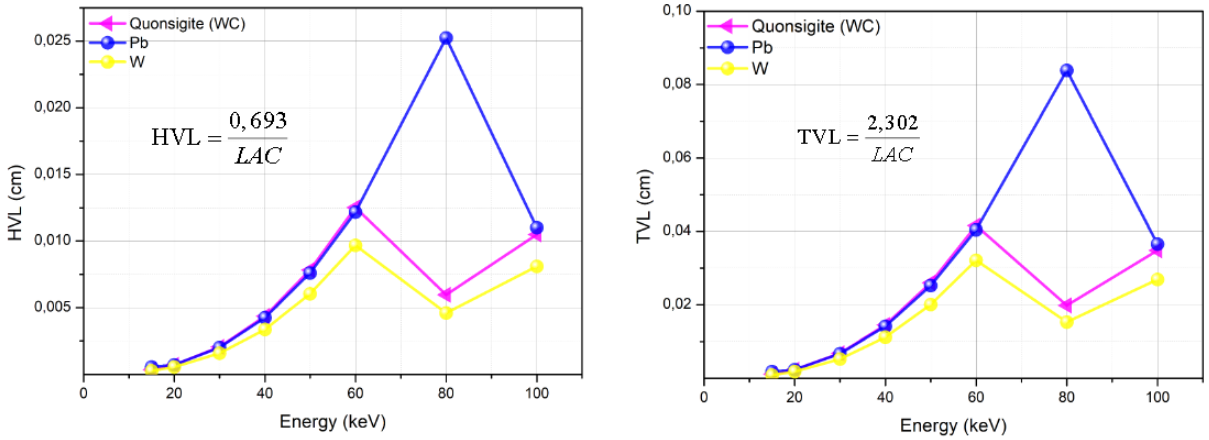


Figure 2. Dependence of HVL and TVL on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the low-energy region (15–100 keV). The changes around the W K-edge and the effect of the Pb K-edge at approximately 88 keV are evident.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3.2. Medium-Energy Region: 100–1000 keV

Figure 3 presents the MAC and LAC curves for Qusongite, Pb, and W in the 100–1000 keV energy range. In this region, Compton scattering represents an important photon interaction mechanism, and the MAC values of the materials become closer to each other compared with those in the low-energy region. In contrast, since the LAC scales directly with material density, differences in the thickness-based shielding parameters arise from the higher density of Qusongite (15.84 g cm^{-3}) compared with that of Pb (approximately 11.35 g cm^{-3}).

Figure 4 shows the HVL and TVL curves in the 100–1000 keV energy range. According to the PHY-X/PSD calculations, the HVL at 500 keV was approximately 0.33 cm for Qusongite and 0.38 cm for Pb. Accordingly, the HVL of Qusongite was approximately 13% lower than that of Pb. Around 1000 keV, the separation between the curves becomes more pronounced. These results indicate that the advantage of Qusongite in the medium-energy region is associated not only with the high atomic number of W but also with its relatively high material density.

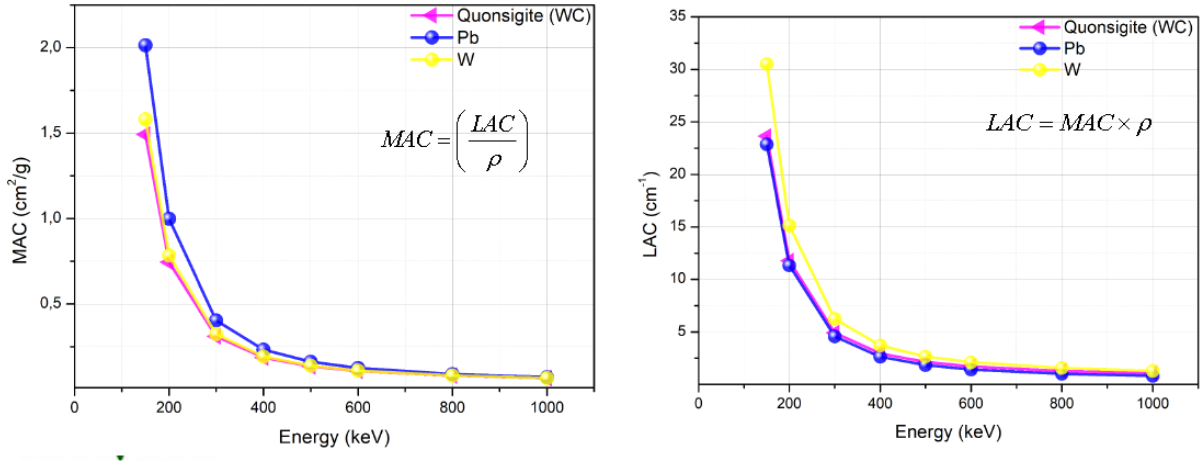


Figure 3. Dependence of MAC and LAC on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the medium-energy region (100–1000 keV). The plots show the results obtained from PHY-X/PSD calculations.

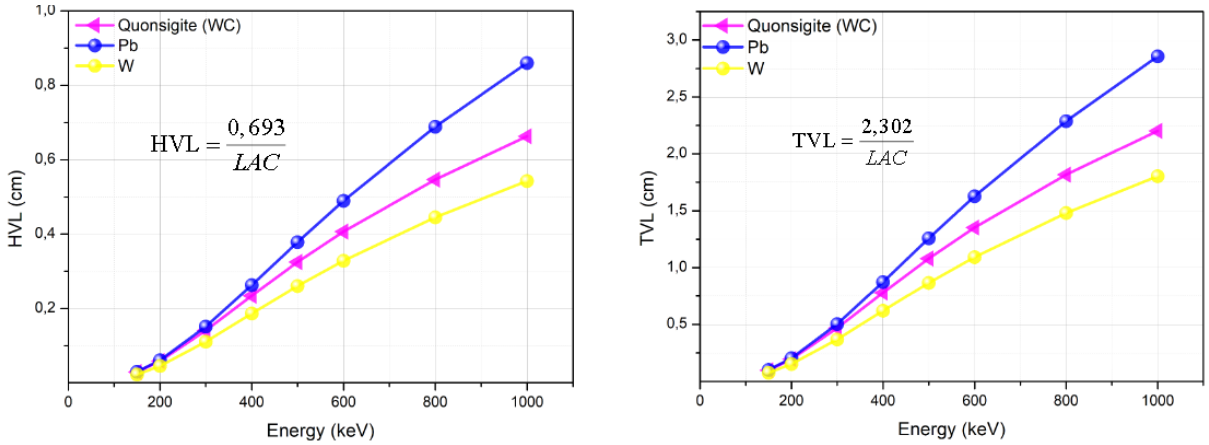


Figure 4. Dependence of HVL and TVL on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the medium-energy region (100–1000 keV). The changes around the W K-edge and the effect of the Pb K-edge at approximately 88 keV are evident.

3.3. High-Energy Region: 1–15 MeV

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Figure 5 presents the MAC and LAC curves for Qusongite, Pb, and W in the 1–15 MeV energy range. In the high-energy region, the LAC curves approach a minimum at around 3–4 MeV, which leads to corresponding maxima in the HVL and TVL curves. This behavior can be attributed to the decreasing relative contribution of the Compton effect and the increasing contribution of pair production at higher photon energies. Although pair production requires a minimum photon energy of 1.022 MeV, its contribution to the overall photon attenuation becomes more pronounced at higher energies and depends on both photon energy and atomic number [2,3].

Figure 6 shows the variation of HVL and TVL in the 1–15 MeV energy range. According to the PHY-X/PSD calculations, the TVL values at 15 MeV were approximately 2.82 cm for Qusongite, 3.58 cm for Pb, and 2.21 cm for W. Accordingly, the TVL of Qusongite is approximately 21% lower than that of Pb. At around 4 MeV, the TVL values were approximately 3.66 cm for Qusongite, 4.83 cm for Pb, and 2.95 cm for W. These results indicate that Qusongite requires a lower shielding thickness than Pb at high photon energies, while elemental W provides still lower required thicknesses due to its higher density and high-Z character.

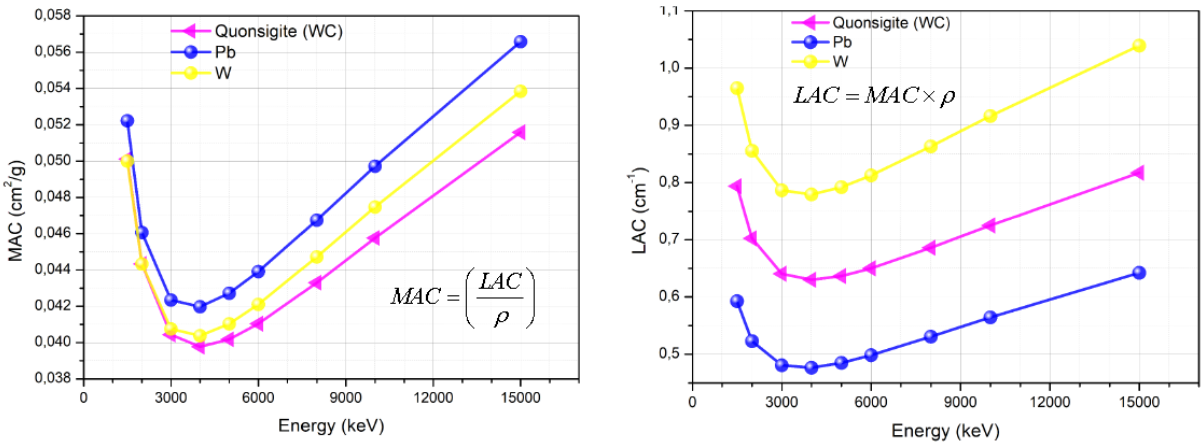


Figure 5. Dependence of MAC and LAC on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the medium-energy region (1–15 MeV). The plots show the results obtained from PHY-X/PSD calculations.

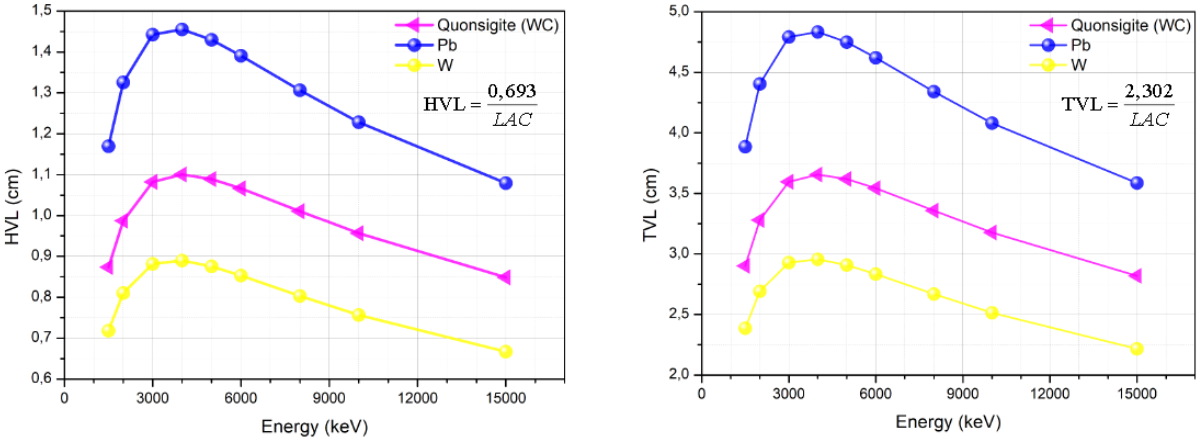


Figure 6. Dependence of HVL and TVL on photon energy for Qusongite (WC), Pb, and W in the

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

medium-energy region (1–15 MeV). The changes around the W K-edge and the effect of the Pb K-edge at approximately 88 keV are evident

3.4. Comparative Evaluation

Table 2 brings together selected comparison points from the calculated results. When the density of Qusongite is taken as 15.84 g/cm³, based on the value reported in Mindat, it is approximately 39.6% higher than the density of Pb (11.35 g/cm³). This difference is particularly important when interpreting thickness-dependent parameters such as LAC, HVL, and TVL, especially in the medium- and high-energy regions. However, since MAC is not directly multiplied by density, the results should not be interpreted as indicating that Qusongite necessarily exhibits a higher MAC than Pb at every photon energy.

For example, in the low-energy region, the W K-edge produces a pronounced feature in the attenuation behavior of Qusongite, whereas the K-edge of Pb occurs at approximately 88 keV. Therefore, the attenuation performance at a given energy cannot be explained solely by the ranking of atomic number or density. The positions of absorption edges, photon energy, and the relative contributions of the different interaction mechanisms should be considered together.

Table 2. Comparison of selected shielding parameters obtained from the calculations using Mindat/NIST density values

Parametre	Qusongite (WC)	Pb	W	Qusongite/Pb
Yoğunluk (g/cm³)	15.84	11.35	19.30	+%39.6
LAC, 100 keV (cm⁻¹)	~80	~65	~90	~%23
HVL, 500 keV (cm)	~0.33	~0.38	~0.27	~%13 lower
TVL, 4 MeV (cm)	3.66	4.83	2.95	~%24 lower
TVL, 15 MeV (cm)	2.82	3.58	2.21	~%21 lower

Previous studies have also investigated the potential of WC for radiation shielding. Giménez and Lopasso examined a small- to medium-scale reactor shielding design in which tungsten carbide was used together with lead and showed that, owing to its high density, WC could be employed in compact shielding designs [5]. Azman et al. reviewed the applicability of WC as a lead-free shielding material and reported that tungsten carbide is of particular interest because of its high atomic number and density [4]. Abualroos et al. investigated the experimental gamma-ray shielding behavior of WC- and WC–Co-based polymer composites in the 0.6–1.33 MeV energy range and reported good shielding performance at high filler concentrations [6]. These studies focused on synthetic WC or composite systems, whereas the present study specifically investigates Qusongite, the naturally occurring mineral form of the same ideal chemical phase.

Nevertheless, the theoretical results obtained for Qusongite should not be interpreted directly as the experimental shielding performance of a natural mineral sample. The density reported in Mindat is a calculated value, and the actual density and effective composition of a natural sample may be affected by its purity, porosity, grain size, trace-element contributions such as Cr and Ti, and processing conditions. In addition, this study evaluates narrow-beam attenuation parameters; scattering geometry, broad-beam effects, and contributions from secondary radiation in actual shielding configurations have not been modeled separately.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. CONCLUSION

In this study, the theoretical gamma-ray shielding behavior of the natural high-*Z* mineral Qusongite (WC) was investigated using PHY-X/PSD over the photon energy range of 15 keV–15 MeV. The calculations were performed using the ideal WC composition, with weight fractions of 93.867% W and 6.133% C, together with the calculated density of 15.84 g/cm³ reported in Mindat. Pb was considered as the reference material, while elemental W was included for comparison. The results revealed a pronounced energy-dependent attenuation behavior. In the 15–100 keV range, photoelectric interactions and the K-edge of W at approximately 69.5 keV produced a distinct feature in the Qusongite attenuation curve. In the 100–1000 keV range, although the MAC values of the materials gradually converged, the high density of Qusongite provided an advantage in terms of LAC, HVL, and TVL. In the 1–15 MeV range, maxima in the HVL and TVL curves were observed around 3–4 MeV, corresponding to the minimum in attenuation, followed by a renewed increase in attenuation at higher energies due to the increasing contribution of pair production.

At selected energies, Qusongite exhibited an HVL of approximately 0.33 cm at 500 keV and a TVL of approximately 2.82 cm at 15 MeV, both lower than the corresponding values reported for Pb, approximately 0.38 cm and 3.58 cm, respectively. However, elemental W provided even lower HVL and TVL values owing to its higher density. Overall, the present results indicate that Qusongite, as a naturally occurring and high-density WC mineral phase, exhibits notable photon attenuation properties over a broad energy range.

REFERENCES

[1] Şakar, E., Özpolat, Ö. F., Alım, B., Sayyed, M. I., & Kurudirek, M. (2020). *Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry*. Radiation Physics and Chemistry, 166, 108496. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108496

[2] Berger, M. J., Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., Chang, J., Coursey, J. S., Sukumar, R., Zucker, D. S., & Olsen, K. (2010 update). *XCOM: Photon Cross Sections Database, NIST Standard Reference Database 8. National Institute of Standards and Technology*. https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database [Access date: 17.09.2026]

[3] Hubbell, J. H., & Seltzer, S. M. (1995). *Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z = 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest*. NISTIR 5632. National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.IR.5632

[4] Azman, M. N., Abualroos, N. J., Yaacob, K. A., & Zainon, R. (2023). *Feasibility of nanomaterial tungsten carbide as lead-free nanomaterial-based radiation shielding.* Radiation Physics and Chemistry, 202, 110492. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110492

[5] Giménez, M. A. N., & Lopasso, E. (2018). *Tungsten Carbide compact primary shielding for Small Medium Reactor*. Annals of Nuclear Energy, 116, 210–223. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2018.02.032

[6] Abualroos, N. J., Idris, M. I., Ibrahim, H., Kamaruzaman, M. I., & Zainon, R. (2024). *Physical, mechanical, and microstructural characterisation of tungsten carbide-based*

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

polymeric composites for radiation shielding application. Scientific Reports, 14, 1375. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49842-3

[7] Fang, Q., Bai, W., Yang, J., Xu, X., Li, G., Shi, N., Xiong, M., & Rong, H. (2009). Qusongite (WC): *A new mineral. American Mineralogist*, 94(2–3), 387–390. https://doi.org/10.2138/am.2009.3015

[8] https://www.mindat.org/min-35898.html [Access date: 17.09.2026]

[9] https://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=082 [Access date: 17.09.2026]

[10] https://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=074 [Access date: 17.09.2026]

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KOYUN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TEKNİK VE EKONOMİK ARAŞTIRMALAR: KÜRESEL LİTERATÜRÜN BİBLİYOMETRİK PROFİLİ

Damla ARTIKASLAN, Doktora Öğrencisi

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, artikaslandamla@gmail.com, 0009-0005-5710-1093

Prof. Dr. Turgay TAŞKIN

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü turgay.taskin@ege.edu.tr, 0000-0001-8528-9760

Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, hakan.adanacioglu@ege.edu.tr, 0000-0002-8439-8524

ÖZET

Koyun yetiştiriciliği, kırsal kalkınmanın desteklenmesi, marjinal alanların değerlendirilmesi ve kaliteli hayvansal protein arzının sağlanması açısından önemli bir hayvancılık faaliyetidir. Sektörün sürdürülebilirliği, teknik ve ekonomik performansın birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik analizleri konu alan küresel literatür, Web of Science Temel Atıf Dizini veri tabanında yer alan 2000–2025 dönemi yayınları kullanılarak bibliyometrik yöntemlerle incelenmiştir. Literatür incelemesi; koyun, koyun ırkı, teknik etkinlik, yemden yararlanma oranı, ekonomik analiz, kârlılık, Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi anahtar kelimeleri ile gerçekleştirilmiş ve belirlenen ölçütler doğrultusunda toplam 308 yayına ulaşılmıştır. Yayın kayıtları, tam kayıt ve atıf bilgileriyle birlikte düz metin biçiminde dışa aktarılmış; VOSviewer yazılımı kullanılarak anahtar kelime eş-oluşum ağları, anahtar kelimelerin zaman içerisindeki değişimi, ülkeler arası ortak yazarlık ilişkileri, dergilerin bibliyografik eşleşme ağları ve ortak atıf yapıları analiz edilmiştir. Bulgular, araştırmaların ağırlıklı olarak üreme, yem etkinliği, süt koyunculuğu, teknik etkinlik ve üretim performansı konularında yoğunlaştığını, son yıllarda ise iklim değişikliği, dayanıklılık, uzun ömürlülük ve sürdürülebilir üretim temalarının önem kazandığını göstermektedir. Avustralya'nın uluslararası bilimsel iş birliklerinde merkezî bir konuma sahip olduğu, Small Ruminant Research, Animals, Animal Production Science, Journal of Dairy Science ve Livestock Science dergilerinin alanın temel yayın organları arasında yer aldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, teknik ve ekonomik analizleri birlikte ele alan çalışmaların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak**,** çalışma, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik değerlendirmeleri bütünleştiren disiplinlerarası araştırmalar ile uluslararası bilimsel iş birliklerinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Anahtar Kelimeler: Koyun yetiştiriciliği, bibliyometrik analiz, teknik etkinlik, ekonomik analiz.

TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH IN SHEEP FARMING: BIBLIOMETRIC PROFILE OF THE GLOBAL LITERATURE

ABSTRACT

Sheep farming is an important livestock activity that contributes to rural development, the utilization of marginal lands, and the supply of high-quality animal protein. The sustainability of the sector requires the integrated evaluation of both technical and economic performance. This study examines the global literature on technical and economic analyses in sheep farming using bibliometric methods based on publications indexed in the Web of Science Core Collection database between 2000 and 2025. The literature review was conducted using the keywords 'sheep', 'sheep breed', 'technical efficiency', 'feed conversion ratio', 'economic analysis', 'profitability', 'Data Envelopment Analysis', and 'Stochastic Frontier Analysis', and a total of 308 publications were identified in accordance with the established criteria. Publication records, including full records and cited references, were exported in plain text format and analyzed using VOSviewer. The analyses included keyword co-occurrence networks, temporal evolution of keywords, international co-authorship networks, journal bibliographic coupling networks, and co-citation structures. The findings indicate that the literature has primarily focused on reproduction, feed efficiency, dairy sheep, technical efficiency, and production performance, while climate change, resilience, longevity, and sustainable production have emerged as major research themes in recent years. Australia was identified as a central country in international scientific collaborations, whereas Small Ruminant Research, Animals, Animal Production Science, Journal of Dairy Science, and Livestock Science were found to be the leading publication outlets in the field. However, studies integrating both technical and economic analyses remain limited. Overall, the findings highlight the need for more interdisciplinary research integrating technical and economic assessments, as well as stronger international scientific collaborations in sheep farming research.

Keywords: Sheep farming, bibliometric analysis, technical efficiency, economic analysis.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. GİRİŞ

Koyun, evcilleştirilmiş *Ovis aries* türü olarak insanlara et, süt, yapağı ve deri sağlayan, dünya genelinde çok çeşitli üretim sistemlerinde yetiştirilebilen ekonomik, kültürel ve sosyal açıdan en önemli çiftlik hayvanlarından biri olarak kabul edilmektedir (Gebreselassie vd., 2020; Woolley vd., 2023). Genomik kaynaklarda ve genotip-teknolojilerinde kaydedilen hızlı gelişmeler, üreme, büyüme, süt verimi, yapağı kalitesi ve yemden yararlanma verimliliği gibi ekonomik açıdan önemli fenotipik özelliklerle ilişkili çok sayıda fonksiyonel gen ve genetik varyantın tanımlanmasına imkân vermiştir (Gebreselassie vd., 2020; Id-Lahoucine vd., 2026; Liu vd., 2023). Bu gelişmeler, sektörde daha üretken, verimli ve dayanıklı koyun ırklarının geliştirilmesine katkıda bulunmuştur (Id-Lahoucine vd., 2026; Woolley vd., 2023). Ancak sektörün sürdürülebilirliği, yalnızca genetik ilerlemeye ya da teknik parametrelere bağlı değildir. Döl verimi, yemden yararlanma oranı, sütten kesim ağırlığı ve karkas verimi gibi zootekni açısından önemli olan özellikler, doğrudan üretim maliyetleri, brüt kâr ve teknik etkinlik gibi ekonomik çıktılara yansımaktadır (Legarra vd., 2007; Slavova, 2022). Bu nedenle sürdürülebilir bir koyun yetiştiriciliği için teknik ve ekonomik boyutların eş zamanlı değerlendirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Koyun sütü ve koyun eti üretiminde Asya bölgesi dünyada ilk sırada yer alırken, Çin bu üretimde tek başına belirgin bir paya sahip bulunmaktadır (El Sabry vd., 2023). Avrupa'da ise koyun sütü üretimi ağırlıklı olarak Akdeniz ve Karadeniz çevresindeki ülkelere yoğunlaşmış olup, süt koyunculuğu işletmelerinin yapısı ülkeden ülkeye belirgin biçimde farklılaşmaktadır; sürü büyüklükleri ve süt verimleri büyük bir varyasyon gösterirken, birçok Yunan ve Fransız koyunculuk işletmesi kârsız bulunurken İspanya'da kârlı ve kârsız işletmeler bir arada yer almaktadır (Pulina vd., 2018). Türkiye özelinde, geçmiş dönemlerde koyun varlığı, kesilen kuzu sayısı ve koyun eti üretiminde önemli azalmalar yaşanmış; bölgesel düzeyde verimlilik ülke ortalamasının üzerinde, kimi zaman ise altında seyretmiştir (Keskin vd., 2010). Konya ilinde yapılan bir çalışmada, hayvansal üretim değerinin önemli bir bölümünün koyunculuktan geldiği, koyun yetiştiriciliğinde değişken maliyetleri içinde yem ve işçilik maliyetlerinin ilk sırada yer aldığı bildirilmiştir (Şahinli ve Özçelik, 2013). Hakkari ili merkez ilçede gerçekleştirilen bir diğer çalışmada günlük yem gereksiniminin büyük ölçüde kaba yemden karşılandığı, yem maliyetlerinin toplam değişken masraflar içinde yüksek bir paya sahip olduğu, üretim fonksiyonunun güçlü bir uyum gösterdiği ve ölçeğe göre artan getiri olduğu saptanmıştır (Deniz vd., 2020). Tokat ilinde yapılan bir çalışmada ise Net Bugünkü Değerin pozitif olduğu ve yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir ve kârlı bulunmuştur (Uzunöz & Akçay, 2009).

Koyunculuk işletmelerinin teknik etkinliğinin ölçülmesi de son yıllarda yoğun biçimde üzerinde çalışılan konulardan biridir. Yunanistan'ın Sakız ırkına ait süt koyunculuğu yapılan işletmelerinde uygulanan translog stokastik sınır üretim fonksiyonu, işletmeler arasında önemli düzeyde üretim etkinsizliği olduğunu ve teknik etkinliğin iyileştirilmesiyle üretimin artırılabileceğini ortaya koymuştur (Theodoridis vd., 2014). Yunanistan'ın dağlık bölgelerinde yürütülen bir başka çalışmada, sabit ve değişken getiri ölçekli veri zarflama analizi uygulanmış; ortalama genel etkinlik oranının yüksek bir düzeyde gerçekleştiği, saf teknik etkinlik ile ölçek etkinliğinin birbirine yakın ağırlıkta olduğu ve bölgeler arası farkların büyük ölçüde saf teknik etkinlikten kaynaklandığı raporlanmıştır (Fousekis vd., 2001). İzlanda'da farklı yıllarda süt ve koyun çiftliği havuzunu kapsayan çalışmada veri zarflama analiziyle her karar biriminin etkinlik sınırına uzaklığı ölçülmüş ve verimlilik değerlendirilmiştir (Galluzzo, 2019).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Türkiye'de ise farklı teknoloji ve coğrafi koşullarda faaliyet gösteren koyunculuk işletmelerinde meta-sınır stokastik üretim modeli ile iller arasındaki teknoloji farkı ve meta-teknik etkinlik ortaya konmuştur (Canan, 2023). Avrupa ölçeğinde *Innovation for Sustainable Sheep and Goat Production in Europe (iSAGE)* Horizon 2020 projesi kapsamında Fransa, İspanya ve Birleşik Krallık'tan koyun eti işletmelerinin veri zarflama analiziyle incelenmesi, en etkin işletmelerin sürü yönetimi, üretim uygulamaları ve yeniliklerinin sürdürülebilirlik açısından referans alınabileceğini göstermiştir (Theodoridis vd., 2021). İspanya'nın Castilla y León özerk bölgesinde Asaf süt koyunu işletmelerinde yapılan çalışmada sürü büyüklüğü, laktasyon süt verimi-yıllık kâr ve süt verimi başına maliyet fonksiyonu ayrıntılı biçimde hesaplanmış, başa baş noktasının işletmenin kârlılığı için referans değer olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur (Milán vd., 2014). İspanya'da ekstansif üretim yapan koyunculuk işletmelerinde yem giderlerinin toplam üretim maliyetlerinin yarısından fazlasını oluşturduğu yapısal bir kalıp olarak belirlenmiştir (Tsiouni vd., 2022). Yunanistan'ın dezavantajlı alanlarında süt koyunculuğu yapan işletmelerde yapılan bir araştırmada ise incelenen iki üretim döneminin önemli bir bölümünde işletmelerin zarar ile çalıştığı ve küçük ve yarı-ekstansif işletmelerin brüt kârının büyük işletmelere göre anlamlı biçimde düşük olduğu saptanmıştır (Papanikolopoulou vd., 2023). Küçükbaş hayvancılık konusundaki bibliyometrik literatür, son çeyrek yüzyılda yayın hacminin istikrarlı biçimde büyüdüğünü göstermektedir. Yunanistan merkezli ve çeyrek yüzyılı aşan bir dönemi kapsayan kaynak taramasında; yayın sayısının yüksek bir düzeye ulaştığı, ortalama atıf sayısı ile h-indeksinin kayda değer biçimde arttığı tespit edilmiştir. Bu süreçte en sık çalışılan temanın sağlık ve refah (%46,7), ikinci sıradaki konunun ise hayvansal ürünler (%18,6) olduğu bildirilmiştir (Lianou ve Fthenakis, 2022).

Keçi yetiştiriciliği bibliyometriğinde otuz yılı aşan bir dönemde yayın sayısının binden fazlaya ulaştığı ve iki yüzden fazla farklı derginin belirlendiği alana özgü derginin başı çektiği belirli yılların en yüksek ortalama atıf sayısıyla öne çıktığı bildirilmiştir (Tyasi vd., 2024). Brezilya'da küçükbaş hayvan yetiştiriciliğine ait literatürde son on yılda yayın sayısının dünya genelinde önemli ölçüde arttığı, Brezilya özelinde ise artışın çok daha yüksek olduğu, metodolojik açıdan multidisipliner yaklaşımların öne çıktığı ifade edilmektedir (Resende vd., 2010). Hayvancılığı konu alan bibliyometrik çalışmada yayın sayısında son on yılda belirgin bir artış (%51,55) raporlanmış (Manasa vd., 2024); hayvansal üretim-iklim değişikliği ilişkisini inceleyen bibliyometriğin ana akış çekirdek dergilerin ve en üretken ülkelerin baskın olduğunu ortaya koyduğu, Asya-Pasifik bölgesi ve Kuzey Amerika ilk sıralarda yer almaktadır (Çelik, 2024). Enterik metan emisyonu alanında 1986–2024 dönemini kapsayan ve geniş bir Scopus özet havuzunu analiz eden çalışma, yayınların 2005 yılı sonrasında belirgin biçimde arttığını ve süt bilimi alanının en sık yayın yapan dergi olduğunu ortaya koymuştur (Evangelista vd., 2024). Hayvansal üretim ve metan emisyonları odağında 1987–2023 dönemini kapsayan geniş bir bibliyometrik çalışmada son yıllarda rekor düzeyde yayın yapıldığı, Amerika ve Asya-Pasifik bölgesi ülkelerinin en üretken konumda olduğu ve CH_4 emisyonlarının hayvan verimliliği üzerindeki etkileri, azaltım stratejileri ile sürdürülebilirlik ticaret-alanları başlıca araştırma temaları olarak tanımlanmıştır (Sikiru vd., 2024). Düşük karbonlu süt üretimine yönelik araştırmalarda 2009–2014 döneminde yıllık ortalama yüksek bir artış (%45,9) gözlenmiş, belirli sanayileşmiş ülkelerin en üretken ülkeler olduğu ve kurumsal-yazarlar arası iş birliği yoğunluklarının az sayıda olduğu bildirilmiştir (Sun vd., 2026). Genel agri-food sektörünü kapsayan ve uzun bir dönemde beş bini aşan sayıda yayın çıkaran bibliyometrik çalışmada; Akdeniz ülkelerinin bilimsel üretim ve uluslararası iş birliğinde lider olduğu, sürdürülebilirlik

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

odaklı dergilerin öne çıktığı; blokzincir, izlenebilirlik ve döngüsel ekonominin ise yükselen temalar olduğu ortaya konmuştur (Cantorani vd., 2025). Bütün bu veriler, koyun yetiştiriciliği literatüründe yayın hacmi, tematik çeşitlilik ve ülkeler arası iş birliği açısından belirgin bir büyüme olduğunu göstermektedir. Ancak teknik ve ekonomik boyutları eş zamanlı olarak inceleyen çalışmaların küresel literatürdeki dağılımını, gelişimini ve odak noktalarını bütüncül biçimde ortaya koyan bir bibliyometrik haritalamanın hâlâ eksik olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmak amacıyla koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik analizleri konu alan küresel literatürü bibliyometrik yöntemlerle inceleyerek yayın dinamiklerini, en üretken ülke ve dergileri, konu kümelenmeleri ile zaman içindeki tematik odak kaymalarını ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın verileri, Web of Science Core Collection veri tabanında yer alan Science Citation Index Expanded, Social Sciences Citation Index ve Emerging Sources Citation Index kapsamındaki yayınlardan elde edilmiştir. Tarama 2000–2025 dönemini kapsamakta olup, İngilizce ve Türkçe yayımlanan makale ve derlemeler bu çalışmaya dâhil edilmiştir. Dil kısıtlamasının uygulanması, bibliyometrik eşleşmenin sağlıklı yapılabilmesi için yaygın biçimde başvurulan bir yöntem olup, paralel çalışmalarda da benzer biçimde uygulanmıştır (Lianou ve Fthenakis, 2022; Tyasi vd., 2024). Sorgu, üç tema altında yapılandırılmış anahtar kelimelerin AND/OR operatörleriyle birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir: tür ve yetiştiricilik boyutunda "sheep", "ovine", "sheep farming", "sheep production", "lamb production", "sheep husbandry" ve "sheep breeding"; teknik ve zootekni boyutta "technical efficiency", "feed efficiency", "feed conversion ratio", "growth rate", "lambing rate", "reproductive performance", "weaning weight", "milk yield", "carcass yield" ve "flock management"; ekonomik ve işletmecilik boyutunda ise "economic analysis", "economic efficiency", "techno-economic", "profitability", "production costs", "gross margin", "farm performance", "data envelopment analysis" ve "stochastic frontier analysis". Bu sorgu yapısı; benzer bibliyometrik taramalarda da tercih edildiği üzere (Çelik, 2024; Lianou ve Fthenakis, 2022; Manasa vd., 2024), teknik ve ekonomik boyutların eş zamanlı taranmasını ve yalnızca tek bir boyuta odaklanan çalışmaların ayrıştırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu ölçütler sonucunda belirlenen toplam 308 yayına ulaşılmış, tam kayıt ve atıf bilgileri düz metin dosyası olarak dışa aktarılmıştır.

Bibliyometrik analiz ve görselleştirme aracı olarak VOSviewer yazılımı kullanılmıştır. VOSviewer, Leiden Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Çalışmaları Merkezi tarafından geliştirilen, bibliyometrik ağlar kurmaya ve görselleştirmeye yarayan, ortak yazarlık, ortak atıf ve bibliyografik eşleşme ilişkilerine dayalı haritalar üretebilen açık erişimli bir Java yazılımıdır (Bukar vd., 2023; Eck ve Waltman, 2010). Yazılım; ortak yazarlık, ortak oluş, atıf, bibliyografik eşleşme ve ortak atıf bağlantılarını ağ, yer paylaşımı veya yoğunluk görselleştirmesi olmak üzere üç temsil biçiminde inceleyebilmekte; WoS, Scopus, Dimensions, PubMed ve RIS formatındaki dosyalardan bibliyometrik ağları çıkarabilmekte ve metin madenciliği ile önemli terimlerin ortak oluşum ağlarını inşa edebilmektedir (Bukar vd., 2023; Eck ve Waltman, 2010). VOSviewer'ın bibliyometrik veri setlerinin ötesinde metin analizi için de kullanılabileceği raporlanmakla birlikte (Bukar vd., 2023), en yaygın uygulama alanı bilimsel yayın verilerinin görsel ağ analizidir (Eck ve Waltman, 2010). Analiz kapsamında yayınların anahtar kelime eş-

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

oluşum ağları, temel konu kümeleri, konuların zaman içerisindeki değişimi, ülkeler arası ortak yazarlık ilişkileri, dergilerin bibliyografik eşleşme bağlantıları ve yayınların ortak atıf yapısı incelenmiştir. Tek bir veri tabanının kullanılması, Scopus, CAB Abstracts ve CNKI gibi veri tabanlarının kapsamadığı çalışmaların dışlanmasına neden olmuştur; paralel bibliyometrik çalışmalarda da bu sınırlama rapor edilmiş, çoklu veri tabanı entegrasyonunun kapsamı artırdığı belirtilmiştir (Lianou ve Fthenakis, 2022).

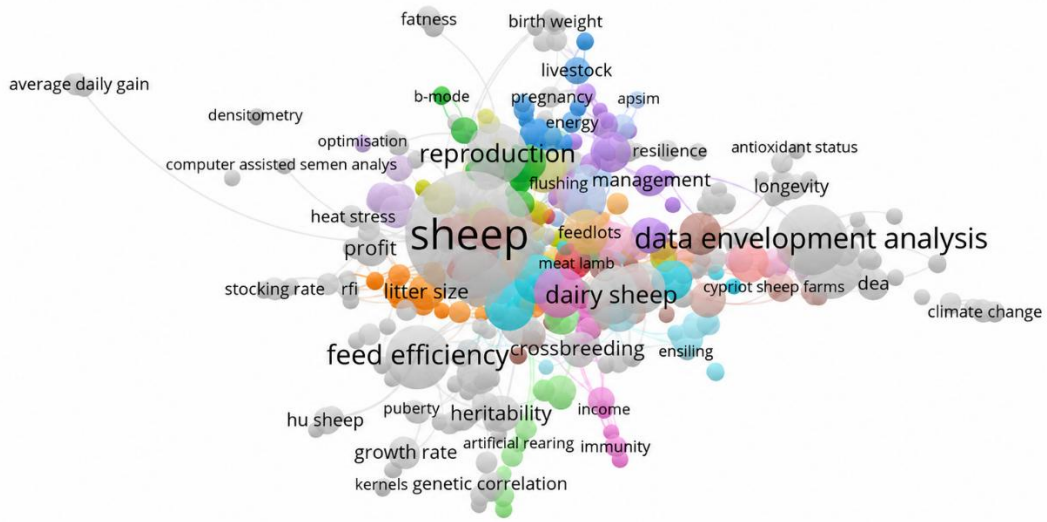
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Veri setini oluşturan 308 yayının yıllara göre dağılımı incelendiğinde, alanda istikrarlı bir büyüme olduğu görülmüştür. Bu bulgu, küçükbaş hayvan yetiştiriciliğine ait bibliyometrik literatüründe yer alan yapısal büyümeyle örtüşmektedir (Lianou ve Fthenakis, 2022; Tyasi vd., 2024). Yunanistan merkezli küçükbaş hayvancılığa ait kaynak taramasında çeyrek yüzyılı aşan bir dönemde binden fazla yayın ve yüksek bir h-indeks değeri raporlanmış (Lianou ve Fthenakis, 2022); keçi yetiştiriciliği bibliyometriğinde ise iki yüzden fazla dergi ve binden fazla yayın tanımlanmıştır (Tyasi vd., 2024). Brezilya'da küçükbaş hayvancılık literatürünün on yıllık dönemde dünya genelindeki artışın üzerinde bir büyüme gösterdiği belirtilmiş (Resende vd., 2010); benzer şekilde hayvancılık yayım araştırmalarında da son on yılda %50'den fazla bir artış gerçekleştiği bildirilmiştir (Manasa vd., 2024). Yıllık ortalama artış oranları, hem enterik metan araştırmalarında (Evangelista vd., 2024) hem de düşük karbonlu süt çalışmalarında (Sun vd., 2026) yüksek düzeyde seyretmiştir. Elde edilen bu eğilim, koyun yetiştiriciliğine ait kaynakçanın da benzer bir büyüme ve olgunlaşma sürecinde olduğuna işaret etmektedir. En üretken ülkeler incelendiğinde, belirli ülkelerin yayın üretiminde ve uluslararası iş birliğinde öne çıktığı görülmüştür. Bu yapı, hayvansal üretim-iklim değişikliği bibliyometriğinde Asya-Pasifik ve Kuzey Amerika'nın ilk sıralarda yer aldığı (Çelik, 2024), genel agri-food sektöründe Akdeniz ülkelerinin lider olduğu (Cantorani vd., 2025) bulgularıyla uyumludur. En üretken dergiler açısından ise alana özgü dergiler merkezi konumda yer almakta; koyun yetiştiriciliği bibliyometriğinde *Small Ruminant Research* iki yüzden fazla yayınla liderliği sürdürmekte (Tyasi vd., 2024) ve enterik metan literatüründe süt bilimi alanının en sık yayın yapan dergidir-(Evangelista vd., 2024). Sürdürülebilirlik odaklı dergiler de artan biçimde pay almaktadır (Cantorani vd., 2025).

Görsel 1'de koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik araştırmalara ilişkin anahtar kelimelerin birlikte görülme ağı sunulmaktadır. Ağ yapısında "sheep" anahtar kelimesinin en büyük düğüm olarak ağın merkezinde yer alması, literatürde temel araştırma eksenini oluşturduğunu ve diğer tüm temalarla güçlü bağlantılar kurduğunu göstermektedir. Bunun çevresinde "reproduction", "dairy sheep" ve "data envelopment analysis" anahtar kelimelerinin yoğun biçimde kümelendiği görülmektedir. Bu yapı, araştırmaların yalnızca biyolojik ve üretim performansına değil, aynı zamanda ekonomik etkinlik ve işletme performansının ölçülmesine de odaklandığını ortaya koymaktadır. Özellikle "data envelopment analysis (DEA)" kavramının geniş bağlantı ağına sahip olması, koyunculuk işletmelerinin teknik etkinlik, kaynak kullanım etkinliği ve verimlilik analizlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olduğunu göstermektedir. Ağın teknik üretim boyutunda "reproduction", "pregnancy", "birth weight", "livestock", "energy", "flushing management" ve "resilience" gibi anahtar kelimelerin birbirleriyle güçlü ilişkiler oluşturduğu görülmektedir. Bu durum, son yıllarda araştırmaların

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

üreme performansının iyileştirilmesi, sürü yönetimi ve hayvan refahına yönelik uygulamalar üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Benzer şekilde, "growth rate", "heritability", "crossbreeding", "immunity" ve "artificial rearing" gibi kavramların aynı ağ içerisinde yer alması, genetik iyileştirme, besleme stratejileri ve büyüme performansının teknik verimlilik çalışmalarında önemli araştırma alanları olduğunu ortaya koymaktadır. Ekonomik analizlere ilişkin temalar incelendiğinde ise "profit", "data envelopment analysis", "DEA" ve "income" gibi kavramların teknik üretim değişkenleriyle doğrudan bağlantılı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ekonomik kavramların ağ içerisindeki yoğunluğunun biyolojik ve üretim odaklı kavramlara oranla daha sınırlı olması, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik performansı birlikte değerlendiren çalışmaların henüz yeterli düzeye ulaşmadığını göstermektedir. Dolayısıyla kaynakçanın büyük bölümünün teknik verimlilik üzerine yoğunlaştığı, ekonomik değerlendirmelerin ise çoğunlukla teknik analizleri destekleyici nitelikte ele alındığı söylenebilir. Ağın dış çevresinde yer alan "climate change", "antioxidant status", "longevity", "computer assisted semen analysis", "densitometry" ve "average daily gain" gibi anahtar kelimeler ise daha niş araştırma alanlarını temsil etmektedir. Bu kavramların merkezdeki ana kümelerle daha az bağlantıya sahip olması, kaynakçada henüz gelişmekte olan veya belirli uzmanlık alanlarına özgü araştırmalar olduğunu göstermektedir. Özellikle iklim değişikliği, çevresel sürdürülebilirlik ve dayanıklılık konularının son yıllarda önem kazanmasına rağmen teknik ve ekonomik analizlerle bütünleşik biçimde ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

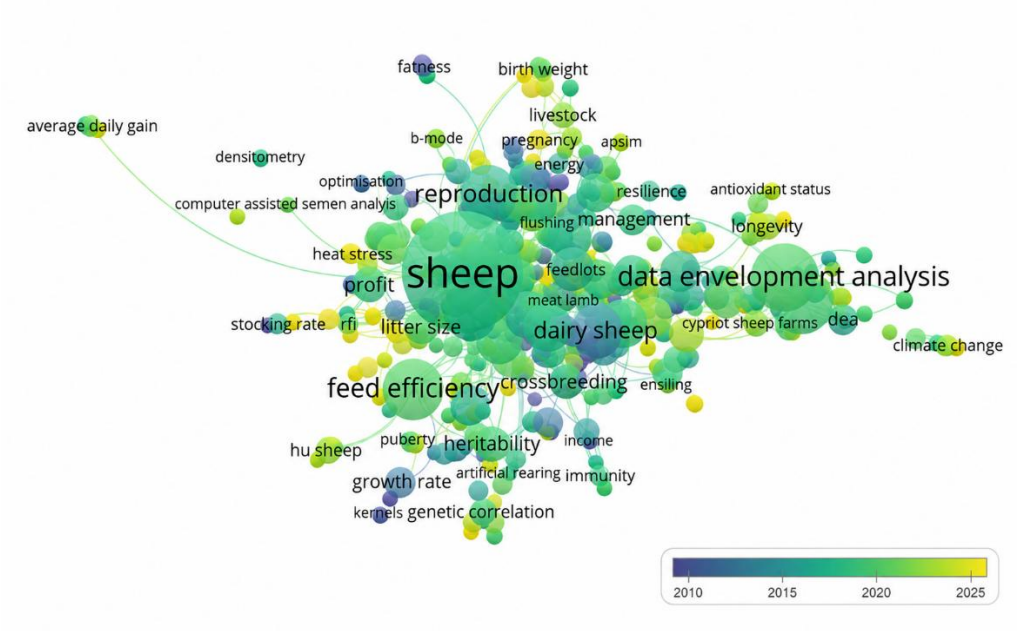


Görsel 1. Anahtar kelime ağ haritası

Görsel 2'de koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik araştırmalara ilişkin anahtar kelimelerin zaman temelli eş-oluşum (overlay visualization) ağı sunulmaktadır. Bu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

görselleştirmede düğümlerin büyüklüğü anahtar kelimelerin kullanım sıklığını, düğümler arasındaki bağlantılar birlikte kullanılma ilişkilerini, renkler ise anahtar kelimelerin ortalama yayın yıllarını göstermektedir. Mavi ve mor tonlar daha erken dönem çalışmaları (2010–2015), yeşil tonlar orta dönemi (2016–2020), sarı tonlar ise güncel araştırma eğilimlerini (2021–2025) temsil etmektedir. Ağın merkezinde yer alan "sheep" anahtar kelimesi en büyük düğüm olarak dikkat çekmekte ve literatürün temel araştırma odağını oluşturmaktadır. Bu kavramın "reproduction", "feed efficiency", "dairy sheep" ve "data envelopment analysis" gibi yüksek frekanslı anahtar kelimelerle güçlü bağlantılar kurması, koyun yetiştiriciliği araştırmalarının üretim performansı, besleme, süt koyunculuğu ve teknik etkinlik analizleri etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, teknik ve ekonomik araştırmaların birbirini tamamlayan temel çalışma alanları olarak geliştiğini ortaya koymaktadır. Renk dağılımı incelendiğinde, erken dönem çalışmaların daha çok genetik, kalıtım (heritability), büyüme performansı (growth rate) ve temel üretim özellikleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Orta dönemde ise reproduction, management, dairy sheep ve profit gibi kavramların ön plana çıktığı, araştırmaların üretim verimliliğini artırmaya yönelik teknik uygulamalara yöneldiği anlaşılmaktadır. Son yılları temsil eden sarı tonlu düğümler ise araştırma eğilimlerinde belirgin bir değişime işaret etmektedir. Özellikle "climate change", "antioxidant status", "longevity", "birth weight", "pregnancy", "livestock" ve "flushing management" gibi kavramların daha yeni araştırmalarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, koyun yetiştiriciliği konusundaki literatürün yalnızca üretim performansına odaklanmadığını; aynı zamanda iklim değişikliğine uyum, hayvan refahı, sürdürülebilir üretim sistemleri, üremenin denetimi ve uzun ömürlülük gibi güncel konulara doğru genişlediğini göstermektedir.

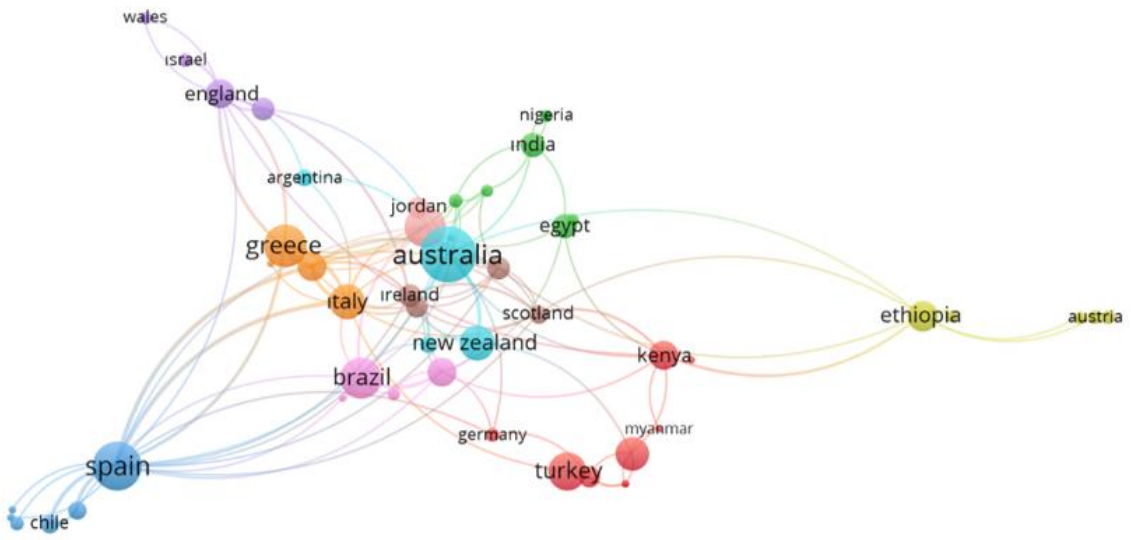


Görsel 2. Anahtar kelimelerin yıllara göre değişim haritası

Görsel 3'te koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik analizler alanında yayın yapan ülkeler arasındaki ortak yazarlık ağı gösterilmektedir. Ağ yapısında düğümlerin büyüklüğü ülkelerin

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yayın üretkenliğini, düğümler arasındaki çizgiler iş birliği ilişkilerini, çizgi kalınlığı iş birliğinin gücünü ve farklı renkler ise birlikte çalışan ülke kümelerini temsil etmektedir. Analiz sonucunda kaynakçada uluslararası araştırma iş birliklerinin belirli ülkeler etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Ağın merkezinde yer alan Avustralya en büyük ve en fazla bağlantıya sahip ülkelerden biri olarak dikkat çekmektedir. Avustralya'nın Yeni Zelanda, İrlanda, İskoçya, Yunanistan, İtalya, Hindistan, Mısır ve Ürdün gibi çok sayıda ülkeyle doğrudan bağlantı kurması, ülkenin koyun yetiştiriciliği araştırmalarında uluslararası iş birliklerinin temel merkezlerinden biri olduğunu göstermektedir. Bu durum, Avustralya'nın hem koyunculuk sektöründeki güçlü konumu hem de araştırma altyapısı sayesinde küresel literatürde önemli bir koordinasyon rolü üstlendiğini ortaya koymaktadır. İspanya ise Avrupa ve Latin Amerika ülkeleriyle güçlü bağlantılar kuran ikinci önemli merkez olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Şili, İngiltere, Yunanistan ve Avustralya ile olan yoğun iş birlikleri, İspanya'nın uluslararası araştırma ağında önemli bir köprü görevi üstlendiğini göstermektedir. Benzer şekilde Yunanistan ve İtalya da Avrupa ülkeleri arasındaki bilimsel iş birliklerinde önemli birer bağlantı noktası olarak dikkat çekmektedir. Ağda ayrıca Brezilya, Türkiye, Kenya, Etiyopya ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerin de araştırma ağına dâhil olduğu görülmektedir. Ancak bu ülkelerin bağlantı sayıları ile ağ merkeziliğinin Avustralya ve İspanya gibi ülkelere göre daha sınırlı olması, uluslararası ortak yayın faaliyetlerinin henüz istenen düzeye ulaşmadığını göstermektedir. Özellikle Türkiye'nin daha çok Kenya, Almanya ve dolaylı olarak Avustralya ile bağlantılı olması, araştırma iş birliklerinin belirli ülkelerle sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Ağın çevresinde yer alan Etiyopya, Avusturya, Nijerya ve Myanmar gibi ülkeler ise daha az sayıda bağlantıya sahip olup, literatürde sınırlı uluslararası iş birliği gerçekleştiren ülkeler olarak görülmektedir. Bununla birlikte Etiyopya'nın özellikle Kenya ve Avustralya üzerinden araştırma ağına bağlanması, Afrika ülkelerinin son yıllarda koyun yetiştiriciliği araştırmalarına daha fazla katılım göstermeye başlamıştır.

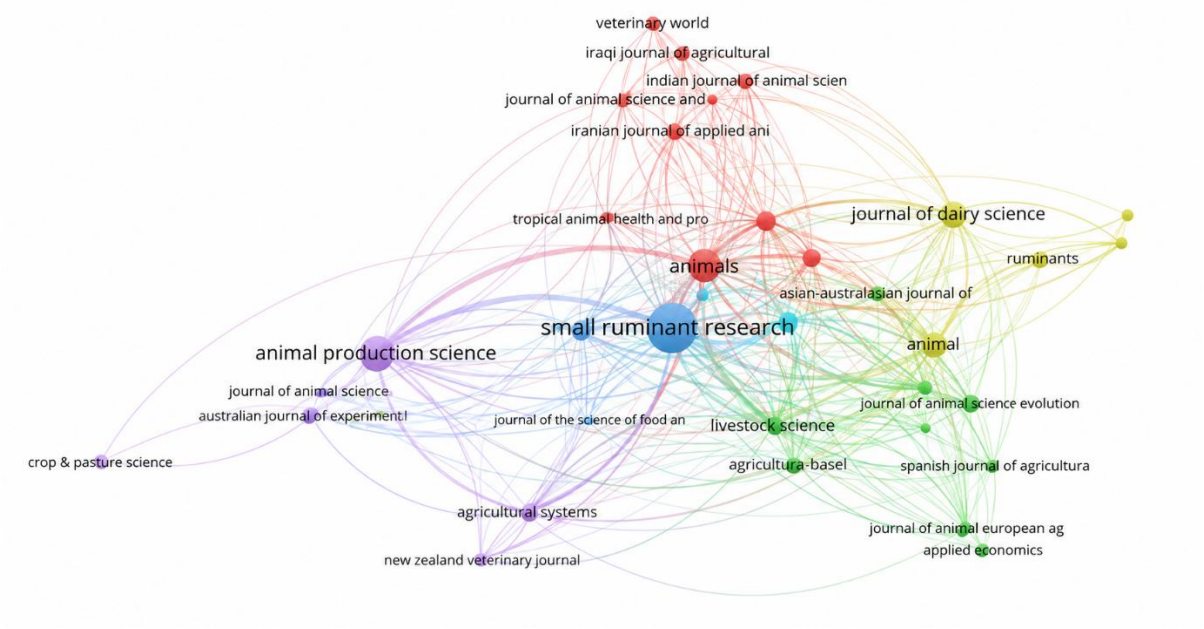


Görsel 3. Ülkeler arası iş birliği haritası

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Görsel 4'te koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik analizler alanında yayın yapan dergilerin bibliyografik eşleşme ağı sunulmaktadır. Bu analizde düğümlerin büyüklüğü dergilerin kaynakçadaki etki ve yayın yoğunluğunu, düğümler arasındaki bağlantılar ortak referans kullanımını, çizgi kalınlığı bibliyografik eşleşmenin gücünü ve farklı renkler ise benzer kaynakları kullanan dergi kümelerini temsil etmektedir. Bibliyografik eşleşme analizi, benzer kaynakları kullanan dergilerin araştırma eğilimleri açısından birbirine yakın olduğunu ortaya koymaktadır. Ağın merkezinde yer alan Small Ruminant Research dergisi en büyük düğüm ve en yoğun bağlantı ağına sahip yayın organı olarak dikkat çekmektedir. Derginin Animals, Animal Production Science, Journal of Dairy Science, Livestock Science ve Animal gibi önde gelen dergilerle güçlü bibliyografik bağlantılar kurması, koyun yetiştiriciliği alanındaki araştırmaların büyük ölçüde ortak bir bilimsel bilgi tabanından beslendiğini göstermektedir. Bu durum, Small Ruminant Research dergisinin alanın temel yayın platformlarından biri olduğunu ortaya koymaktadır. Ağ yapısı incelendiğinde beş temel araştırma kümesinin oluştuğu görülmektedir. Mor kümede yer alan Animal Production Science başta olmak üzere *Journal of Animal Science*, *Agricultural Systems* ve *New Zealand Veterinary Journal* gibi dergiler üretim sistemleri, yetiştiricilik uygulamaları ve sürü yönetimine odaklanan çalışmaları temsil etmektedir. Kırmızı kümede bulunan Animals, *Veterinary World*, *Indian Journal of Animal Science* ve *Iranian Journal of Applied Animal Science* gibi dergiler ise veterinerlik, hayvan sağlığı ve uygulamalı hayvan bilimleri kapsamında gerçekleştirilen araştırmaları bir araya getirmektedir. Sarı kümede öne çıkan Journal of Dairy Science ve Animal dergileri süt verimi, geviş getiren hayvan besleme ve üretim performansına ilişkin araştırmaların yoğunlaştığı yayın organlarını temsil etmektedir. Yeşil kümede yer alan Livestock Science, *Agriculture-Basel*, *Spanish Journal of Agricultural Research* ve *Journal of Animal Science and Biotechnology* gibi dergiler ise hayvancılık üretimi, tarımsal sistemler ve uygulamalı üretim ekonomisi konularındaki araştırmaları kapsamaktadır. Merkezde yer alan Small Ruminant Research ise tüm bu kümeler arasında güçlü bağlantılar kurarak farklı araştırma alanlarını bütünleştiren temel dergi konumundadır. Bibliyografik eşleşme ağının yoğun yapısı, koyun yetiştiriciliğinde teknik etkinlik, besleme, üreme, genetik, süt üretimi, işletme yönetimi ve ekonomik performans gibi farklı araştırma konularının ortak teorik ve metodolojik kaynaklar üzerine kurgulandığını göstermektedir. Bununla birlikte ekonomik analiz odaklı dergilerin sayısının zootekni ve veterinerlik dergilerine oranla daha sınırlı olması, teknik ve ekonomik araştırmaların hâlen ağırlıklı olarak zootekni alanındaki literatür içerisinde yürütüldüğünü ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

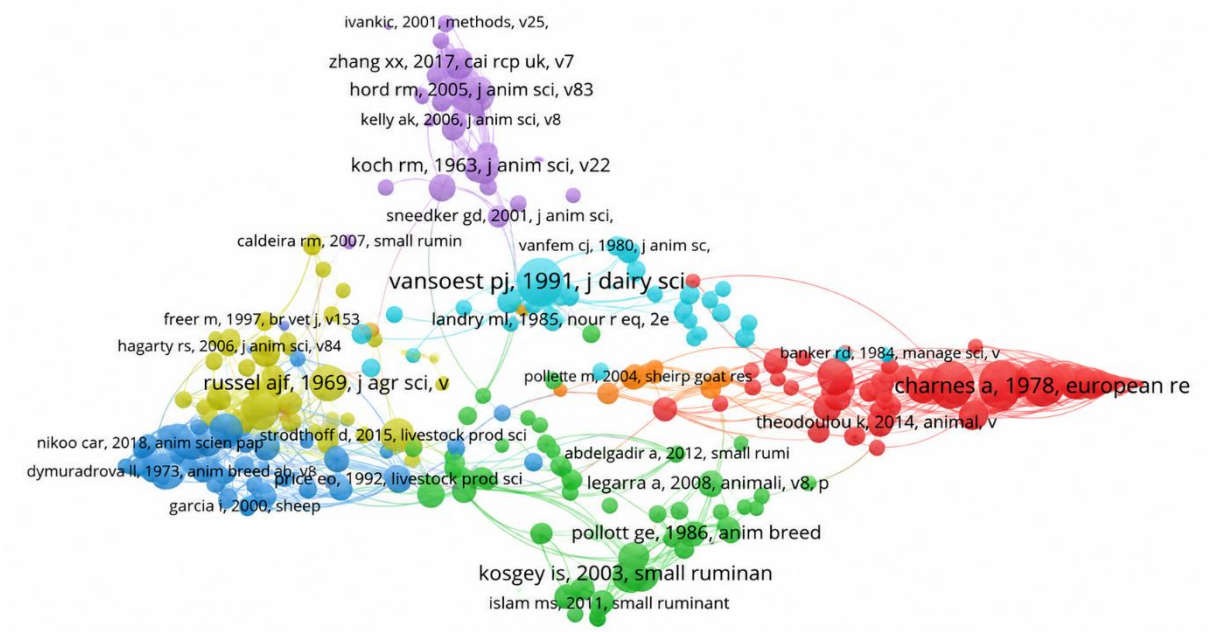


Görsel 4. Dergilerin bibliyografik eşleşme haritası

Görsel 5'te koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik analizler alanında en fazla ortak atıf alan çalışmaların ağ yapısı gösterilmektedir. Ortak atıf analizinde düğümlerin büyüklüğü bir kaynağın birlikte atıf alma sıklığını, düğümler arasındaki bağlantılar çalışmalar arasındaki ortak atıf ilişkilerini, çizgi kalınlığı ise ilişkinin gücünü göstermektedir. Farklı renkler ise benzer araştırma konularına odaklanan referans kümelerini temsil etmektedir. Bu analiz, alanın bilimsel bilgi tabanını oluşturan temel çalışmaların ve araştırma ekollerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Ağ incelendiğinde Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) çalışmasının en büyük düğüm olarak öne çıktığı görülmektedir. Bu çalışma, Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA) yöntemini literatüre kazandıran temel eser olması nedeniyle çok sayıda araştırmada ortak referans olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın diğer kaynaklarla yoğun bağlantılar kurması, teknik etkinlik ve işletme performansını değerlendiren koyun yetiştiriciliği araştırmalarının büyük ölçüde DEA metodolojisi üzerine inşa edildiğini göstermektedir. Özellikle Banker vd. (1984) çalışmasıyla kurduğu güçlü bibliyografik ilişki, ölçeğe göre değişen getirileri esas alan BCC modelinin de teknik etkinlik analizlerinde yaygın biçimde kullanıldığını ortaya koymaktadır. Ağın merkezinde yer alan Van Soest (1991) çalışması ise besleme ve yem değerlendirme araştırmalarının temel referanslarından biri olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmanın Russel (1969), Koch (1963) ve diğer üretim performansı odaklı çalışmalarla güçlü bağlantılar kurması, koyun yetiştiriciliğinde teknik etkinlik analizlerinin yalnızca ekonomik performansı değil, aynı zamanda besleme, sindirim fizyolojisi ve yem kalitesi gibi biyolojik üretim faktörlerini de kapsadığını göstermektedir. Mor kümede yer alan Koch (1963) ve ilişkili çalışmalar ağırlıklı olarak hayvan yetiştiriciliğinde genetik parametreler, performans ölçümü ve seleksiyon çalışmalarını temsil etmektedir. Sarı ve mavi kümelerde bulunan Russel (1969), Freer vd. (1997) ve benzeri çalışmalar ise besleme sistemleri, üretim performansı ve hayvan yetiştiriciliği uygulamalarına odaklanan temel kaynakları oluşturmaktadır. Yeşil kümede yer alan Kosgey (2003), Pollott (1995) ve Legarra ve Ugarte (2005) gibi çalışmalar küçükbaş hayvancılıkta genetik iyileştirme, damızlık yönetimi ve üretim

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sistemleri üzerine yoğunlaşırken, turuncu kümedeki çalışmalar daha çok koyun ve keçi üretim sistemlerine yönelik uygulamalı araştırmaları temsil etmektedir. Ağın genel yapısı incelendiğinde metodolojik çalışmalar ile biyolojik ve zootekni–araştırmaları arasında güçlü bağlantılar bulunduğu görülmektedir. Özellikle teknik etkinlik analizlerinde kullanılan DEA yöntemine ilişkin çalışmaların; besleme, genetik, üreme ve üretim performansı üzerine gerçekleştirilen araştırmalarla sıkça birlikte atıf alması, koyun yetiştiriciliği literatürünün disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, teknik etkinlik analizlerinin yalnızca ekonomik göstergelere dayanmadığını, hayvansal üretimin biyolojik ve yönetimsel boyutlarını da dikkate alan bütüncül bir araştırma yaklaşımının benimsendiğini ortaya koymaktadır.



Görsel 5. Ortak atıf haritası

Bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, koyun yetiştiriciliği konusunda yapılan araştırmalarının ağırlıklı olarak teknik verimlilik, besleme, üreme, genetik ve üretim performansı ekseninde geliştiği; son yıllarda ise sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve hayvan refahı gibi yeni araştırma alanlarına yöneldiği görülmektedir. Buna rağmen ekonomik analizlerin, işletme performansı ve teknik-ekonomik bütünleşik değerlendirmelerin literatürde henüz yeterince temsil edilmediği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla gelecekte yürütülecek araştırmalarda teknik performans göstergeleri ile ekonomik etkinlik, sürdürülebilirlik ve karar destek modellerini birlikte ele alan disiplinlerarası çalışmaların artırılması, koyun yetiştiriciliği konusundaki literatürün gelişimine önemli katkılar sağlayacaktır. Uluslararası araştırma iş birliklerinin geliştirilmesi ve farklı üretim sistemlerine sahip ülkeler arasında karşılaştırmalı analizlerin yaygınlaştırılması, sektöre yönelik daha kapsamlı ve uygulanabilir bilimsel sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen bulgular, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik araştırmaların son yıllarda belirgin bir gelişim gösterdiğini ve literatürün giderek genişleyen bir araştırma ağına dönüştüğünü ortaya koymaktadır. Anahtar kelime analizleri, araştırmaların ağırlıklı olarak üreme (reproduction), yem etkinliği (feed efficiency), süt koyunculuğu (dairy sheep), teknik etkinlik (data envelopment analysis), genetik iyileştirme ve üretim performansı konularında yoğunlaştığını göstermektedir. Overlay (zaman temelli haritalama) analizi ise son yıllarda iklim değişikliği, dayanıklılık (resilience), uzun ömürlülük (longevity), hayvan sağlığı ve üreme yönetimi gibi sürdürülebilir üretim anlayışını destekleyen yeni araştırma temalarının önem kazandığını ortaya koymuştur. Ülkeler arası ortak yazarlık ağı, araştırmaların büyük ölçüde Avustralya, İspanya, Yunanistan ve İtalya gibi koyunculukta güçlü altyapıya sahip ülkeler etrafında şekillendiğini göstermektedir. Özellikle Avustralya'nın farklı ülkelerle kurduğu yoğun bilimsel iş birlikleri, bu ülkenin alanın uluslararası araştırma ağındaki merkezi konumunu ortaya koymaktadır. Buna karşın gelişmekte olan ülkelerin uluslararası iş birliği ağındaki merkezilik düzeylerinin sınırlı olduğu ve bölgesel kümelenmelerin hâlen devam ettiği görülmektedir. Araştırmanın en önemli bulgularından biri, teknik ve ekonomik analizlerin aynı çalışma kapsamında bütünleşik biçimde ele alındığı araştırmaların hâlen sınırlı sayıda olmasıdır. Anahtar kelime ağı ile bibliyografik ve ortak atıf analizleri birlikte değerlendirildiğinde; teknik etkinlik, üretim performansı, besleme ve üreme konularının literatürde baskın olduğu; ekonomik performans, kârlılık ve işletme yönetimine ilişkin analizlerin ise daha sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik performansın birlikte değerlendirildiği disiplinlerarası araştırmalara duyulan ihtiyacın devam ettiğini göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalarda teknik etkinlik analizlerinin ekonomik performans göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir üretim uygulamalarının ekonomik sonuçlarının incelenmesi ve farklı ülkelerdeki üretim sistemlerini karşılaştıran uluslararası araştırmaların artırılması önerilmektedir. Araştırmacılar arasında uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesi ve farklı disiplinleri bir araya getiren çalışmaların yaygınlaştırılması, koyun yetiştiriciliği alanındaki bilgi birikiminin gelişmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Araştırma, yalnızca Web of Science Core Collection veri tabanında yer alan İngilizce ve Türkçe yayınlarla sınırlandırılmış olup, farklı veri tabanlarında yer alan çalışmalar değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Bibliyometrik analizler yayınların yapısal özelliklerini ortaya koymakta, ancak çalışmaların içeriksel kalitesini doğrudan değerlendirmemektedir. Buna rağmen 308 yayından oluşan veri seti, koyun yetiştiriciliğinde teknik ve ekonomik araştırmaların küresel gelişimini, temel araştırma eğilimlerini, bilimsel iş birliklerini ve gelecekteki araştırma boşluklarını kapsamlı biçimde ortaya koyarak literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KAYNAKÇA

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science, 30*(9), 1078–1092.

Bukar, U. A., Sayeed, M. S., Abdul Razak, S. F., Yogarayan, S., Amodu, O. A., & Raja Mahmood, R. A. (2023). A method for analyzing text using VOSviewer. MethodsX, 11, Article 102339.

Canan, S. (2023). Technology gap in sheep farms in Türkiye. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 52, e20230022.

Cantorani, J. R. H., de Oliveira, M. R., Pilatti, L. A., & de Sousa, T. B. (2025). Agri-Food Sector: Contemporary Trends, Possible Gaps, and Prospective Directions. Metrics, 2(1), 3.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research, 2*(6), 429–444.

Çelik, Ş. (2024). Bibliometric analysis of publications on the effect of animal production on climate change from past to present. Frontiers in Earth Science, 12, Article 1402407.

Deniz, A., Yıldırım, İ., & Çiftçi, K. (2020). Economic analysis of sheep farms: A case study from eastern part of Turkey. *Custos e Agr*onegocio, 16(4), 389–403.

Eck V., N.J., Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometric*s, 84, 523–538.

El Sabry, M.I., Motsei, L.E., Abdel-Mageed, I.I. Almasri O. (2023). Space allowance impacts behavior, productivity, reproductivity and immunity of sheep—a review. *Trop Anim Health Prod*, 55, 207.

Evangelista, C., Milanesi, M., Pietrucci, D., Chillemi, G., Bernabucci, U. (2024). Enteric Methane Emission in Livestock Sector: Bibliometric Research from 1986 to 2024 with Text Mining and Topic Analysis Approach by Machine Learning Algorithms. *Animals*, 14(21), 1-24

Fousekis, P., Spathis, P., & Tsiboukas, K. (2001). Assessing the efficiency of sheep farming in mountainous areas of Greece: A non parametric approach. *Agricultural Economics Review*, 2(2), 5–15.

Freer, M., Moore, A. D., & Donnelly, J. R. (1997). GRAZPLAN: Decision support systems for Australian grazing enterprises—II. The animal biology model for feed intake, production and reproduction and the GrazFeed DSS. *Agricultural Systems, 54*(1), 77–126.

Galluzzo, N. (2019). An analysis of technical efficiency in Icelandic dairy and sheep farms. Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika), 121(3), 144–150.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Gebreselassie, G., Berihulay, H., Jiang, L., & Ma, Y. (2020). Review on Genomic Regions and Candidate Genes Associated with Economically Important Production and Reproduction Traits in Sheep (Ovies aries). *Animals*, 10(1), 33.

Id-Lahoucine, S., Kaseja, K., McLaren, A., & Lambe, N. (2026). Advances in understanding the genetics of production and non-production traits. In Burleigh Dodds series in agricultural science: Sheep. Burleigh Dodds Science Publishing.

Keskin, A., Dademir, V., & Demir, N. (2010). Economical analysis of sheep breeding according to the NUTS Level 1 region in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(7), 641–645.

Koch, R. M., Swiger, L. A., Chambers, D., & Gregory, K. E. (1963). Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science, 22*(2), 486–494.

Kosgey, I. S., Van Arendonk, J. A. M., & Baker, R. L. (2003). Economic values for traits of meat sheep in medium to high production potential areas of the tropics. *Small Ruminant Research, 50*, 187–202.

Legarra, A., & Ugarte, E. (2005). Genetic parameters of udder traits, somatic cell score, and milk yield in Latxa sheep. *Journal of Dairy Science, 88*, 2238–2245.

Legarra, A., Ramón, M., Ugarte, E., & Pérez-Guzmán, M. D. (2007). Economic weights of fertility, prolificacy, milk yield and longevity in dairy sheep. *Animal*, 1(2), 193–203.

Lianou, D. T., & Fthenakis, G. C. (2022). Scientometrics Study of Research Output on Sheep and Goats from Greece. *Animals*, 12(19), 2666.

Liu, Z., Fu, S., He, X., Dai, L., Liu, X., Narisu, Shi, C., Gu, M., Wang, Y., Manda, Guo, L., Bao, Y., Baiyinbatu, Chang, C., Liu, Y., & Zhang, W. (2023). Integrated Multi-Tissue Transcriptome Profiling Characterizes the Genetic Basis and Biomarkers Affecting Reproduction in Sheep (Ovis aries). *Genes*, 14(10), 1881.

Manasa, Keesam, Sidharth S, MD. Saifuddin, K.T. Surya, and B. Srishailam (2024). "Trends and Collaborations in Livestock Extension Research: A Bibliometric Analysis (2015-2024)". *Journal of Scientific Research and Reports* 30 (9), 448-56.

Milán, M. J., Frendí, F., González-González, R., & Caja, G. (2014). Cost structure and profitability of Assaf dairy sheep farms in Spain. *Journal of Dairy Science*, 97(8), 5239–5249.

Papanikolopoulou, V., Vouraki, S., Priskas, S., Theodoridis, A., Dimitriou, S., & Arsenos, G. (2023). Economic Performance of Dairy Sheep Farms in Less-Favoured Areas of Greece: A Comparative Analysis Based on Flock Size and Farming System. *Sustainability*, 15(2), 1681.

Pollott, G. E. (1995). *The recording of fat-tailed sheep in Syria-Turkey and Jordan*. ICARDA/FAO/RNEA.

Pulina, G., Milán, M. J., Lavín, P., Theodoridis, A., Morin, E., Capote, J., Caja, G., Hernández-Fernández, A., & Aharon, H. (2018). Invited review: Current production

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 6715–6729.

Resende, K. T., Teixeira, I. A. M. A., Biagioli, B., Lima, L. D., Boaventura Neto, O., & Pereira Junior, J. D. (2010). Scientific progress in small ruminants in the first decade of the 21st century. *Revista Brasileira de* Zootecnia (Brazilian Journal of Animal Science), 39(Suppl. Spec.), 369–375.

Russel, A. J. F., Doney, J. M., & Gunn, R. G. (1969). Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science, 72*, 451–454.

Sikiru, A. B., Makinde, O. J., Koura, B. I., Acheneje, S. S. E., Alabi, J. O., Shipandeni, M. N. T., & Akinsola, O. M. (2024). Bibliometric Mapping of Academic Research Focusing on Animal Production and Climate Change in Association with Methane Emissions and Animal Productivity. *Ruminants*, 4(1), 152-164.

Slavova, S. (2022). Bio-economic models for deriving economic values for sheep: A review. *Agricultural Science and Technology,* 14(3), 3–9.

Sun, F., Xu, J., Dong, Y., Zhao, H., & Xiong, Z. (2026). Mapping the Evolution of Low-Carbon Dairy Research: A Bibliometric Analysis of Greenhouse Gas Emission Trends Based on WoSCC Database. *Agriculture*, 16(2), 163.

Şahinli, M. A., & Özçelik, A. (2013). Economic analysis of sheep farming activities in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 8(13), 1187–1193.

Theodoridis, A., Ragkos, A., Roustemis, D., Arsenos, G., Abas, Z., & Sinapis, E. (2014). Technical indicators of economic performance in dairy sheep farming. *Animal*, 8(1), 133–140.

Theodoridis, A., Vouraki, S., Morin, E., Rupérez, L. R., Davis, C., & Arsenos, G. (2021). Efficiency Analysis as a Tool for Revealing Best Practices and Innovations: The Case of the Sheep Meat Sector in Europe. *Animals*, 11(11), 3242.

Tsiouni, M., Gourdouvelis, D., Konstantinidis, C., & Aggelopoulos, S. (2022). Techno-economic and financial index analysis for the improvement of entrepreneurship and competitiveness strategies of Greek goat enterprises. Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, 982307.

Tyasi, T. L., Ergin, M., & Mathapo, M. C. (2024). A bibliometric analysis of the literature on goat breeding. F1000 *Research*, 13, 451.

Uzunöz A., M., & Akçay, Y. (2009). Profitability analysis of sheep farming in Turkey: A case study. Journal of Applied Sciences Research, 5(7), 815–819.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*, 3583–3597.

Woolley, S.A., Salavati, M. & Clark, E.L. (2023). Recent advances in the genomic resources for sheep. *Mamm Genome*, 34, 545–558.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KEÇİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ: KÜRESEL EĞİLİMLER VE TEMATİK GELİŞİM

Damla ARTIKASLAN, Doktora Öğrencisi

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, artikaslandamla@gmail.com, 0009-0005-5710-1093

Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, hakan.adanacioglu@ege.edu.tr, 0000-0002-8439-8524

Prof. Dr. Turgay TAŞKIN

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, turgay.taskin@ege.edu.tr, 0000-0001-8528-9760

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının küresel gelişimini, bilimsel aktörlerini, tematik yapısını ve zaman içerisindeki dönüşümünü bibliyometrik yöntemlerle incelemektir. Web of Science Core Collection veri tabanında 2000–2025 dönemini kapsayan literatür incelemesi sonucunda İngilizce ve Türkçe yayımlanmış makale ve derleme türündeki 1.578 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Yayın performansı Web of Science üzerinden, bilimsel iş birliği ve bilgi ağları ise VOSviewer kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular, yayın ve atıf sayılarının özellikle 2018 sonrasında hızla arttığını ve yayın sayısının 2025 yılında en yüksek düzeye ulaştığını göstermiştir. Hindistan, ABD, Çin, İspanya, İtalya, Fransa ve İngiltere bilimsel üretim ve uluslararası iş birliğinde öne çıkarken, Türkiye'nin ağda daha çevresel bir konumda olduğu belirlenmiştir. Selanik Aristoteles Üniversitesi, Çin Bilimler Akademisi, Pretoria Üniversitesi ve Edinburgh Üniversitesi öne çıkan kurumlar arasında yer almıştır. Small Ruminant Research, Animals ve Tropical Animal Health and Production alanının başlıca yayın kaynaklarıdır. Birlikte kelime analizi; sürdürülebilir üretim ve gıda güvencesi, otlatma ve mera yönetimi, süt ve besleme, genetik çeşitlilik, hayvan sağlığı ve çevresel kaynak yönetimi temalarını ortaya koymuştur. Zamansal analiz, araştırmaların geleneksel üretim ve hayvan sağlığı konularından döngüsel ekonomi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, alternatif yemler, biyoinformatik ve ödeme istekliliğine yöneldiğini göstermiştir. Eş atıf analizi, alanın hayvan besleme, parazit direnci, genetik kaynaklar ve iklim uyumu eksenlerinde geliştiğini göstermiştir. Gelecek araştırmalarda küçük ölçekli aile işletmelerinin maliyet, gelir, teknolojiye erişim, kadın emeği, genç üretici katılımı ve çevresel performans verilerinin göstergelerle incelenmesi yanında uluslararası ve disiplinler arası iş birliklerinin güçlendirilmesi önerilmektedir. Sonuçlar, literatürün büyüdüğünü, ancak ekonomik, sosyal ve yönetişim boyutlarını birlikte değerlendiren karşılaştırmalı çalışmalara hâlen ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Anahtar Kelimeler: Keçi yetiştiriciliği, Sürdürülebilirlik, Bibliyometrik analiz, Teknik-ekonomik analiz, Küresel eğilimler.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SUSTAINABILITY RESEARCH IN GOAT FARMING: GLOBAL TRENDS AND THEMATIC EVOLUTION

ABSTRACT

This study examines the global development, scientific actors, thematic structure, and evolution of sustainability research in goat farming through bibliometric methods. A total of 1,578 English- and Turkish-language articles and reviews published between 2000 and 2025 were retrieved from the Web of Science Core Collection. Publication performance was assessed through Web of Science, while collaboration and knowledge networks were analyzed using VOSviewer. The findings indicate that publication and citation counts increased rapidly after 2018, with publications reaching their highest level in 2025. India, the United States, China, Spain, Italy, France, and England emerged as leading countries in scientific output and international collaboration, whereas Türkiye occupied a peripheral position. Aristotle University of Thessaloniki, the Chinese Academy of Sciences, the University of Pretoria, and the University of Edinburgh were among the prominent institutions. Small Ruminant Research, Animals, and Tropical Animal Health and Production were the principal publication sources. Keyword co-occurrence analysis identified themes related to sustainable production and food security, grazing and rangeland management, milk and nutrition, genetic diversity, animal health, and environmental resource management. Temporal analysis revealed a shift from conventional production and animal health topics toward circular economy, life cycle assessment, alternative feedstuffs, bioinformatics, and willingness to pay. Co-citation analysis showed that the field developed around animal nutrition, parasite resistance, genetic resources, and climate adaptation. In future research, it is recommended to examine small-scale family enterprises through specific indicators—including cost, income, access to technology, female labor, youth producer involvement, and environmental performance—while also strengthening international and interdisciplinary collaborations. The results demonstrate that while the literature is growing, comparative studies that comprehensively evaluate the economic, social, and governance dimensions together.

Keywords: Goat farming, Sustainability, Bibliometric analysis, Techno-economic analysis, Global trends.

1. GİRİŞ

Keçi yetiştiriciliği, küresel gıda güvencesinin sağlanması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesinde önemli bir yere sahiptir. Dünya keçi sayısının yaklaşık %55'i Çin ve Hindistan'da, %34,5'i ise Afrika kıtasında bulunmaktadır (FAOSTAT, 2025). Keçiler, et, süt, deri ve kıl üretiminin yanı sıra geleneksel ve kültürel uygulamalardaki işlevleriyle de kırsal toplumlar için çok yönlü bir kaynak oluşturmaktadır (Tyasi vd., 2024). Sürdürülebilir tarım araştırmaları ise gıda güvencesi, ekosistem dayanıklılığı ve iklim değişikliğine uyum

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kapsamında giderek daha fazla bilimsel ilgi görmektedir (Chimi vd., 2025; Contreras vd., 2025). Bu ilgi, sürdürülebilir tarım ve keçi yetiştiriciliği alanlarındaki yayın eğilimlerine de yansımaktadır. Keçi yetiştiriciliğine ilişkin 1991–2023 döneminde yayımlanan 1.000 bilimsel çalışmanın incelendiği bibliyometrik araştırmada, en yüksek yayın sayısına 2020 yılında ulaşıldığı; keçi ıslahı konusundaki literatür ise yıllık ortalama atıf sayısının 31,35 ile 2006 yılında en yüksek düzeye çıktığı belirlenmiştir (Tyasi vd., 2024). Sürdürülebilir tarım alanındaki yayınların 2006'dan itibaren düzenli biçimde arttığı ve bu artışın 2010 sonrasında hızlandığı görülmektedir (Sarkar vd., 2022). Tarımsal sürdürülebilirlik araştırmalarında yıllık büyüme oranı %28,39 olarak hesaplanırken, yayın sayısında 2015 yılında belirgin bir artış söz konusudur (Yu ve Mu, 2022; Chimi vd., 2025). Benzer şekilde, 2015–2024 dönemine odaklanan araştırmalar, yıllık yayın artış oranının %20'nin üzerine çıktığını ve konuya yönelik küresel akademik ilginin güçlendiğini göstermektedir (Contreras vd., 2025). Dijital çağda sürdürülebilir tarımı ele alan ve 1998–2024 dönemindeki 344 makaleyi inceleyen çalışmada dijitalleşme ile sürdürülebilir tarım arasındaki ilişki giderek önem kazanmaktadır (Xu vd., 2024). Sürdürülebilir tarım literatüründeki bu niceliksel büyümeye, araştırma temalarının çeşitlenmesi de eşlik etmektedir. Anahtar kelime birlikte bulunma analizleri, çevresel sürdürülebilirliğin alanın kavramsal merkezini oluşturduğunu ve kaynağın çok boyutlu bir tematik yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Judijanto, 2026). Sürdürülebilir tarım araştırmalarının akıllı tarım ve biyoçeşitlilik, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik, teknolojiler ve tarımsal sorunların yönetimi ile yapay zekâ ve yetiştirici benimsemesi olmak üzere dört temel grupta toplandığı belirlenmiştir (Xu vd., 2024; Pres-Rico vd., 2026). Sürdürülebilir tarım performansına odaklanan çalışmalarda ise kurumsal çerçeveler, sistem temelli değerlendirme araçları, işletme düzeyindeki çevresel stratejiler ve toplum odaklı sürdürülebilirlik uygulamaları öne çıkmaktadır (Teh vd., 2025). Keçi yetiştiriciliği özelinde süt keçisi üretim sistemlerinin yağış durumu ile yaşama payının yanı sıra verim için gerekli olan ek yem kullanım düzeylerine göre farklılaştığı; bu sistemlerin riskin azaltılmasından üretimin en üst düzeye çıkarılmasına kadar uzanan bir yapı sergilediği ortaya konmuştur (Meza-Herrera vd., 2024). Buna karşın, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin çevresel, teknik, ekonomik ve sosyal boyutlarının literatürde nasıl ele alındığını, bilimsel iş birliklerini ve tematik dönüşümü birlikte ortaya koyan bibliyometrik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Sürdürülebilir tarım literatürünün entelektüel yapısı da alanın niteliğini ortaya koymaktadır. Eş atıf analizlerinde tarımsal sürdürülebilirliğin sağladığı refah ve karşılaşılan güçlükler, dijital bilgi ve tarımsal kalkınma, sürdürülebilir tarıma yönelik yenilikler ile çevresel araştırmalarda jeo-uzamsal analiz olmak üzere dört temel entelektüel odak belirlenmiştir (Xu vd., 2024). Sürdürülebilirlik göstergelerine yönelik bibliyografik eşleştirme analizleri ise tekno-yönetimsel sürdürülebilirlik, sistemik ve agroekolojik değerlendirme ile normatif gösterge çerçevelerini güncel tematik alanlar olarak öne çıkarmaktadır. Aynı literatürün eş atıf yapısının kaynak temelli yaklaşımlar, çok kriterli değerlendirme yöntemleri, işletme düzeyindeki değerlendirme araçları ve normatif sürdürülebilirlik çerçeveleri üzerinde şekillendiği görülmektedir (Mendes vd., 2026). Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik, çevresel koşulların yanı sıra işletmelerin ekonomik devamlılığını ve kırsal toplumların refahını kapsayan çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Keçi değer zincirine ilişkin bir araştırmada üretim yapısı ile pazar talebi arasında belirgin bir uyumsuzluk bulunduğu; kasapların %92'si besi hayvanlarını tercih ederken yetiştiricilerin

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yalnızca %16'sının besi uyguladığı belirlenmiştir. Aynı araştırmada yetiştiricilerin %80'inin su kıtlığı, %93,8'inin ise meraların özelliklerini kaybetmesi gibi sorunlarla karşılaştığı; kadınların süt işleme faaliyetlerinin %49'unu üstlenmelerine rağmen üretim kaynaklarına erişimde önemli kısıtlar yaşadığı ortaya konmuştur (Day vd., 2025). Bu bulgular, keçi yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğinde pazar yapısı, doğal kaynaklara erişim ve toplumsal cinsiyet gibi unsurların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı kapsamında küçük ölçekli koyun ve keçicilik işletmelerinin SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems) çerçevesiyle değerlendirilmesi sonucunda yönetişim, sosyal sermaye, gübre yönetimi, peyzaj yapısı ve ekonomik dayanıklılık alanlarında önemli sürdürülebilirlik açıkları belirlenmiştir. Bu açıkların özellikle toprak, çevre, hayvan ve insan kaynakları yönetimindeki stratejik planlama yetersizlikleriyle ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Timpanaro ve Foti, 2024). Sürdürülebilirlik göstergelerine yönelik araştırmalar da çevresel ve ekonomik göstergelerin 2030 yılına kadar literatürdeki yerini koruyacağını, buna karşılık sosyal ve yönetişim göstergelerine ilişkin boşlukların devam edeceğini öngörmektedir (Mendes vd., 2026). Keçi yetiştiriciliğinin sürdürülebilir kırsal kalkınmaya sağladığı katkı, özellikle marjinal ve kurak bölgelerde daha belirgin hâle gelmektedir. Düşük yatırım gereksinimi, sermayenin görece hızlı geri dönüşü, düşük gelirli haneler açısından erişilebilirliği ve zorlu çevresel koşullara uyum kapasitesi, keçileri başta Afrika, Asya ve Latin Amerika olmak üzere kırsal geçim kaynaklarının önemli bir bileşeni hâline getirmektedir (Lu, 2023; Navarrete-Molina vd., 2024). Keçi yetiştiriciliği yalnızca ekonomik çıktı sağlayan bir faaliyet olmayıp sosyokültürel işlevler taşımakta, kamusal ve ekosistem hizmetleri sağlamanın yanı sıra alternatif tarımsal kullanım olanakları sınırlı mera alanlarının değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Paraskevopoulou vd., 2020; Timpanaro ve Foti, 2024; Navarrete-Molina vd., 2024). Bununla birlikte, küçük aile işletmelerinden modern ticari işletmelere kadar uzanan üretim sistemlerinin heterojen yapısı, çevresel, teknik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarının ortak ölçütlerle değerlendirilmesini güçleştirmektedir (Tsiouni vd., 2021; Lu, 2023; Timpanaro ve Foti, 2024). Farklı ülkelerde gerçekleştirilen saha araştırmaları, keçi yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini sınırlandıran sorunların üretim sistemlerine ve bölgesel koşullara göre değiştiğini göstermektedir. Nepal'de sınırlı teknik bilgi, yetersiz aşılama uygulamaları, uygun barınak koşullarına ilişkin bilgi eksikliği, düşük sigorta farkındalığı ve ıslah uygulamalarının yeterince bilinmemesi verimlilik kayıplarına neden olmaktadır (Usva vd., 2025). Avrupa küçükbaş hayvancılık sektöründe ülkeler arasında önemli performans farklılıkları bulunurken, üretici nüfusun yaşlanması, kuşak yenilenmesinin yetersiz kalması ve uzun vadeli sürdürülebilir yatırımlara yönelik isteksizlik başlıca yapısal engeller arasında yer almaktadır (Paraskevopoulou vd., 2020). Yunanistan'daki keçi işletmelerinde ise finansal yapının zayıf, yönetim etkinliğinin işletmeler arasında farklı ve kaynak kullanımının çoğu durumda verimsiz olduğu bildirilmektedir (Tsiouni vd., 2021). Bu bulgular, keçi yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğinin yalnızca çevresel performans üzerinden değil; teknik kapasite, işletme yönetimi, finansal dayanıklılık ve yetiştiricilerin kurumsal desteklere erişimiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sürdürülebilirlik performansının üretim sistemlerine göre farklılaşması, çok boyutlu değerlendirmelerin önemini artırmaktadır. Endonezya'da yerel Marica keçisi yetiştiriciliğine

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yönelik değerlendirmede genel sürdürülebilirlik düzeyi %48,72 ile "düşük düzeyde sürdürülebilir" olarak belirlenmiş ve özellikle ekonomik boyutun sosyal ve ekolojik boyutların gerisinde kaldığı ortaya konmuştur (Amrawaty vd., 2025). Çevresel sürdürülebilirlik bakımından ise keçi yetiştiriciliğine ilişkin tek yönlü bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. Bir taraftan enterik metan ve gübre yönetimi kaynaklı sera gazı emisyonları çevresel baskı oluştururken (Usva vd., 2025), diğer taraftan bazı üretim sistemleri yüksek ekolojik etkinlik gösterebilmektedir. Nitekim Meksika'daki marjinal ve ekstansif üretim sisteminde ekonomik değer ile karbon ve su ayak izlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda pozitif bir denge belirlenmiş; üretim etkinliğindeki artışın yetiştirici ailelerin sosyoekonomik koşullarını iyileştirdiği görülmüştür (Navarrete-Molina vd., 2020). Keçi yetiştiriciliğinin teknik sürdürülebilirliği de geleneksel üretim sorunlarının ötesine geçerek hassas hayvancılık, uzaktan algılama, sıcaklık stresi yönetimi, bağışıklığın güçlendirilmesi, yeni doğanların yaşama gücü ve parazit direncine yönelik ıslah uygulamalarıyla ilişkilendirilmektedir. Bu teknolojik ve genetik gelişmeler, üretim etkinliğiyle hayvan refahı ve çevresel performansın birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Silva vd., 2022). Bununla birlikte söz konusu uygulamalara erişim, işletmelerin ekonomik yapısına, üreticilerin teknik bilgi düzeyine ve bölgesel üretim koşullarına göre değişebilmektedir. Bu durum, farklı keçi yetiştiriciliği sistemlerinin ortak sürdürülebilirlik ölçütleri üzerinden karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Mevcut bulguların çoğunlukla belirli bir ülke, bölge, işletme tipi veya değer zinciri aşamasıyla sınırlı kalması, keçi yetiştiriciliği literatüründe önemli bir bütünleştirme sorununa yol açmaktadır (Tsiouni vd., 2021; Timpanaro ve Foti, 2024; Day vd., 2025). Küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin ölçülmesi için hangi değerlendirme aracının daha uygun olduğu konusunda görüş birliği bulunmamakta; çalışmaların önemli bir bölümünde işletme düzeyindeki çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları eş zamanlı olarak temsil eden bileşik göstergeler geliştirilememektedir (Tsiouni vd., 2021; Timpanaro ve Foti, 2024). Bu nedenle dağınık durumdaki bilimsel birikimin yayın eğilimleri, etkili aktörler, entelektüel bağlantılar ve tematik yönelimler açısından sistematik biçimde incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bibliyometrik yaklaşım, hızla büyüyen ve disiplinler arası nitelik taşıyan bu çalışmanın yapısını ve eksikliklerini görünür hâle getirmesi bakımından uygun bir yöntem sunmaktadır. Bununla birlikte, veri tabanı kapsamı, İngilizce yayınların ağırlığı ve gri literatürün dışlanması gibi unsurların bibliyometrik bulguların temsil gücünü sınırlandırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Rusdiyana vd., 2024; Chimi vd., 2025). Dolayısıyla keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmaları çevresel ve ekonomik konularda yoğunlaşırken, sosyal ve yönetişim boyutları görece sınırlı kalmaktadır. Literatür, keçi ıslahından süt keçisi üretim sistemlerine kadar geniş bir tematik çeşitlilik göstermesine rağmen çevresel, teknik, ekonomik ve sosyal boyutları bilimsel performans ve tematik gelişim açısından birlikte ele alan bütüncül bir bibliyometrik haritalamaya hâlen ihtiyaç bulunmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın özgün değeri, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin çevresel, teknik, ekonomik ve sosyal boyutlarını ortak bir bibliyometrik çerçevede bütüncül olarak incelemesinden kaynaklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı; alandaki yıllık yayın ve atıf eğilimlerini belirlemek, ülkeler arasındaki bilimsel iş birliklerini değerlendirmek, en üretken ülke, kurum, dergi ve yazarlar ile en fazla atıf alan temel eserleri ortaya çıkarmak, çalışmanın tematik ve entelektüel yapısını haritalamaktır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada; keçi yetiştiriciliğinde

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sürdürülebilirlik yayınlarının yıllara göre nasıl değiştiği, alanın en üretken ülkeleri, kurumları ve dergileri ile en fazla atıf alan temel eserlerin hangileri olduğu ve literatürdeki temel tematik odaklar ile entelektüel ağların birlikte kelime ve eş atıf analizlerine göre nasıl şekillendiği sorularına yanıt aranmaktadır. Böylece keçi yetiştiriciliğine özgü sürdürülebilirlik sorunlarının genel sürdürülebilir tarım literatüründeki konumu ve araştırma alanının zaman içerisindeki gelişiminin bütüncül biçimde ortaya konulması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırmada, belirli bir bilim alanının gelişimini, yayın eğilimlerini ve bilgi yapısını sistematik biçimde incelemeye olanak sağlayan bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır (Donthu vd., 2021; Passas, 2024). Araştırma yöntemi; veri tabanının seçilmesi, konuya uygun arama terimlerinin belirlenmesi, dâhil etme ve hariç tutma ölçütlerinin uygulanması, bibliyografik verilerin temizlenmesi ve bilimsel haritalama araçlarının kullanılması aşamalarından oluşmaktadır (Donthu vd., 2021; Öztürk vd., 2024). Araştırmanın verileri, bibliyometrik çalışmalarda yaygın biçimde kullanılan ve yayınlara ilişkin kapsamlı bibliyografik üst veri sağlayan Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. Veri tabanlarının kapsadığı dergiler, bilim alanları ve yayın dilleri farklılık gösterebildiğinden, veri tabanı seçiminin bibliyometrik analiz sonuçlarını doğrudan etkileyebileceği dikkate alınmıştır (Mongeon ve Paul-Hus, 2015). Bu doğrultuda arama stratejisi, keçi yetiştiriciliği ile sürdürülebilirlik literatürünü doğrudan temsil eden konu temelli İngilizce arama terimleri kullanılarak oluşturulmuş; elde edilen sonuçlar İngilizce ve Türkçe yayımlanan çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Arama terimlerinin araştırma sorularıyla doğrudan ilişkili olması ve incelenen literatürü mümkün olduğunca doğru temsil etmesi, veri setinin kapsam geçerliliğinin sağlanması bakımından temel ölçüt olarak kabul edilmiştir (Öztürk vd., 2024). Web of Science Core Collection veri tabanında gerçekleştirilen taramada (goat* OR caprine* OR "goat farming" OR "goat production" OR "goat husbandry" OR "goat breeding" OR "dairy goat*" OR "meat goat*") AND (sustainable* OR "environmental sustainability" OR "economic sustainability" OR "social sustainability" OR "sustainable livestock production") arama sorgusu kullanılmıştır. Araştırmanın kapsamı, 2000–2025 yılları arasında İngilizce veya Türkçe olarak yayımlanan “Article” ve “Review Article” türündeki bilimsel çalışmalarla sınırlandırılmış; bu ölçütleri karşılamayan yayınlar analiz dışında bırakılmıştır. Uygulanan dâhil etme ve hariç tutma ölçütleri sonucunda, 2000–2025 dönemini kapsayan toplam 1.578 yayın araştırma kapsamında incelenmiştir. Elde edilen kayıtlar dışa aktarıldıktan sonra, veri seti yinelenen kayıtlar, yazar adı farklılıkları ve eksik ya da tutarsız bibliyografik bilgiler açısından kontrol edilmiştir. Bibliyometrik analizlerde veri temizleme ve standartlaştırma işlemleri, oluşturulan ağların ve elde edilen bulguların doğruluğunu artıran temel aşamalar arasında yer almaktadır (Zupic ve Čater, 2015; Lim vd., 2024). Bu kapsamda başlık ve özetler incelenerek keçi yetiştiriciliği ve sürdürülebilirlikle doğrudan ilişkili olmayan yayınlar değerlendirme dışında bırakılmıştır. Analiz aşamasında bibliyometrik ağların oluşturulması ve görselleştirilmesi için VOSviewer yazılımı kullanılmıştır. VOSviewer; eş atıf, bibliyografik eşleştirme, ortak yazarlık ve anahtar kelime birlikte bulunma ağlarını oluşturabilmesi, kapsamlı veri kümelerini

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

işleyebilmesi ve yorumlanabilir bilimsel haritalar sunması nedeniyle bibliyometrik araştırmalarda yaygın biçimde tercih edilmektedir (Passas, 2024). Yazılımın Web of Science verilerini doğrudan içe aktarabilmesi ve orta ile büyük ölçekli veri setlerinde etkili görselleştirme olanakları sunması, araştırmanın amaçlarıyla yöntemsel uyumunu güçlendirmiştir (Kirby, 2023).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında 2000–2025 yılları arasında yayımlanan 1.578 çalışmadan elde edilen bibliyometrik bulgular verilmekte ve ilgili literatür çerçevesinde tartışılmaktadır. İlk olarak, Ağustos yıllık yayın ve atıf eğilimleri, ülkeler ve kurumlar arasındaki bilimsel ilişkiler, öne çıkan dergi ve yazarlar ile en fazla atıf alan temel eserler incelenmiştir. Ardından literatürün kavramsal ve entelektüel yapısı; anahtar kelime birlikte bulunma, eş atıf ve zamansal tematik değişim analizleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen ağ haritalarında düğümlerin büyüklüğü ilgili unsurun bilimsel ağırlığını, bağlantılar unsurlar arasındaki ilişkinin gücünü, renkler ise oluşan bibliyometrik kümeleri göstermektedir. Böylece araştırma alanının genel performansı, temel bilgi kaynakları, baskın araştırma temaları ve zaman içerisindeki gelişim yönü bütüncül biçimde ortaya konulmuştur.

3.1. Genel Performans Analizi

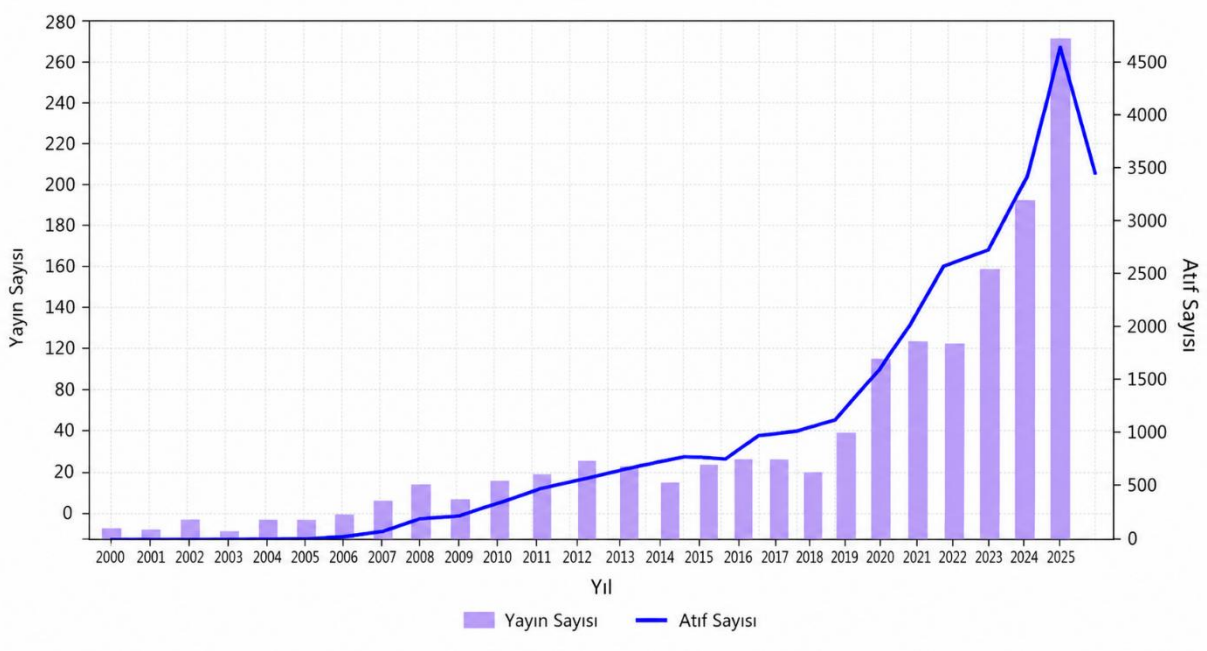
Genel performans analizi kapsamında, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanındaki bilimsel üretimin gelişimi ve öne çıkan aktörleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle yayın ve atıf sayılarının yıllara göre değişimi incelenmiş, ardından ülkeler arasındaki bilimsel iş birlikleri ile alanda öne çıkan kurumlar belirlenmiştir. Literatüre en fazla katkı sağlayan dergi ve yazarlar ile alanın gelişiminde etkili olan ve en yüksek atıf düzeyine ulaşan temel eserler bibliyometrik ağlar aracılığıyla analiz edilmiştir. Böylece araştırma alanının büyüme eğilimi, coğrafi ve kurumsal dağılımı, önde gelen yayın kaynakları ve bilimsel etki yapısı bütüncül biçimde ortaya konulmuştur.

3.1.1. Yıllık Yayın ve Atıf Eğilimi

Yıllık yayın ve atıf eğilimleri, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik konusuna yönelik bilimsel ilginin zaman içerisinde belirgin biçimde arttığını göstermektedir. 2000–2006 döneminde yayın sayısı oldukça sınırlı kalırken, 2007 sonrasında kademeli bir yükseliş başlamıştır. Yayın sayılarında bazı yıllarda dalgalanmalar görülmekle birlikte, özellikle 2019'dan itibaren güçlü ve kesintisiz bir artış eğilimi ortaya çıkmıştır. Bu yükseliş 2023 sonrasında hızlanmış ve yayın sayısı 2025 yılında en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Atıf sayıları da yayın artışına paralel bir gelişim göstermiş; özellikle 2019 sonrasında belirgin biçimde yükselerek 2025 yılında en yüksek düzeye çıkmıştır. Yayın ve atıf sayılarının birlikte artması, alanın yalnızca niceliksel olarak büyümediğini, aynı zamanda bilimsel görünürlüğünün ve etkisinin de güçlendiğini göstermektedir. Genel olarak dönem; 2000–2006 arasındaki başlangıç aşaması, 2007–2018 arasındaki kademeli gelişme dönemi ve 2019–2025 arasındaki hızlı büyüme dönemi olmak üzere üç aşamada değerlendirilebilir. Bu eğilim; iklim değişikliği, gıda güvencesi, hayvan

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

refahı ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi konuların keçi yetiştiriciliği açısından öneminin literatürde giderek arttığını ortaya koymaktadır (Görsel 1).



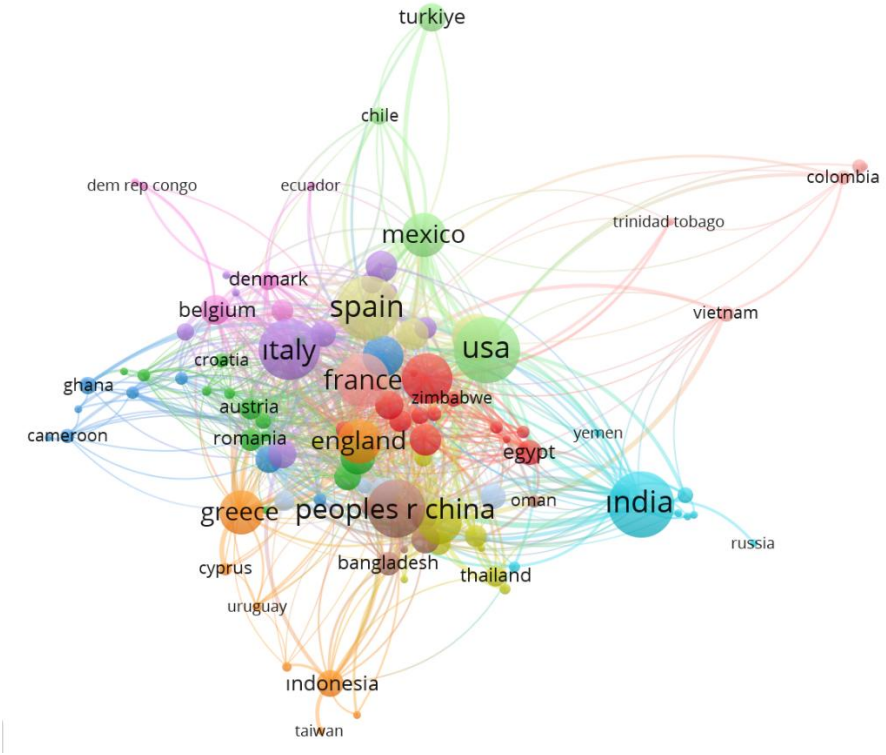
Görsel 1. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının yıllık yayın ve atıf eğilimi (2000–2025)

3.1.2. En Etkin Ülkeler, Uluslararası İşbirlikleri ve Kurumlar

Ülkeler arasındaki ortak yazarlık ağı incelendiğinde, Hindistan, ABD, Çin, İspanya, İtalya ve Fransa'nın ağ içerisinde öne çıktığı görülmektedir. Düğüm büyüklükleri ülkelerin bilimsel üretimdeki ağırlığını, bağlantı çizgileri ülkeler arasındaki ortak yayın ilişkilerini, renkler ise iş birliği kümelerini göstermektedir. Hindistan, ABD ve Çin'in büyük düğümleri, bu ülkelerin alandaki yüksek bilimsel üretimine işaret ederken; İspanya, İtalya ve Fransa'nın ağın merkezine yakın konumları Avrupa ülkelerinin güçlü uluslararası bağlantılara sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye ise ağda yer almakla birlikte temel merkezlerden daha uzak konumdadır. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının geniş bir uluslararası iş birliği ağına sahip olduğu görülmektedir. Düğüm büyüklükleri ülkelerin yayın ağırlığını, bağlantı çizgileri ortak yazarlık ilişkilerini, çizgilerin kalınlığı iş birliğinin gücünü ve renkler ise ülkelerin oluşturduğu farklı iş birliği kümelerini göstermektedir. Hindistan, ABD, Çin, İspanya, İtalya, Fransa ve İngiltere ağda öne çıkan ülkelerdir. Özellikle Hindistan, ABD ve Çin'in büyük düğümlere ve çok sayıda bağlantıya sahip olması, bu ülkelerin hem bilimsel üretim hem de uluslararası iş birliği bakımından önemli bir konumda bulunduğuna işaret etmektedir. İspanya, İtalya, Fransa ve İngiltere'nin ağın merkezinde ve birbirine yakın konumlanması ise Avrupa merkezli işbirliklerinin güçlü ve yoğun olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye, Meksika ve Şili ile bağlantılı olmakla birlikte merkez ülkelerden daha

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uzakta konumlanmış ve görece sınırlı bir uluslararası iş birliği yapısı sergilemiştir. Genel olarak araştırmaların Avrupa, Asya ve Amerika merkezli kümeler etrafında geliştiği; Afrika ve Latin Amerika ülkelerinin ise çoğunlukla bu merkezlerle kurdukları bağlantılar aracılığıyla literatüre katıldığı anlaşılmaktadır (Görsel 2).

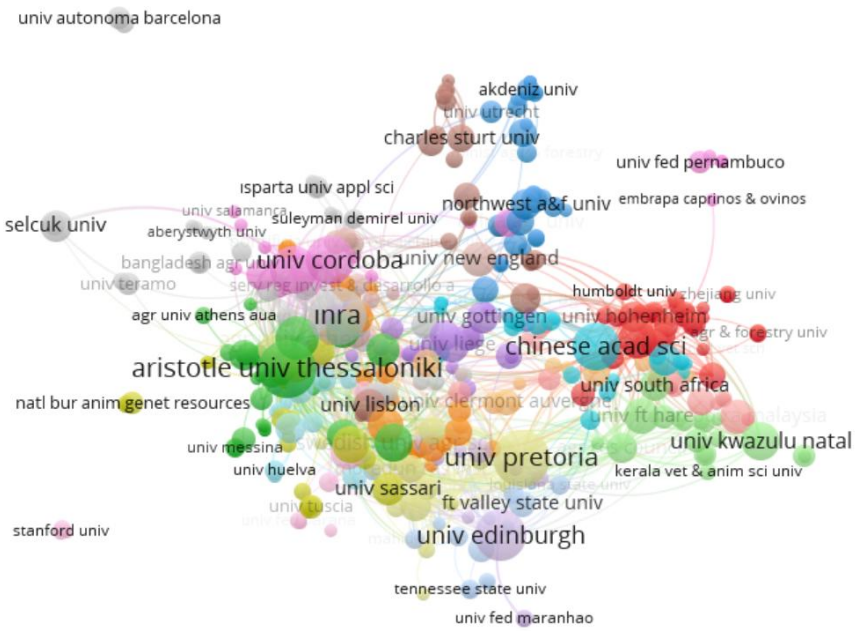


Görsel 2. Ülkeler arasındaki bilimsel iş birliği ağı

Kurumlara ilişkin bibliyometrik ağ, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının farklı kıta ve ülkelerde bulunan üniversiteler, araştırma merkezleri ve kamu kuruluşları arasında gelişen geniş bir bilimsel yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ağdaki düğümlerin büyüklüğü kurumların yayın ağırlığını, bağlantı çizgileri kurumlar arasındaki bibliyometrik ilişkileri, çizgilerin yoğunluğu bu ilişkilerin gücünü, renkler ise kurumların oluşturduğu farklı kümeleri temsil etmektedir. Kurumların ağın merkezine yakın konumlanması, yalnızca bilimsel üretimlerini değil, aynı zamanda farklı araştırma gruplarıyla bağlantı kurma kapasitelerini de yansıtmaktadır. Aristotle University of Thessaloniki, Chinese Academy of Sciences, University of Pretoria, University of Edinburgh, University of KwaZulu-Natal, University of Córdoba ve INRA ağda öne çıkan kurumlar arasında yer almaktadır. Aristotle University of Thessaloniki'nin büyük düğümü ve farklı kurumlarla kurduğu yoğun bağlantılar, kurumun küçükbaş hayvan yetiştiriciliği ve sürdürülebilir hayvansal üretim araştırmalarında merkezî bir role sahip olduğunu göstermektedir. Chinese Academy of Sciences, University of Hohenheim ve çeşitli Asya üniversiteleri çevresinde oluşan küme; genetik, çevresel performans, hayvan besleme ve üretim sistemleri konularında güçlü bir araştırma alanına işaret etmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

University of Pretoria, University of South Africa ve University of KwaZulu-Natal çevresindeki bağlantılar ise Afrika kıtasında keçi yetiştiriciliği, kırsal geçim, hayvan sağlığı ve iklim koşullarına uyum konularında gelişen kurumsal birikimi yansıtmaktadır. University of Edinburgh, University of New England, Northwest A&F University ve Charles Sturt University gibi kurumların farklı kümelerle bağlantı kurması, araştırma alanının veterinerlik, genetik, üretim ekonomisi ve çevre bilimleri arasında disiplinlerarası bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. University of Córdoba, University of Lisbon, University of Sassari ve University of Göttingen gibi Avrupa kurumlarının ağın merkezine yakın konumlanması da Avrupa merkezli araştırma işbirliklerinin yoğunluğunu göstermektedir. Buna karşılık Universidad Autónoma de Barcelona ve Stanford University gibi ağın çevresinde veya diğer kurumlardan uzakta bulunan kuruluşlar, belirli araştırma konularında bilimsel üretim gerçekleştirmiş olmakla birlikte ağdaki diğer kurumlarla daha sınırlı bibliyometrik bağlantı sergilemektedir. Türkiye'den Akdeniz Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversitesi ağın içerisinde yer almaktadır. Akdeniz Üniversitesi'nin Türkiye'deki diğer kurumlara kıyasla uluslararası ağa daha yakın bir konumda bulunması, keçi yetiştiriciliği ve hayvansal üretim araştırmalarındaki bağlantılarının görece güçlü olduğunu göstermektedir. Selçuk Üniversitesi ise ağın çevresinde konumlanmış ve daha sınırlı bağlantıya sahip bir kurum görünümü sergilemiştir. Türkiye'deki kurumların ağda temsil edilmesi önemli olmakla birlikte, merkezî uluslararası kurumlarla bağlantıların güçlendirilmesine ihtiyaç bulunduğu anlaşılmaktadır. Genel olarak sonuçlar, bilimsel üretimin Avrupa, Afrika ve Asya'daki belirli kurumlar etrafında yoğunlaştığını ve keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının bölgesel sorunlara dayanan ancak uluslararası iş birlikleriyle gelişen çok merkezli bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Görsel 3).

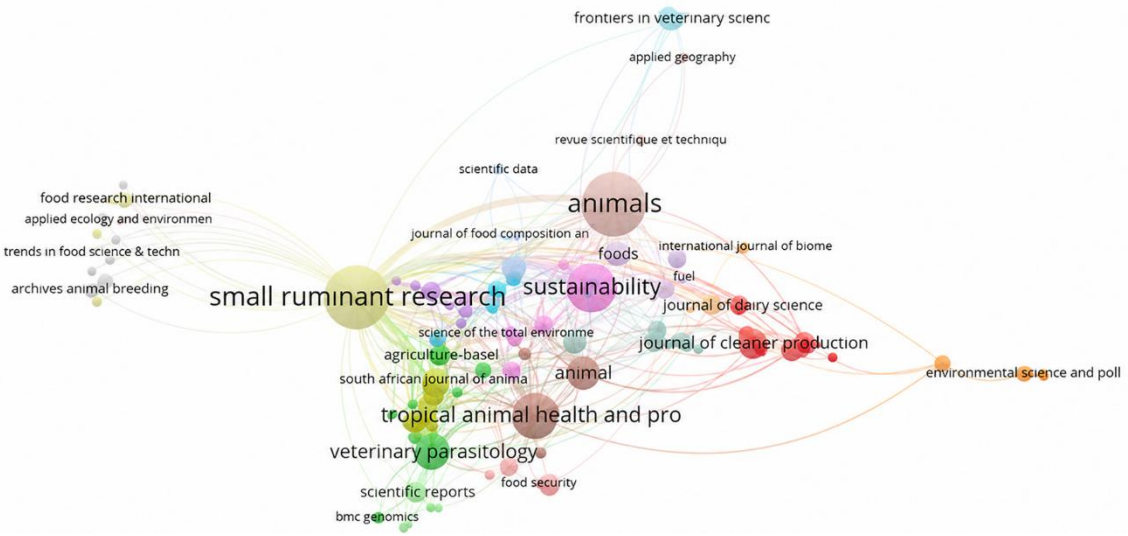


Görsel 3. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında öne çıkan kurumların bibliyometrik ağı

3.1.3. En Çok Yayın Yapan Dergiler ve Yazarlar

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Dergilere ilişkin bibliyometrik ağ, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının hayvansal üretim, veterinerlik, hayvan besleme, gıda ve çevre bilimleri arasında gelişen disiplinlerarası bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ağdaki düğümlerin büyüklüğü dergilerin yayın ağırlığını, bağlantıların sayısı ve kalınlığı dergiler arasındaki bibliyometrik ilişkinin gücünü, renkler ise benzer araştırma konularında yoğunlaşan dergi kümelerini temsil etmektedir. *Small Ruminant Research*, düğüm büyüklüğü ve diğer yayın kaynaklarıyla kurduğu bağlantılar bakımından ağın en belirgin dergisidir. Bu durum, küçükbaş hayvan yetiştiriciliğine ilişkin sürdürülebilirlik çalışmalarının önemli bir bölümünün doğrudan alan odaklı bu dergide toplandığını göstermektedir. *Animals* dergisi de geniş düğüm yapısı ve farklı kümelerle kurduğu ilişkiler sayesinde ağın merkezî yayın kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. *Tropical Animal Health and Production* ile *Veterinary Parasitology* dergilerinin öne çıkan konumu; hayvan sağlığı, hastalıklar, parazitlerle mücadele ve tropikal üretim koşullarının sürdürülebilir keçi yetiştiriciliği literatüründe önemli bir araştırma ekseni oluşturduğunu göstermektedir. *Animal*, *Animal Production Science*, *Journal of Dairy Science* ve *Foods* gibi yayın kaynakları ise hayvansal üretim, süt verimi, ürün kalitesi, besleme ve gıda özelliklerine yönelik çalışmaların literatürdeki ağırlığını yansıtmaktadır. Ağın diğer bölümünde *Journal of Cleaner Production*, *Science of the Total Environment* ve *Environmental Science and Pollution Research* gibi çevre odaklı dergilerin yer alması, sürdürülebilirlik araştırmalarının geleneksel hayvancılık konularının ötesine geçtiğini göstermektedir. Bu dergilerin varlığı; sera gazı emisyonları, karbon ve su ayak izi, kaynak verimliliği, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve çevresel performans gibi konuların keçi yetiştiriciliği araştırmalarında giderek daha fazla ele alındığına işaret etmektedir. *Food Research International* ve *Trends in Food Science & Technology* gibi gıda bilimi dergilerinin daha ayrı bir küme oluşturması ise keçi sütü ve ürünlerinin kalite, bileşim, işleme ve tüketim özellikleri üzerinden farklı bir araştırma alanının geliştiğini ortaya koymaktadır (Görsel 4).

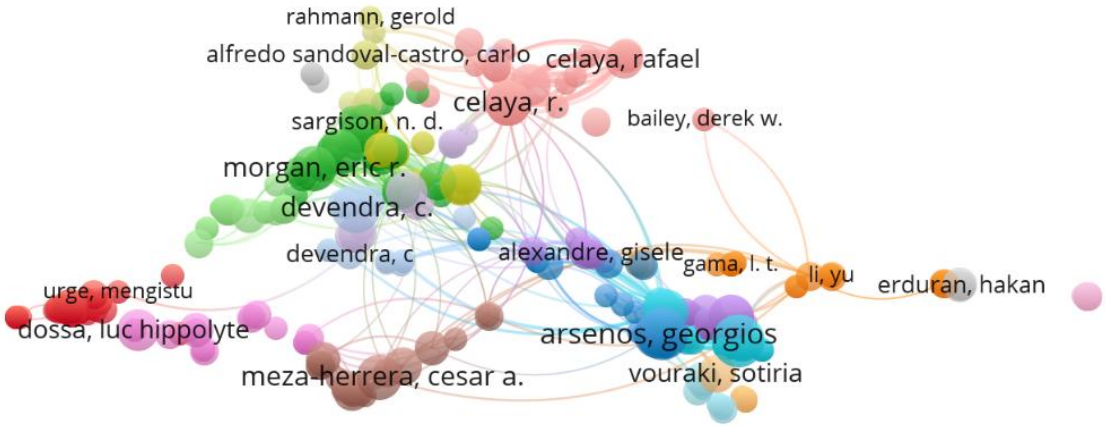


Görsel 4. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında öne çıkan dergilerin bibliyometrik ağı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Yazarlara ilişkin bibliyometrik ağ, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının belirli araştırmacı grupları etrafında kümelendiğini ve bu gruplar arasında farklı yoğunluklarda bilimsel bağlantılar bulunduğunu göstermektedir. Ağdaki düğümlerin büyüklüğü yazarların yayın ağırlığını, bağlantı çizgileri yazarlar arasındaki bibliyometrik ilişkileri, çizgilerin yoğunluğu ilişkilerin gücünü ve renkler ise farklı araştırma kümelerini temsil etmektedir. Yazarların ağın merkezine yakın konumlanması, farklı araştırma grupları arasında bağlantı kurduklarına ve alanın bilimsel gelişiminde daha bütünleştirici bir rol üstlendiklerine işaret etmektedir. Arsenos, Georgios ağın en belirgin ve merkezî araştırmacılarından biri olarak öne çıkmaktadır. Büyük düğümü ve farklı renklerdeki yazar kümeleriyle kurduğu bağlantılar, Arsenos'un alanın çeşitli araştırma konularını birbirine bağlayan önemli bir aktör olduğunu göstermektedir. Vouraki, Sotiria'nın aynı kümeye yakın konumlanması, bu iki araştırmacının benzer çalışma alanlarında yoğunlaştığını ve ortak bir bilimsel çevre içerisinde yer aldığını düşündürmektedir. Alexandre, Gisele de ağın merkezine yakın konumu sayesinde farklı araştırmacı grupları arasında bağlantı sağlayan yazarlardan biridir. Bu merkezî yapı, keçi yetiştiriciliği araştırmalarında üretim sistemleri, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri ve bölgesel yetiştiricilik koşulları arasında bilimsel bir etkileşim bulunduğunu göstermektedir. Morgan, Eric R.; Devendra, C. ve Sargison, Neil D. çevresinde oluşan yeşil ağırlıklı küme, kendi içerisinde güçlü bağlantılar sergilemektedir. Bu araştırmacıların ağdaki belirgin konumu, keçi yetiştiriciliği, hayvan sağlığı, parazitlerle mücadele, tropikal üretim sistemleri ve kırsal kalkınma gibi konuların literatürde önemli bir araştırma alanı oluşturduğuna işaret etmektedir. Devendra, C.'nin ağda iki farklı yazım biçimiyle görünmesi, bibliyografik verilerdeki yazar adı farklılıklarından kaynaklanabilir. Bu durum, bibliyometrik analizlerde aynı yazara ait farklı kayıtların standartlaştırılmasının önemini göstermektedir. Rahmann, Gerold ve Alfredo Sandoval-Castro, Carlo gibi yazarların bu kümeye yakın konumlanması da organik hayvancılık, besleme ve sürdürülebilir üretim sistemleri arasındaki bilimsel bağlantıyı yansıtmaktadır. Celaya, Rafael; Bailey, Derek W. ve Alfredo Sandoval-Castro, Carlo çevresinde oluşan diğer küme, otlatma yönetimi, mera kullanımı ve hayvanların çevresel koşullara uyumu gibi konular etrafında şekillenen bir araştırma çizgisine işaret etmektedir. Celaya adına ait "Celaya, Rafael" ve "Celaya, R." biçimindeki iki farklı kaydın bulunması da yazar isimlerinin veri temizleme aşamasında birleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Meza-Herrera, Cesar A. çevresindeki kahverengi küme ise keçi üretim sistemleri, üreme, kurak ve yarı kurak koşullara uyum ile teknik etkinlik gibi konularla ilişkili ayrı bir bilimsel grubu temsil etmektedir. Dossa, Luc Hippolyte ve Urge, Mengistu ağın sol tarafında birbirleriyle bağlantılı ancak merkezden daha uzakta konumlanmaktadır. Bu konum, söz konusu araştırmacıların belirli bölgesel üretim sistemlerine odaklanan daha bağımsız bir çalışma kümesi oluşturduğunu göstermektedir. Gama, L. T.; Li, Yu ve Erduran, Hakan ise ağın sağ tarafında daha sınırlı sayıda bağlantıyla yer almaktadır. Erduran, Hakan'ın ağa dâhil olması Türkiye'den bir araştırmacının uluslararası literatürde temsil edildiğini göstermekle birlikte, merkezî yazar gruplarıyla bilimsel bağlantıların görece sınırlı kaldığına işaret etmektedir (Görsel 5).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



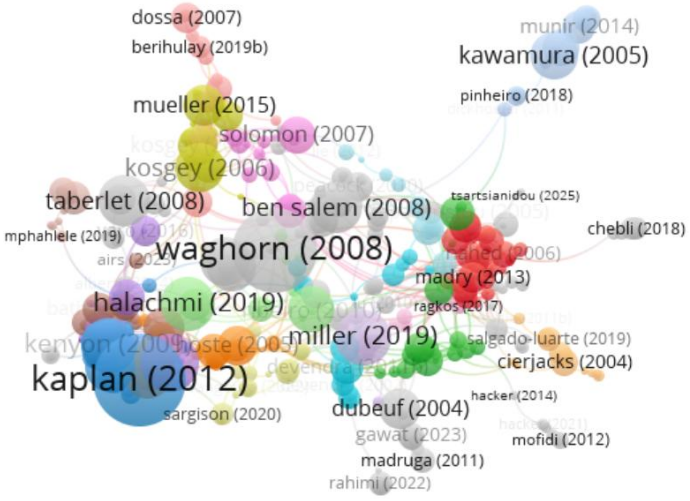
Görsel 5. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında öne çıkan yazarların bibliyometrik ağı

3.1.4. En Fazla Atıf Alan Temel Eserler

En fazla atıf alan temel eserlere ilişkin bibliyometrik ağ, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik literatürünün belirli öncü çalışmalar çevresinde geliştiğini ve sonraki araştırmaların bu temel kaynaklarla bağlantılı biçimde şekillendiğini göstermektedir. Ağdaki düğümlerin büyüklüğü eserlerin atıf ağırlığını, bağlantı çizgileri çalışmalar arasındaki bibliyometrik ilişkileri, çizgilerin yoğunluğu bu ilişkilerin gücünü ve renkler ise benzer bilgi temellerine dayanan çalışma kümelerini temsil etmektedir. Büyük ve merkezî düğümler, yalnızca yüksek atıf etkisine sahip eserleri değil, aynı zamanda farklı araştırma konuları arasında bağlantı kuran temel kaynakları da göstermektedir. Kaplan (2013), ağdaki en büyük ve en belirgin düğümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Eserin hem düğüm büyüklüğü hem de diğer çalışmalarla bağlantıları, keçi yetiştiriciliği literatürünün gelişiminde güçlü bir bilimsel etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kaplan (2012) çevresinde Kenyon (2009), Sargison (2020), Hoste (2008) ve Halachmi (2019) gibi farklı dönemlerde yayımlanan çalışmaların bulunması, söz konusu eserin daha eski bilgi birikimi ile güncel araştırmalar arasında bağlantı sağlayan merkezî bir kaynak niteliği taşıdığına işaret etmektedir. Bu kümenin geniş bir zaman aralığına yayılan çalışmaları içermesi, alanın temel üretim ve hayvan sağlığı sorunlarının güncel sürdürülebilirlik yaklaşımlarıyla birlikte ele alındığını göstermektedir. Waghorn (2008), ağın diğer önemli merkezî eserlerinden biridir. Ben Salem (2008), Kosgey (2006), Solomon (2007), Mueller (2015), Taberlet (2008) ve Dossa (2007) gibi çalışmalarla yakın konumlanması, bu araştırma çizgisinin hayvan besleme, üretim sistemleri, genetik kaynaklar ve farklı çevresel koşullara uyum gibi konularla ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Waghorn (2008) ile Ben Salem (2008) arasındaki yakınlık, özellikle yem kaynakları ve küçükbaş hayvan besleme sistemlerinin literatürde ortak bir bilimsel temel oluşturduğunu göstermektedir. Kosgey (2006) ve Mueller (2015) gibi çalışmaların aynı bölgeye yakın konumlanması ise yetiştiricilik sistemleri ile genetik ve üretim performansı araştırmaları arasındaki bağlantıya işaret etmektedir. Miller (2019) ve Halachmi (2019), görece yeni tarihli olmalarına rağmen büyük düğümleri ve merkezî konumları nedeniyle güncel literatürler arasında yer almaktadır. Bu çalışmaların daha eski temel kaynaklarla güçlü biçimde bağlantılı olması, yeni araştırma

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yaklaşımlarının mevcut bilgi birikimi üzerine kurulduğunu göstermektedir. Halachmi (2019) daha çok teknolojik gelişmeler ve hassas hayvancılık uygulamalarının temsil edildiği güncel araştırma yönelimiyle ilişkilendirilebilirken, Miller (2019) sürdürülebilir keçi üretiminin çevresel, biyolojik ve yönetimsel boyutlarını bir araya getiren bir bağlantı noktası olarak değerlendirilebilir. Dubeuf (2004), Madry (2013), Cierjacks (2004), Salgado-Duarte (2020) çevresinde oluşan bağlantılar ise üretim sistemleri, bölgesel yetiştiricilik yapıları ve doğal kaynak kullanımı etrafında gelişen farklı bir araştırma grubuna işaret etmektedir. Kawamura (2005), belirgin düğüm büyüklüğüne rağmen ana ağdan görece uzakta konumlanmaktadır. Bu durum, eserin yüksek bilimsel etkiye sahip olmakla birlikte daha özel veya sınırlı bir araştırma alanında yoğunlaştığını göstermektedir. Pinheiro (vd. 2018) ve Munir (2014) ile kurduğu bağlantılar, bu alt araştırma alanının sonraki yıllarda da devam ettiğini göstermektedir. Chebli vd. (2018) gibi ağın çevresinde yer alan çalışmalar da belirli konular üzerinde etkili olmakla birlikte merkezdeki temel eserlerle daha sınırlı bibliyometrik ilişkiye sahiptir (Görsel 6).



Görsel 6. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında en fazla atıf alan temel eserlerin ağı

3.2. Tematik Gelişim ve Bilim Haritalaması

Tematik gelişim ve bilim haritalaması kapsamında, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik literatürünün kavramsal yapısı, entelektüel temelleri ve zaman içerisindeki yönelimi incelenmiştir. Bu doğrultuda anahtar kelime birlikte bulunma analiziyle literatürde öne çıkan araştırma temaları ve bu temalar arasındaki ilişkiler belirlenmiş, eş atıf analiziyle alanın temel bilgi kaynakları ve entelektüel kümeleri ortaya konulmuştur. Anahtar kelimelerin ortalama yayın yıllarına dayalı zamansal analizi aracılığıyla geleneksel araştırma konularından güncel sürdürülebilirlik yaklaşımlarına doğru gerçekleşen tematik değişim de değerlendirilmiştir. Böylece araştırma alanının yalnızca mevcut kavramsal yapısı değil, bilimsel gelişiminin yönü ve gelecekte önem kazanabilecek çalışma konuları da bütüncül olarak ele alınmıştır.

3.2.1. Anahtar Kelime Birlikte Bulunma Analizi

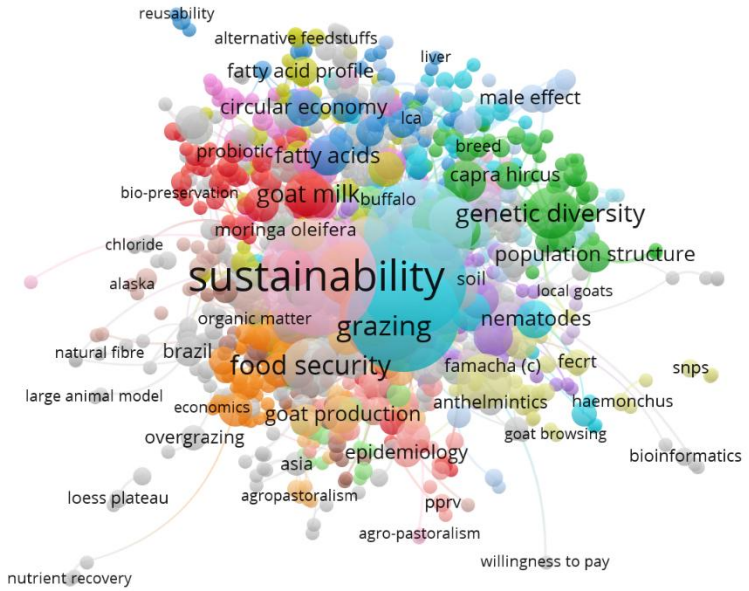
Anahtar kelime birlikte bulunma ağı, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik literatürünün çok boyutlu, disiplinler arası ve birbirleriyle güçlü biçimde bağlantılı temalardan oluştuğunu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

göstermektedir. Ağdaki düğümlerin büyüklüğü anahtar kelimelerin kullanım sıklığını, kelimeler arasındaki çizgiler aynı yayınlarda birlikte kullanılma ilişkisini, bağlantıların yoğunluğu ilişkinin gücünü ve renkler ise benzer kavramlardan oluşan tematik kümeleri temsil etmektedir. Bir kavramın ağın merkezinde yer alması, farklı araştırma temalarıyla güçlü bağlantılar kurduğunu; çevrede konumlanması ise daha özel veya yeni gelişen bir araştırma konusunu ifade etmektedir. "Sustainability" kavramı, ağın en büyük ve en merkezî düğümünü oluşturmaktadır. Bu durum, sürdürülebilirliğin literatürdeki farklı araştırma konularını bir araya getiren temel kavramsal eksen olduğunu göstermektedir. "Grazing", "food security", "goat production", "goat milk", "genetic diversity" ve "population structure" kavramlarının sürdürülebilirlik düğümüne yakın konumlanması; üretim, doğal kaynak yönetimi, gıda arzı, genetik kaynakların korunması ve hayvansal ürünlerin aynı sürdürülebilirlik çerçevesinde ele alındığını ortaya koymaktadır. Ağın merkezindeki yoğun bağlantılar, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin tek bir performans ölçütüne indirgenemeyeceğini, çevresel, teknik, ekonomik ve biyolojik boyutların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. "Grazing", "food security", "goat production", "overgrazing", "agropastoralism", "economics" ve "organic matter" kavramları, otlatma sistemleri, kırsal geçim ve gıda güvencesiyle ilişkili geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır. "Grazing" kavramının ağın merkezinde ve büyük bir düğüm olarak yer alması, mera kullanımının keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin temel unsurlarından biri olduğunu göstermektedir. Keçilerin çoğunlukla marjinal, kurak ve yarı kurak alanlarda yetiştirilmesi, mera yönetimi ile üretim devamlılığı arasındaki ilişkiyi önemli hâle getirmektedir. "Overgrazing" kavramının bu alanda yer alması, aşırı otlatmanın mera bozulması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından önemli bir sorun olarak incelendiğini göstermektedir. "Food security" ve "economics" kavramları ise keçi yetiştiriciliğinin yalnızca çevresel değil, kırsal hanelerin gelirleri ve gıdaya erişimi bakımından da değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. "Goat milk", "fatty acids", "fatty acid profile", "probiotic", "bio-preservation", "Moringa oleifera" ve "alternative feedstuffs" kavramları süt üretimi, hayvan besleme ve ürün kalitesiyle ilişkili tematik yapıyı temsil etmektedir. "Goat milk" kavramının büyük ve merkezî bir düğüme sahip olması, keçi sütünün sürdürülebilir keçi yetiştiriciliği literatüründeki önemli araştırma konularından biri olduğunu göstermektedir. Yağ asidi profili, probiyotikler ve biyolojik muhafaza kavramları, araştırmaların yalnızca süt verimine değil, ürünün besin değeri, işlenmesi, fonksiyonel özellikleri ve katma değer oluşturma potansiyeline de odaklandığını göstermektedir. "Alternative feedstuffs" ve "Moringa oleifera" gibi kavramların varlığı ise geleneksel yem kaynaklarına alternatif olabilecek, maliyeti düşürebilecek ve çevresel kaynak kullanımını iyileştirebilecek besleme stratejilerine yönelik ilginin arttığına işaret etmektedir. "Genetic diversity", "population structure", "local goats", "breed", "Capra hircus" ve "SNPs" kavramları genetik kaynaklar, yerel ırklar ve popülasyon yapısıyla ilişkili güçlü bir tematik küme oluşturmaktadır. "Genetic diversity" kavramının büyük düğümü ve sürdürülebilirlik kavramıyla yakın ilişkisi, yerel keçi ırklarının korunmasının uzun vadeli üretim dayanıklılığı açısından temel bir konu olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yerel ırklar, hastalıklara, sıcaklık stresine ve düşük kaliteli yem koşullarına uyum kapasiteleri nedeniyle iklim değişikliğine dayanıklı üretim sistemlerinin geliştirilmesinde önemli genetik kaynaklar sunmaktadır. "SNPs" ve "bioinformatics" kavramları ise geleneksel ıslah çalışmalarının moleküler genetik ve veri odaklı yöntemlerle desteklenmeye başladığını

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

göstermektedir. “Nematodes”, “anthelmintics”, “FAMACHA”, “Haemonchus”, “FECRT” ve “epidemiology” kavramlarının oluşturduğu bağlantılar, hayvan sağlığı ve parazitlerle mücadele araştırmalarının literatürde ayrı ve güçlü bir tematik alan meydana getirdiğini göstermektedir. Parazit enfeksiyonları, keçilerde verim kayıpları, tedavi maliyetleri ve hayvan refahı üzerinde önemli etkilere sahip olduğundan sürdürülebilir üretimin teknik boyutlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Antelmintik direnciyle ilişkili kavramların görünürlüğü, kimyasal mücadele yöntemlerinin etkinliğinin azalmasına karşı alternatif ve bütünleşik kontrol stratejilerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. “Goat browsing” kavramı ise hayvanların beslenme davranışları ile mera ve parazit yönetimi arasındaki ilişkiye işaret etmektedir. “Circular economy”, “LCA”, “nutrient recovery”, “organic matter” ve “reusability” kavramları çevresel performans, atıkların yeniden kullanımı ve kaynak verimliliği etrafında gelişen sürdürülebilirlik yaklaşımını yansıtmaktadır. Döngüsel ekonomi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramlarının ağda görünür hâle gelmesi, araştırmaların yalnızca üretim miktarına değil; üretimin karbon, su, enerji ve atık boyutlarına da yöneldiğini göstermektedir. “Nutrient recovery” ve “organic matter” kavramları, gübre ve diğer organik materyallerin çevresel bir yük olmaktan çıkarılarak üretim sistemine yeniden kazandırılmasına yönelik yaklaşımları göstermektedir. “Willingness to pay” kavramının ağın çevresinde bulunması ise tüketicilerin sürdürülebilir keçi ürünlerine yönelik tercihleri ve ekonomik kabulünün henüz gelişmekte olan bir araştırma alanı olduğunu düşündürmektedir (Görsel 7).



Görsel 7. Anahtar kelime birlikte bulunma ağı ve tematik kümeler

3.2.2. Eş Atıf ve Entelektüel Yapı

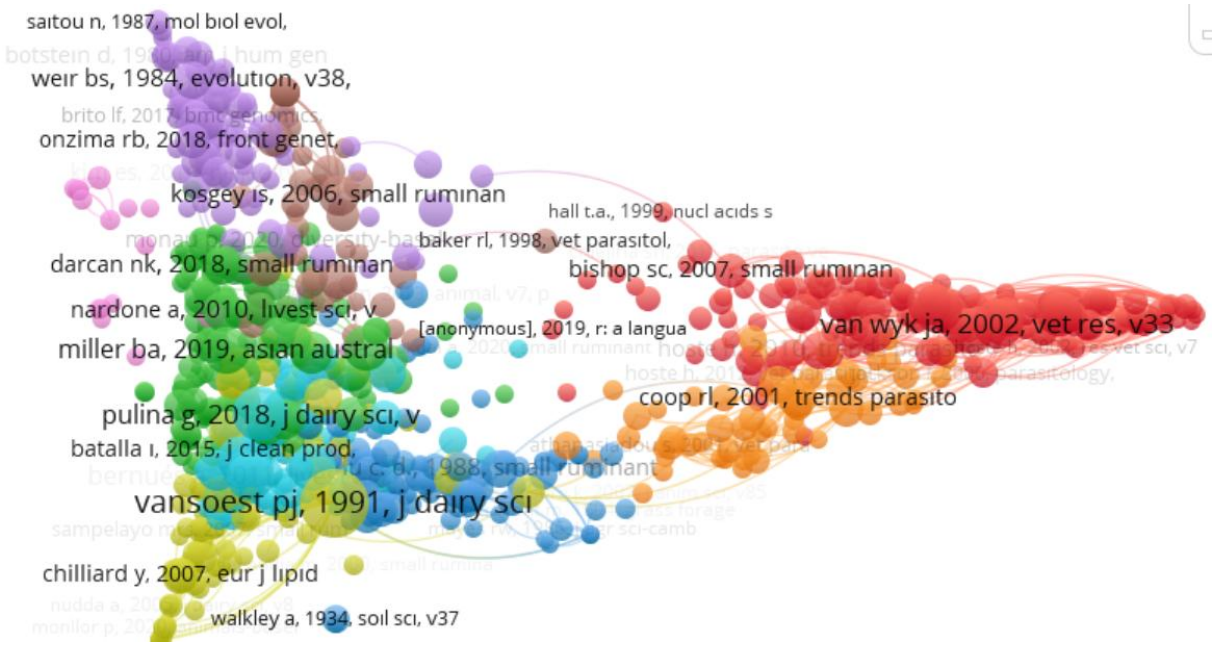
Eş atıf ağı, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik literatürünün dayandığı temel bilgi kaynaklarını ve bu kaynakların oluşturduğu entelektüel kümeleri göstermektedir. Eş atıf ilişkisi, iki çalışmanın sonraki yayınlarda birlikte kaynak gösterilme sıklığına dayanmaktadır. Ağdaki

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

düğümlerin büyüklüğü bir kaynağın eş atıf ağırlığını, bağlantı çizgileri kaynakların birlikte atıf alma ilişkisini, çizgilerin yoğunluğu ilişkinin gücünü ve renkler ise benzer bilimsel temellere dayanan kaynak kümelerini temsil etmektedir. Büyük ve merkezî düğümler, literatürün gelişiminde belirleyici olan ve farklı araştırma alanlarını birbirine bağlayan temel eserleri göstermektedir. Kırmızı kümede Van Wyk vd. (2003) ağın en büyük ve en belirgin düğümü olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın çok sayıda kaynakla güçlü bağlantılar kurması, parazit enfeksiyonları ve bunların kontrolüne ilişkin araştırmaların keçi yetiştiriciliği literatürünün önemli entelektüel temellerinden birini oluşturduğunu göstermektedir. Bishop vd. (2007) ile aynı kümede yer alan diğer kaynaklar; parazit direnci, konakçı-parazit ilişkileri, hayvan sağlığı ve genetik dayanıklılık konularında gelişen araştırma çizgisini temsil etmektedir. Kırmızı kümenin yoğun ve bütünleşmiş yapısı, parazitlerle mücadelenin yalnızca veterinerlik açısından değil, verimlilik, hayvan refahı ve ekonomik sürdürülebilirlik bakımından da merkezi bir konu olduğunu ortaya koymaktadır. Turuncu kümede Coop ve Kyriazakis (2001) belirgin bir kaynak olarak görülmektedir. Bu kümenin kırmızı kümeyle güçlü bağlantıları, parazit biyolojisi, hayvan besleme durumu ve bağışıklık arasındaki ilişkinin birlikte ele alındığını göstermektedir. Hayvanların beslenme düzeyi ve fizyolojik dayanıklılığı, parazit enfeksiyonlarının şiddetini ve tedavi başarısını etkileyebildiğinden, iki küme arasında güçlü bir bilimsel bağ bulunmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir parazit yönetiminin yalnızca kimyasal ilaç kullanımına değil; besleme, genetik direnç, mera yönetimi ve bütünleşik mücadele yöntemlerine de dayandırılması gerektiğine işaret etmektedir. Mor kümede Saitou ve Nei (1987), Weir ve Cockerham (1984), Onzima vd. (2018) ve Hall (1999) gibi genetik çeşitlilik, sürü yapısı ve moleküler analiz yöntemleriyle ilişkili temel kaynaklar bulunmaktadır. Saitou ve Nei (1987) ile Weir ve Cockerham (1984), genetik uzaklık, akrabalık ve popülasyon farklılaşmasının belirlenmesinde kullanılan yöntemsel temeli temsil etmektedir. Bu kaynakların Onzima vd. (2018) ile diğer güncel genetik çalışmalarla birlikte aynı kümede yer alması, keçi ırklarının moleküler yöntemlerle tanımlanması ve yerel genetik kaynakların korunmasına yönelik araştırmaların klasik popülasyon genetiği çalışmalarına dayandığını göstermektedir. Kosgey vd. (2006) gibi küçükbaş hayvan ıslahına odaklanan çalışmaların bu kümeye yakınlığı, genetik çeşitliliğin yalnızca biyolojik koruma açısından değil, üretim performansı ve iklim koşullarına uyum bakımından da değerlendirildiğine işaret etmektedir. Yeşil kümede Nardone vd. (2010), Koluman Darcan ve Silanikove (2018), Lu ve Miller (2019) ile Pulina vd. (2018) gibi sürdürülebilir hayvansal üretim, iklim değişikliği ve küçükbaş hayvan sistemleriyle ilişkili çalışmalar öne çıkmaktadır. Bu küme, keçi yetiştiriciliğinin çevresel değişimlere uyum, sıcaklık stresi, kırsal geçim, üretim dayanıklılığı ve kaynak kullanım etkinliği çerçevesinde ele alındığını göstermektedir. Koluman Darcan ve Silanikove (2018) ile Nardone vd. (2010) çevresinde oluşan bağlantılar, iklim değişikliğinin hayvan sağlığı ve üretim performansı üzerindeki etkilerinin literatürde önemli bir yer tuttuğuna işaret etmektedir. Lu ve Miller (2019) ile Pulina vd. (2018) gibi daha güncel kaynakların merkezî konumu ise sürdürülebilir keçi yetiştiriciliğinin geleneksel üretim konularından daha kapsamlı çevresel ve sosyoekonomik değerlendirmelere doğru genişlediğini göstermektedir. Sarı ve mavi kümelerde Van Soest (1991), Chilliard vd. (2007) ve Batalla vd. (2015) gibi hayvan besleme, yemlerin değerlendirilmesi, süt üretimi, ürün bileşimi ve çevresel performansla ilişkili çalışmalar yer almaktadır. Van Soest (1991), düğüm büyüklüğü ve farklı kümelerle kurduğu bağlantılar

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

bakımından hayvan besleme literatürünün temel kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kaynağın merkezî konumu, yemlerin kimyasal yapısı ve sindirilebilirliğinin keçilerde verimlilik, süt üretimi ve kaynak kullanım etkinliği açısından temel bir araştırma konusu olduğunu göstermektedir. Chilliard vd. (2007) çevresindeki bağlantılar, keçi sütü ve yağ asidi bileşimine yönelik araştırmaların besleme literatürüyle güçlü biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Batalla vd. (2015) gibi çevresel değerlendirme çalışmalarının bu yapıya bağlanması ise hayvan besleme ve üretim performansının karbon ayak izi, kaynak tüketimi ve temiz üretim yaklaşımlarıyla birlikte incelenmeye başladığını göstermektedir. Kümeler arasında çok sayıda bağlantı bulunması, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin tek bir bilimsel disipline dayanmadığını göstermektedir. Alanın entelektüel yapısı; hayvan sağlığı ve parazit direnci, genetik çeşitlilik ve yerel ırklar, hayvan besleme ve süt üretimi, iklim değişikliğine uyum ile çevresel performans olmak üzere birbiriyle ilişkili temel eksenlerden oluşmaktadır. Özellikle parazit kontrolü ve hayvan besleme kümelerinin ağda güçlü bir konuma sahip olması, geleneksel teknik sorunların literatürdeki öneminin sürdüğünü göstermektedir. Buna karşılık iklim uyumu, genetik kaynakların korunması ve çevresel performansla ilgili kümelerin belirginleşmesi, sürdürülebilirlik yaklaşımının zaman içinde daha bütüncül bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar, gelecekteki çalışmaların hayvan sağlığı, besleme, genetik, çevre ve işletme ekonomisini ortak bir değerlendirme çerçevesinde bir araya getirmesi gerektiğine işaret etmektedir (Görsel 8).



Görsel 8. Keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik literatürünün eş atıf ağı

3.2.3. Zaman İçindeki Tematik Değişim

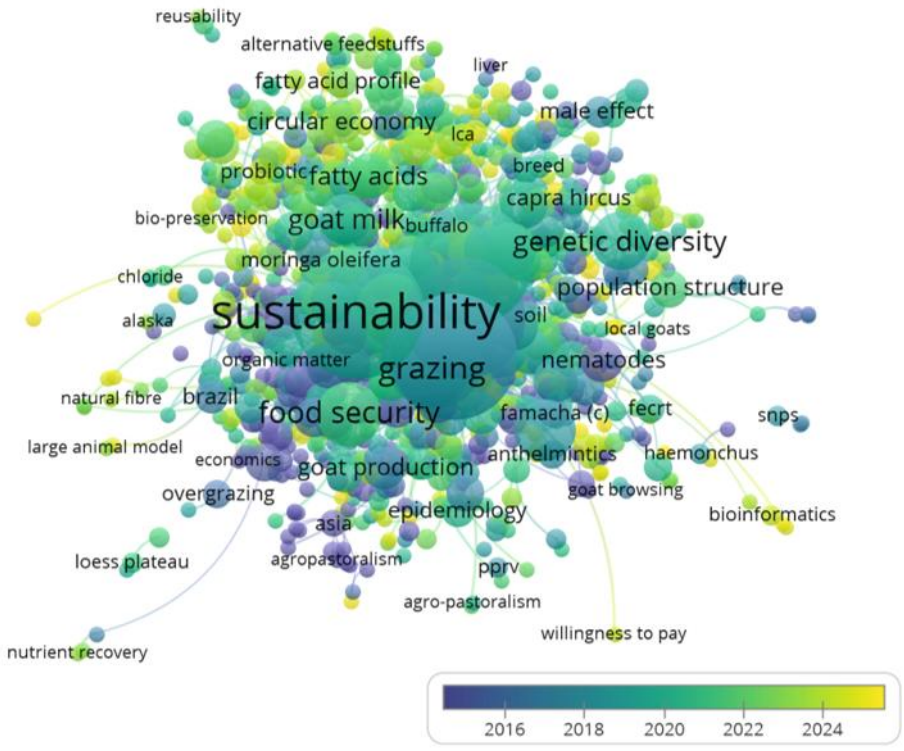
Anahtar kelimelerin zamansal dağılımı, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik araştırmalarının yıllar içerisinde hangi konulardan hangi yeni alanlara yöneldiğini göstermektedir. Haritadaki

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

renkler, anahtar kelimelerin yer aldığı yayınların ortalama yayın yılını temsil etmektedir. Mor ve mavi tonlar görece eski araştırma konularını, turkuaz ve yeşil tonlar orta dönemde yoğunlaşan konuları, açık yeşil ve sarı tonlar ise daha güncel araştırma eğilimlerini göstermektedir. Bu nedenle renkler bir konunun ilk kez ortaya çıktığı yılı değil, ilgili kavramın kullanıldığı çalışmaların ortalama zamanını ifade etmektedir. Düğümlerin büyüklüğü kavramların kullanım sıklığını, birbirine yakınlığı ve bağlantıları ise kavramların aynı çalışmalarda birlikte ele alınma düzeyini yansıtmaktadır. Görece eski dönemde "economics", "overgrazing", "Asia", "agropastoralism", "SNPs" ve hayvan sağlığıyla ilişkili bazı kavramların öne çıktığı görülmektedir. Bu yapı, keçi yetiştiriciliğine ilişkin erken dönem araştırmalarının üretim ekonomisi, geleneksel otlatma sistemleri, mera baskısı, bölgesel üretim koşulları ve temel genetik özellikler üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. "Overgrazing" ve "agropastoralism" kavramlarının eski araştırma alanları arasında bulunması, sürdürülebilirlik tartışmalarının başlangıçta daha çok doğal kaynakların kullanımı ve üretim sistemlerinin çevresel baskıları üzerinden geliştiğine işaret etmektedir. "Economics" kavramının konumu ise keçi yetiştiriciliğinin kırsalda gelir ve geçim kaynakları bakımından uzun süredir değerlendirilen bir üretim faaliyeti olduğunu göstermektedir. "Sustainability", "grazing", "food security", "goat production", "goat milk", "genetic diversity" ve "population structure" kavramları çoğunlukla turkuaz ve yeşil tonlarda yer almakta ve özellikle 2018–2022 döneminde literatürün merkezî araştırma eksenlerini oluşturmaktadır. "Sustainability" kavramının ağın merkezinde ve büyük bir düğüm olarak bulunması, bu dönemde farklı üretim, çevre, genetik ve sosyoekonomik konuların ortak bir sürdürülebilirlik çerçevesinde bütünleştirilmeye başladığını göstermektedir. "Grazing" ve "food security" arasındaki yakın ilişki, mera yönetiminin yalnızca çevresel koruma açısından değil, kırsaldaki hanelerin gıdaya erişimi ve üretimin devamlılığı bakımından da ele alındığını ortaya koymaktadır. "Goat milk", "fatty acids", "fatty acid profile", "probiotic" ve "bio-preservation" kavramlarının orta ve yeni dönem renklerinde görünmesi, keçi sütüne ilişkin araştırmaların verim düzeyinin ötesine geçerek ürün kalitesi, fonksiyonel özellikler, muhafaza yöntemleri ve tüketici sağlığı konularına yöneldiğini göstermektedir. Bu gelişme, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin yalnızca çiftlik düzeyindeki üretim performansıyla değil, elde edilen ürünlerin katma değeri ve pazarlanabilirliğiyle de ilişkilendirildiğine işaret etmektedir. "Moringa oleifera" ve "alternative feedstuffs" gibi kavramların giderek güncel hâle gelmesi ise yem maliyetlerini düşürme, yerel kaynaklardan yararlanma ve geleneksel yemlere çevresel açıdan daha uygun alternatifler geliştirme arayışını yansıtmaktadır. Genetik araştırmalarda da zaman içerisinde belirgin bir dönüşüm görülmektedir. "Genetic diversity", "population structure", "local goats", "breed" ve "Capra hircus" kavramları, yerel ırkların tanımlanması ve genetik kaynakların korunmasının sürdürülebilirlik açısından önem kazandığını göstermektedir. Daha güncel renklerde görülen "bioinformatics" kavramı, genetik çeşitlilik araştırmalarının moleküler veriler ve ileri hesaplama yöntemleriyle desteklenmeye başladığına işaret etmektedir. Bu yönelim, iklim değişikliği, sıcaklık stresi, hastalıklar ve yetersiz besleme koşullarına dayanıklı keçi ırklarının belirlenmesi ve ıslah programlarında kullanılması bakımından önem taşımaktadır. Hayvan sağlığı alanında "nematodes", "anthelmintics", "FAMACHA", "FECRT" ve "Haemonchus" kavramlarının farklı zaman renklerinde yer alması, parazitlerle mücadelenin literatürde süreklilik gösteren bir araştırma konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bazı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kavramların daha güncel renklerde görünmesi, antelmintik direncinin artmasıyla birlikte geleneksel ilaç uygulamalarının yeniden değerlendirildiğini ve alternatif mücadele yöntemlerine yönelimin güçlendiğini göstermektedir. Bu kapsamda parazit direnci, selektif tedavi, hayvanların gözlenmesine dayalı yöntemler ve mera yönetiminin birlikte ele alınması, sürdürülebilir hayvan sağlığı yönetiminin güncel bileşenleri hâline gelmektedir. Açık yeşil ve sarı tonlarla temsil edilen "circular economy", "LCA", "alternative feedstuffs", "bioinformatics", "willingness to pay", "natural fibre" ve "nutrient recovery" gibi kavramlar, alanın yeni araştırma yönelimlerini göstermektedir. "Circular economy" ve "nutrient recovery" kavramları, hayvansal atıkların yeniden değerlendirilmesi, besin maddelerinin üretim sistemine geri kazandırılması ve kaynak kullanım etkinliğinin artırılması konularının önem kazandığını ortaya koymaktadır. "LCA" kavramının güncel araştırmalarda görünür hâle gelmesi, keçi yetiştiriciliğinin çevresel etkilerinin yaşam döngüsü boyunca ölçülmesine yönelik ilginin artığını göstermektedir. Böylece araştırmalar yalnızca işletmedeki üretim miktarına değil; yem üretimi, enerji kullanımı, emisyonlar, gübre yönetimi, işleme ve pazarlama süreçlerinin toplam çevresel etkisine yönelmektedir. "Willingness to pay" kavramının güncel ancak ağın çevresinde konumlanan bir araştırma konusu olması, sürdürülebilir veya çevre dostu keçi ürünlerine yönelik tüketici tercihleri ve ödeme istekliliği çalışmalarının henüz gelişmekte olduğunu göstermektedir. Bu durum, literatürde üretim ve çevresel performans konularının güçlü olmasına karşılık pazar, tüketici davranışı ve ekonomik değer oluşturma boyutlarının daha sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Benzer şekilde, "reusability" ve "natural fibre" kavramları da keçi yetiştiriciliğinden elde edilen ürünlerin yeniden kullanımı, alternatif kullanım alanları ve döngüsel üretim modelleri bakımından yeni araştırma potansiyellerini göstermektedir (Görsel 9).



ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Görsel 9. Anahtar kelimelerin ortalama yayın yılına göre zamansal değişimi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, keçi yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik alanında 2000–2025 döneminde yayımlanan çalışmalar, bibliyometrik performans analizi ve bilim haritalaması yöntemleriyle incelenmiştir. Bulgular, alana yönelik bilimsel ilginin özellikle 2018 sonrasında hızla artığını ve yayın sayısının 2025 yılında en yüksek düzeyine ulaştığını göstermektedir. Atıflardaki belirgin artış da alanın akademik görünürlüğünün ve bilimsel etkisinin güçlendiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte literatürün henüz tam anlamıyla olgunlaşmış ve bütünleşmiş bir yapıya ulaşmadığı, farklı sürdürülebilirlik boyutlarının çoğunlukla birbirinden bağımsız biçimde incelendiği görülmektedir. Dolayısıyla alan, yayın hacmi ve tematik çeşitlilik bakımından gelişmekte; ancak ortak ölçüm yaklaşımları, karşılaştırılabilir göstergeler ve bütüncül değerlendirme modelleri bakımından gelişimini sürdürmektedir. Ülkeler ve kurumlar arasındaki bibliyometrik ilişkiler, bilimsel üretimin belirli merkezler etrafında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Hindistan, ABD, Çin, İspanya, İtalya, Fransa ve İngiltere yayın üretimi ve uluslararası iş birliği bakımından öne çıkarken; Aristotle University of Thessaloniki, Chinese Academy of Sciences, University of Pretoria, University of Edinburgh, University of KwaZulu-Natal, University of Córdoba ve INRA kurumsal ağın belirgin aktörleri arasında yer almıştır. Türkiye'nin uluslararası ağda bulunmasına rağmen merkez ülkelerle karşılaştırıldığında daha çevresel bir konumda yer alması, küresel araştırma ortaklıklarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yayınların Small Ruminant Research, Animals ve Tropical Animal Health and Production gibi hayvancılık ve veterinerlik odaklı dergilerde yoğunlaşması, alanın geleneksel bilimsel temelini ortaya koymaktadır. Buna karşılık Journal of Cleaner Production ve Environmental Science and Pollution Research gibi dergilerin ağdaki varlığı, araştırmaların çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak etkinliği yönünde genişlediğini göstermektedir. Birlikte kelime analizi sonucunda literatürün sürdürülebilir üretim ve gıda güvencesi, otlatma ve mera yönetimi, süt üretimi ve hayvan besleme, genetik çeşitlilik ve yerel ırklar, hayvan sağlığı ve parazitlerle mücadele ile çevresel kaynak yönetimi temaları etrafında şekillendiği belirlenmiştir. "Sustainability", "grazing", "food security", "goat production", "goat milk" ve "genetic diversity" kavramlarının ağın merkezinde bulunması, keçi yetiştiriciliğinin üretim, doğal kaynaklar ve kırsal refah arasındaki ilişkiler üzerinden ele alındığını göstermektedir. Eş atıf analizi de alanın entelektüel yapısının hayvan sağlığı ve parazitlere direnç, genetik çeşitlilik ve sürünün yapısı, hayvan besleme ve süt üretimi ile iklim değişikliği ve sürdürülebilir üretim sistemleri olmak üzere farklı bilgi eksenlerinden beslendiğini ortaya koymuştur. Zamansal değişim incelendiğinde ise araştırmaların geleneksel üretim, otlatma ve hayvan sağlığı konularından döngüsel ekonomi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, alternatif yem kaynakları, biyoinformatik ve tüketicilerin ödeme istekliliği gibi daha güncel konulara yöneldiği görülmüştür. Literatürdeki temel boşluklardan biri, çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik sürdürülebilirlik boyutlarının aynı araştırma modeli içerisinde yeterince bütünleştirilememesidir. Özellikle küçük ölçekli aile işletmelerinin gelir yapısı, maliyetleri, finansal dayanıklılığı, pazara erişimi ve uzun vadeli yatırım kapasitesine ilişkin

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

karşılaştırılabilir ekonomik veriler sınırlıdır. Sosyal sürdürülebilirlik bakımından kadınların üretim ve süt işleme faaliyetlerindeki rolleri, gençlerin sektöre katılımı, kuşak yenilenmesi, çalışma koşulları, üretici refahı ve sosyal sermaye gibi konular yeterince incelenmemektedir. Yönetişim, politika etkinliği, üretici örgütlenmesi, sigortaya erişim ve kamu desteklerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri de literatürün görece zayıf alanları arasındadır. Belirtilen konuların yanı sıra çalışmaların çoğunlukla tek ülkeye, bölgeye, işletme tipine veya değer zinciri aşamasına odaklanması, farklı üretim sistemleri arasında karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Çevresel açıdan enterik metan, gübre kaynaklı emisyonlar, karbon ve su ayak izi, mera bozulması ve iklim değişikliğine uyum konularında daha fazla işletme düzeyinde veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Ekstansif sistemlerin ekosistem hizmetleri ve marjinal alanların değerlendirilmesine sağladığı katkılar, yalnızca emisyon miktarları üzerinden değil; biyolojik çeşitlilik, toprak sağlığı, mera devamlılığı ve kırsal geçim üzerindeki etkilerle birlikte ele alınmalıdır. Yaşam döngüsü değerlendirmelerinin farklı üretim sistemlerine uygulanması ve ortak sistem sınırları ile gösterge setlerinin kullanılması, araştırma sonuçlarının karşılaştırılabilir olmasını artıracaktır. Ayrıca, alternatif yem kaynaklarının, döngüsel ekonomi uygulamalarının ve atıkların yeniden değerlendirilmesinin hem çevresel etkileri hem de işletme maliyetleri üzerindeki sonuçları birlikte incelenmelidir. Gelecekteki araştırmalarda işletme, değer zinciri ve bölge düzeyindeki verileri bir araya getiren bütünleşik sürdürülebilirlik değerlendirme modellerinin geliştirilmesi önerilmektedir. Bu modellerde çevresel göstergelerin yanı sıra işletme kârlılığı, gelir istikrarı, pazarlık gücü, pazar erişimi, toplumsal cinsiyet, kuşak yenilenmesi, hayvan refahı ve yönetişim göstergelerine birlikte yer verilmelidir. Hassas hayvancılık, uzaktan algılama, biyoinformatik ve omik teknolojilerin üretim performansı üzerindeki etkilerinin yanı sıra küçük ölçekli yetiştiriciler açısından maliyeti, erişilebilirliği ve benimsenme koşulları da araştırılmalıdır. Teknolojik çözümlerin yalnızca teknik başarısına odaklanılması yerine bunların ekonomik uygulanabilirliği, üretici kabulü ve kırsal eşitsizlikler üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir. Politika yapıcılar açısından küçük ölçekli keçi işletmelerine yönelik teknik eğitim, aşılama, barınak iyileştirme, sigorta, uygun finansman ve pazara erişim desteklerinin bütünleşik biçimde sağlanması büyük önem taşımaktadır. Üretici örgütlerinin güçlendirilmesi, kadınların üretim kaynaklarına erişiminin artırılması, genç yetiştiricilerin sektöre katılımının desteklenmesi ve üretim yapısıyla pazar talepleri arasındaki uyumsuzlukların azaltılması sürdürülebilirlik performansını geliştirebilir. Akademik açıdan ise ülkeler arası ortak projelerin artırılması, açık ve standartlaştırılmış veri tabanlarının oluşturulması, farklı coğrafyalardaki keçi üretim sistemlerini karşılaştıran uzun dönemli araştırmaların yürütülmesi gerekmektedir. Böylece keçi yetiştiriciliğinin yalnızca üretim ve verimlilik açısından değil, çevresel dayanıklılık, kırsaldaki işletmelerde hayvan refahı ve gıda güvencesi bakımından taşıdığı stratejik önem daha kapsamlı biçimde ortaya konulabilecektir.

KAYNAKÇA

Amrawaty A., A., Indrawirawan, Abdullah, A., & Dagong, M. I. A. (2025). Multidimensional sustainability assessment of Marica goat farming in contrasting

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

agroecological zones of South Sulawesi, Indonesia. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 20(3), 266–273.

Batalla, I., Knudsen, M. T., Mogensen, L., del Hierro, O., Pinto, M., & Hermansen, J. E. (2015). Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. *Journal of Environmental Management, 232*, 993–998.

Bishop, S. C., & Morris, C. A. (2007). Genetics of disease resistance in sheep and goats. *Small Ruminant Research, 70*(1), 48–59.

Chebli, Y., Chentouf, M., Ozer, P., Hornick, J.-L., & Cabaraux, J.-F. (2018). Forest and silvopastoral cover changes and its drivers in northern Morocco. *Applied Geography, 101*, 23–35.

Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., & Doreau, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology, 109*(8).

Chimi, P. M., Nkoué, B. B., Kamdem, M. E. K., Pokam, E. Y. N., Ngamsou, K. A., Yonga, G., Osso, D. B., & Mala, W. A. (2025). Trends in agricultural sustainability research: A 40-year bibliometric review. *Discover Environment*, 3, 120.

Cierjacks, A., & Hensen, I. (2004). Variation of stand structure and regeneration of Mediterranean holm oak along a grazing intensity gradient. *Plant Ecology, 173*, 215–233.

Contreras, R., Puertas, R., & Martinez-Gomez, V. (2025). Bibliometric analysis of emerging trends and future prospects in sustainable agriculture. Discover *Sustainability*, 6, 951.

Coop, R. L., & Kyriazakis, I. (2001). Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. *Trends in Parasitology, 17*, 325–330.

Day, R., Mohamed-Brahmi, A., Aribi, F., & Jaouad, M. (2025). Sustainable Goat Farming in Southeastern Tunisia: Challenges and Opportunities for Profitability. *Sustainability*, 17(8), 3669.

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 133, 285-296.

Dossa, L. H., Wollny, C., & Gauly, M. (2007). Spatial variation in goat populations from Benin as revealed by multivariate analysis of morphological traits. *Small Ruminant Research, 73*, 150–159.

Dubeuf, J.-P., Morand-Fehr, P., & Rubino, R. (2004). Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research, 51*, 165–173.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FAOSTAT. (2025). *Meat production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved June 6, 2025, from https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS

Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). Smart animal agriculture: Application of real-time sensors to improve animal well-being and production. *Annual Review of Animal Biosciences, 7*, 403–425.

Hall, S. J. G. (1999). Traditional goats and fat-tailed sheep in semi-arid north-eastern Zimbabwe. *Animal Genetic Resources Information, 26*, 65–73.

Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., & Aguilar-Caballero, A. J. (2008). Nutrition-parasite interactions in goats: Is immunoregulation involved in the control of gastrointestinal nematodes? *Parasite Immunology, 30*(2), 79–88.

Judijanto, L. (2026). Map of sustainable agriculture research development: Global bibliometric analysis (2000–2025). *West Science Agro*. 4(1), 119–127.

Kaplan, R. M. (2020). The changing landscape of parasite control in small ruminants: What practitioners need to know. *AABP Annual Conference Proceedings, 53*(2).

Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O., & Wang, S. (2005). Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 107*, 83–93.

Kenyon, F., Greer, A. W., Coles, G. C., Cringoli, G., Papadopoulos, E., Cabaret, J., Berrag, B., Varady, M., Van Wyk, J. A., Thomas, E., Vercruysse, J., & Jackson, F. (2009). The role of targeted selective treatments in the development of refugia-based approaches to the control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. *Veterinary Parasitology, 164*, 3–11.

Kirby, A. (2023). Exploratory Bibliometrics: Using VOSviewer as a Preliminary Research Tool. *Publications*. 11(1), 10.

Koluman Darcan, N., & Silanikove, N. (2018). The advantages of goats for future adaptation to climate change: A conceptual overview. *Small Ruminant Research, 163*, 34–38.

Kosgey, I. S., Baker, R. L., Udo, H. M. J., & Van Arendonk, J. A. M. (2006). Successes and failures of small ruminant breeding programmes in the tropics: A review. *Small Ruminant Research, 61*, 13–28.

Lim, W. M., Kumar, S., & Donthu, N. (2024). How to combine and clean bibliometric data and use bibliometric tools synergistically: Guidelines using metaverse research. *Journal of Business Research*. 182, 114760.

Lu, C. D. (2023). The role of goats in the world: Society, science, and sustainability. *Small Ruminant Research*, 227, 107056.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Lu, C. D., & Miller, B. A. (2019). Current status, challenges and prospects for dairy goat production in the Americas. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 32*(8).

Mądry, W., Mena, Y., Roszkowska-Mądra, B., Gozdowski, D., Hryniewski, R., & Castel, J. M. (2013). An overview of farming system typology methodologies and its use in the study of pasture-based farming systems: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research, 11*(2).

Mendes, M. K., Cam, O., Zen, A. C., Jaeger, R. de B., Callegaro-de-Menezes, D., & de Meira, J. M. (2026). Past and future of sustainability indicator research in agribusiness: A bibliometric and forecasting analysis. *Business Strategy and the Environment*. 1–24.

Meza-Herrera, C. A., Navarrete-Molina, C., Macias-Cruz, U., Arellano-Rodriguez, G., De Santiago-Miramontes, A., Sariñana-Navarrete, M. A., Marin-Tinoco, R. I., & Perez-Marin, C. C. (2024). Dairy Goat Production Systems: A Comprehensive Analysis to Reframe Their Global Diversity. *Animals*. 14(24), 3717.

Miller, B. A., & Lu, C. D. (2019). Current status of global dairy goat production: An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 32*(8 Suppl.), 1219–1232.

Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2015). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*. 106, 213 - 228.

Mueller, J. P., Ansari-Renani, H. R., Seyed Momen, S. M., Ehsani, M., Alipour, O., & Rischkowsky, B. (2015). Implementation of a cashmere goat breeding program amongst nomads in Southern Iran. *Small Ruminant Research, 129*, 69–76.

Munir, T. B., Bustamam, U. S. A., & Munir, M. B. (2014). Literature review: Strategic management on livestock. *International Journal of Communication, Management and Humanities AID Conference*.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science, 130*, 57–69.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C. A., De Santiago-Miramontes, A., Valenzuela-Núñez, L. M., Marin-Tinoco, R. I., Soto-Cardenas, M. A., & Sariñana-Navarrete, M. A. (2024). Dairy Goat Production: Socioeconomic, Environmental, and Cultural Importance Across Time (1970–2022) and Possible Scenarios (2050). *Resources*. 13(12), 177.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C., Macías-Cruz, U., & Véliz-Deras, F. (2020). Not all ruminants were created equal: Environmental and socio-economic sustainability of goats under a marginal-extensive production system. *Journal of Cleaner Production*. 255, 120237.

Onzima, R. B., Upadhyay, M. R., Doekes, H. P., Brito, L. F., Bosse, M., Kanis, E., Groenen, M. A. M., & Crooijmans, R. P. M. A. (2018). Genome-wide characterization of

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

selection signatures and runs of homozygosity in Ugandan goat breeds. *Frontiers in Genetics, 9*, 318.

Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*. 18, 3333 - 3361.

Paraskevopoulou, C., Theodoridis, A., Johnson, M., Ragkos, A., Arguile, L., Smith, L., Vlachos, D., & Arsenos, G. (2020). Sustainability Assessment of Goat and Sheep Farms: A Comparison between European Countries. *Sustainability*. 12(8), 3099.

Passas, I. (2024). Bibliometric Analysis: The Main Steps. *Encyclopedia*, 4(2), 1014-1025.

Pinheiro, F. M., & Nair, P. K. R. (2018). Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: A review of its ecology, management, and development opportunities. *Forest Systems, 27*(1).

Pulina, G., Lunesu, M. F., Pirlo, G., Ellies-Oury, M.-P., Chriki, S., & Hocquette, J.-F. (2022). Sustainable production and consumption of animal products. *Current Opinion in Environmental Science & Health, 30*, 100404.

Rusdiyana, E., Sutrisno, E., & Harsono, I. (2024). A bibliometric review of sustainable agriculture in rural development. *West Science Interdisciplinary Studies*. 2(3), 630–637.

Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution, 4*, 406–425.

Salem, H. B., & Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research, 77*(2–3), 174–194.

Salgado Duarte, Y., Szpytko, J., & del Castillo Serpa, A. M. (2020). Monte Carlo simulation model to coordinate the preventive maintenance scheduling of generating units in isolated distributed power systems. *Electric Power Systems Research, 182*, 106237.

Sargison, N. D. (2020). The critical importance of planned small ruminant livestock health and production in addressing global challenges surrounding food production and poverty alleviation. *New Zealand Veterinary Journal, 68*, 136–144.

Sarkar, A., Wang, H., Rahman, A., Memon, W. H., & Qian, L. (2022). A bibliometric analysis of sustainable agriculture: based on the Web of Science (WOS) platform. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 38928 - 38949.

Silva, S. R., Sacarrão-Birrento, L., Almeida, M., Ribeiro, D. M., Guedes, C., González Montaña, J. R., Pereira, A. F., Zaralis, K., Geraldo, A., Tzamaloukas, O., Cabrera, M. G., Castro, N., Argüello, A., Hernández-Castellano, L. E., Alonso-Diez, Á. J., Martín, M. J., Cal-Pereyra, L. G., Stilwell, G., & de Almeida, A. M. (2022). Extensive Sheep

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

and Goat Production: The Role of Novel Technologies towards Sustainability and Animal Welfare. *Animals*. 12(7), 885.

Solomon, T. B., Snyman, H. A., & Smit, G. N. (2007). Cattle-rangeland management practices and perceptions of pastoralists towards rangeland degradation in the Borana zone of southern Ethiopia. *Journal of Environmental Management, 82*(4), 481–494.

Taberlet, P., Valentini, A., Rezaei, H. R., Naderi, S., Pompanon, F., Negrini, R., & Ajmone-Marsan, P. (2008). Are cattle, sheep, and goats endangered species? *Molecular Ecology, 17*(1), 275–284.

Teh, S. Y., Song, C., & Surwanti, A. (2025). Exploring research on sustainable performance in agriculture: A bibliometric perspective. *E3S Web of Conferences*. 664, 09014.

Timpanaro, G., & Foti, V. T. (2024). The sustainability of small-scale sheep and goat farming in a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. 3(3), e12111.

Tsiouni, M., Aggelopoulos, S., Pavloudi, A., & Siggia, D. (2021). Profiling Goat Farm Enterprises Under The Prism Of Sustainability: The Role Of Financial Ratios, Socio-Demographic Characteristics And The Waste Management In Goat Enterprises. *Journal of Applied Business Research (JABR)*. 37(6), 225–240.

Tyasi, T. L., Ergin, M., & Mathapo, M. C. (2024). A bibliometric analysis of the literature on goat breeding. *F1000Research*. 13, 451.

Usva, K., Bhattarai, I., Abdulkareem, M., Pokharel, K., Sapkota, M., Panthi, S., Acharya, P., & Sharma, R. (2025). Life cycle sustainability assessment of an agricultural product in rural areas of Western Nepal—case study of goat meat. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 30, 3412 - 3428.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*(10), 3583–3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Van Wyk, J. A., Meyer, J., & Van Rensburg, L. J. (2003). Little anthelmintic drenching required for lambs finished over winter and spring on annually re-established irrigated pasture on the Highveld of Gauteng province, South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association, 74*(1).

Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology, 147*, 116–139.

Weir, B. S., & Cockerham, C. C. (1984). Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution, 38*, 1358–1370.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Xu, J., Li, Y., Zhang, M., & Zhang, S. (2024). Sustainable agriculture in the digital era: Past, present, and future trends by bibliometric analysis. *Heliyon*. 10(14), e34612.

Yu, S., & Mu, Y. (2022). Sustainable agricultural development assessment: a comprehensive review and bibliometric analysis. *Sustainability*. 14(19), 11824.

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*. 18(3), 429 - 472.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KURAKLIK STRESİNDE BİTKİ-KÖK MİKROBİYOM İNTERAKSİYONLARI: İKLİME DAYANIKLI TARIM İÇİN RİZOBİYOMDAN YARARLANMA

Doktor Öğretim Üyesi, BERNA BAŞ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, bernabas0127@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2455-2849

ÖZET

Kurak iklim halklarının temel geçim kaynakları susuz tarıma dayanmaktadır ve dünya genelinde bitkisel ve hayvansal kaynaklı gıda ihtiyaçlarının yaklaşık yarısı bu bölgelerden karşılanmaktadır. Kurak arazilerin genel özellikleri organik madde ve besin element fakirliği, toprak agregat yapısının dayanıksızlığı, tuzluluk oranının yüksekliği, su rezervlerinin yetersizliği, aşırı sıcaklık, şiddetli rüzgarlar ve dik açılı UV radyasyonu gibi fiziksel istikrarsızlığa yol açan stres faktörleriyle belirlenmektedir. Toprak-mikroorganizma toplulukları toprağın biyolojik katmanını oluşturmaktadır ve bitki sağlığının korunmasında, toprak verimliliğinin artırılmasında, toprak besin elementlerinin kullanılabilir formlara dönüştürülmesinde, tarımsal üretimin sürdürülebilir kılınmasında kritik rollere sahiptirler. Bitkiler tarafından üretilen düşük moleküler ağırlıklı semiyokimyasallar kökler aracılığıyla dış ortama salgılanmaktadır. Bu salgı maddeleri içindeki bazı kimyasallar sinyal olarak işlev yapmakta ve bitkilerin mikroorganizmalarla moleküler seviyede iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda rizosfer bölgesine belli mikroorganizmalar kolonize olmaktadır. Benzer mekanizmalarla donanımlı mikroorganizmalarda çeşitli kimyasallar üreterek konukçu bitkilerle interaksiyona girmektedirler. Bitkiler ve mikroorganizmalar arasındaki karşılıklı kimyasal madde transferiyle kurulan kooperatif ilişkiler derin bir simbiyotik ağın kurulmasını sağlamaktadır. Kuraklığın getirdiği çevresel baskılar, bitkileri fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde yapısal değişiklikler yapmaya ve değişen çevre koşullarına adapte olmaya zorlamaktadır. Bu kapsamda, kurak iklim şartlarında yaşam mücadelesi veren bitkilerin metabolik aktiviteleri, bu ekstrem ortamlara uyum sağlama yeteneği yüksek olan mikrobiyal toplulukları selekte etmektedir. Ancak mikroorganizmaların bitkilerle olan interaksiyonları da mikrobiyomun yapısı, toprak özellikleri, tarımsal uygulamalar ve değişken iklimsel koşullarda gelişen interaksiyonların ortaya çıkardığı bir özelliktir. Bitkilerin mikrobiyoma dayalı kuraklık ıslahında önemli bir ekolojik potansiyele sahip olan toprak mikroorganizmaları, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada ve tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini korumada hedefe yönelik strateji geliştirilmesinde yol gösterici olacaktır. Kurak topraklarda yaşayan mikroorganizmaların fonksiyonel yeteneklerinin aydınlatılması, iklim değişikliğine dirençli tarım uygulamalarının geliştirilmesi için önemli bir adım olacaktır. Bu derleme çalışmasında, aşırı sıcak iklim olayları karşısında tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde rol oynayan mikroorganizmaların yapısı ve bitkilerle kurdukları interaksiyonun toprak ve bitki sağlığı üzerindeki yansımaları incelenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Anahtar kelimeler: kurak arazi, bitki kuraklık stresi, rizosfer mikrobiyomu, bitki-rizobiyom interaksiyonu, iklime dirençli tarım

PLANT-ROOT MICROBIOME INTERACTIONS UNDER DROUGHT STRESS: HARNESSING THE RHIZOBIOME FOR CLIMATE-RESILIENT AGRICULTURE

ABSTRACT

The primary livelihoods of populations in arid climates rely on dryland agriculture, and approximately half of the global demand for plant- and animal-based food is met by these regions. Arid lands are characterized by stress factors that induce physical instability, such as a lack of organic matter and nutrients, unstable soil aggregate structures, high salinity, insufficient water reserves, extreme temperatures, strong winds, and intense UV radiation. Soil-microorganism communities constitute the soil's biological layer and play critical roles in maintaining plant health, enhancing soil fertility, converting soil nutrients into bioavailable forms, and ensuring the sustainability of agricultural production. Low-molecular-weight semiochemicals produced by plants are released into the external environment through their roots; specific chemicals within these exudates function as signals, enabling plants to communicate with microorganisms at the molecular level. Consequently, specific microorganisms colonize the rhizosphere. Similarly, microorganisms furnished with comparable mechanisms produce various chemicals to interact with their host plants. The cooperative relationships established through the mutual exchange of chemical substances between plants and microorganisms facilitate the formation of an intricate symbiotic network. Environmental pressures associated with drought compel plants to undergo structural changes at physiological, biochemical, and molecular levels and to adapt to changing environmental conditions. In this context, the metabolic activities of plants struggling to survive in arid climates select for microbial communities that are highly capable of adapting to these extreme environments. However, plant-microorganism interactions are also shaped by factors such as microbiome structure, soil properties, agricultural practices, and the dynamics arising from fluctuating climatic conditions. Soil microorganisms—which hold significant ecological potential for microbiome-based drought resilience breeding—will serve to guide the development of targeted strategies to mitigate the adverse effects of climate change and ensure the sustainability of agricultural ecosystems. Elucidating the functional capabilities of microorganisms inhabiting arid soils will represent a crucial step toward developing climate-resilient agricultural practices. This review examines the nature of microorganisms that play a role in the sustainability of agricultural ecosystems facing extreme heat events, as well as the implications of their interactions with plants for soil and plant health.

Keywords: arid lands, drought stress, rhizosphere microbiome, plant-microbe interactions, climate-resilient agriculture

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. GİRİŞ

Kurak (arid) coğrafik özelliklere sahip ülkeler ağırlıklı olarak Asya, Afrika, Avustralya ve Orta Doğu bölgelerinde yoğunlaşmakta olup, bu alanlar kuraklık indeks verilerine göre dünya üzerindeki toplam karasal alanların %47,2 'sini kapsamaktadır [1]. Yaklaşık 2,5 milyar insana ev sahipliği yapan kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yerel halkın temel geçim kaynağını susuz tarım faaliyetleri oluşturmaktadır; nitekim küresel gıda arzının %44'ü, hayvancılık faaliyetlerinin ise %50'si bu arid topraklardan karşılanmaktadır [2]. Söz konusu hassas ekosistemlerde, küresel iklim krizinin olumsuz etkilerine ek olarak bilinçsizce uygulanan tarımsal metotlar, toprakta ciddi üretkenlik ve işlev kayıplarına yol açarak çölleşme sürecini hızlandırmaktadır [3]. Genel bir değerlendirmeyle kurak ve yarı kurak araziler; organik madde ile besin elementleri yönünden fakirlik, dayanıksız toprak agregat yapısı, yüksek tuzluluk oranı, yetersiz su rezervleri, aşırı sıcaklıklar, şiddetli rüzgarlar ve dik açılı UV radyasyonu gibi fiziksel istikrarsızlığa yol açan stres faktörleriyle karakterize edilmektedir [4, 5, 6, 7].

Toprağın biyolojik katmanını meydana getiren toprak-mikroorganizma toplulukları, bitki sağlığının korunmasında, toprak verimliliğinin artırılmasında, toprak besin elementlerinin kullanılabilir formlara dönüştürülmesinde ve tarımsal üretimin sürdürülebilir kılınmasında kritik rollere sahiptirler [8]. Bitkiler tarafından üretilen şekerler, fenolik bileşikler, amino asitler ve amidler gibi düşük moleküler ağırlıklı organik maddeler bitkilerin kök salgılarıyla dış ortama aktarılmaktadır [9]. Semiokimyasal rol oynayan bu salgı maddeleri, kök rizosferinde mikrobiyal popülasyonlarla moleküler düzeyde iletişim kurulmasını sağlarken faydalı mikroorganizmaların bu bölgede kolonize olmasını teşvik etmektedirler [9]. Benzer bir mekanizmayla, özellikle bitki kök çevresine yerleşen rizobiyomlar başta olmak üzere toprak mikroorganizmaları da bitki büyümesini destekleyen antibiyotikler, uçucu organik bileşikler, fitohormonlar ve hücre dışı enzimler sentezleyerek konukçu bitkiyle interaksiyona girmektedirler [10]. Sonuç itibarıyla, bitkiler ve mikroorganizmalar arasındaki karşılıklı kimyasal madde transferi, bu canlılar arasında iş birliğine dayalı derin bir simbiyotik ağın kurulmasını sağlamaktadır.

Kuraklığın getirdiği çevresel baskılar, bitkileri fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde yapısal değişiklikler yapmaya ve değişen çevre koşullarına adapte olmaya zorlamaktadır. Bu bağlamda, kurak iklim şartlarında yaşam mücadelesi veren bitkilerin metabolik aktiviteleri, bu ekstrem ortamlara uyum sağlama yeteneği yüksek olan mikrobiyal toplulukları selekte etmektedir. Kurak ortamlarda bitki gelişiminin ve toprak kalitesinin korunarak geleceğe taşınması için, bu topraklarda yaşayan mikroorganizmaların fonksiyonel yeteneklerinin aydınlatılması, iklim değişikliğine dirençli tarım stratejilerinin geliştirilmesi için kilit bir adım olacaktır. Bu derleme çalışmasında, aşırı sıcak iklim olayları karşısında tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde rol oynayan mikroorganizmaların hem kendi aralarındaki iletişimleri hem de bitkilerle kurdukları interaksiyonun toprak ve bitki sağlığı üzerindeki yansımaları incelenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2. KURAKLIK VE MİKROORGANİZMALAR

Bitki köklerine yakın konumda yaşayan mikroorganizmaların faaliyetleri bitki sağlığıyla yakından ilgili olduğu için değişen çevresel faktörlerin bitki sağlığıyla birlikte mikroorganizmaları da etkilemesi muhtemel bir sonuçtur. Susuz ortamda mikroorganizmaların enzim faaliyetleri azalacağı için hücre-içi homeostaz bozulacaktır. Kuraklık gibi zor koşularda, toprak mikroorganizmaları hayatta kalmak ve yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için hücresel, moleküler, topluluk-içi ve topluluklar-arası interaksiyonlar düzeylerde birçok özel stratejiler geliştirmişlerdir [11]. Bu stratejiler su dengesini düzenlemek, biyofilm oluşumu, oksidatif strese karşı savunma, stresle ilgili genlerin aktif/inaktif hale geçmesi ve organizmalar arası gen transferleridir [11, 12]. Böylece stresli koşullarda toprak mikroorganizmaları metabolik faaliyetlerini sürdürerek hücre-içi dengelerini korumaktadırlar. Bu faaliyetler kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Taksonomik, metagenomik, genomik ve biyokimyasal araştırma sonuçlarına göre şiddetli kuraklıkta toprak mikroorganizmalarında hücresel ve yüksek büyüme potansiyelinin korunmasına yönelik (yüksek metabolik katsayıya sahip DNA replikasyonu, transkripsiyon, translasyon, temel karbon metabolizması ve sentezi gibi) ve stres toleranslığıyla (DNA tamir sistemi, katyon taşınması, sporulasyon ve ozmolit biyosentez genleri gibi) ilgili stratejilerin ön plana çıktığı görülmektedir [13]. Kuraklık dönemlerinde mikroorganizmaların büyüme verimi düşük olup daha az kurakçıl mikroorganizmalarda ise kaynak edinimi ve büyüme veriminin yüksek olduğu rapor edilmiştir [13]. Kısacası stres şartları organizmaları hayatta kalmak veya büyümek/gelişmek arasında bir tercihe zorlamaktadır.

Toprak mikrobiyota zenginliğini etkileyen en önemli faktör yağmurdur [14]. Avustralya 'da kurak ekosistemde yapılan bir araştırmada yağışın yoğun olduğu yıllarda takson çeşitliliğinde artış gözlenirken yağışın azalmasıyla beraber çeşitlilikte oransal bir azalış olduğu tespit edilmiş olup kuraklık artışıyla beraber genel olarak kuraklığa dayanıklı fungal ve bakteriyel taksonların ortaya çıktığı rapor edilmiştir [15]. Araştırıcıların kurak koşullarda tanısını yaptığı fungal toplulukların büyük bir kısmını, endofitik ve ektomikorizal funguslar gibi bitki-simbiyotik organizmalar oluşturmaktadır. Bu durum, kuraklık baskısının mikrobiyal habitatları daralttığına ve bu ekstrem ortamlarda bitki köklerinin, mikrobiyom yapısının şekillenmesinde belirleyici rol üstlendiğine işaret etmektedir.

Toprak nemi düştüğü zaman maddelerin difüzyonu azalmaktadır ve su kaybı nedeniyle kaynaklara erişim zorluğu mikroorganizmaları doğrudan etkilemektedir [16]. Çeşitli deneysel araştırmalarda, kuraklık koşullarında mikrobiyal kütle, mikrobiyal faaliyetler ve karbon/azot mineralizasyonu azalırken; su kaybını önleyen ozmolitlerden bakteriyel amino asitler ile fungal poliyollerin miktarında artışlar yaşandığı rapor edilmiştir [17, 18]. Şiddetli kuraklık toprak mikroorganizma çeşidi ve yoğunluğunu etkileyerek mikrobiyomunun yapısını, yoğunluğunu ve işlevlerini değiştirmektedir. Kuraklığın kronik veya kısa süreli olması mikrobiyel toplulukların kompozisyonunda farklı etkilere sahip olabilir. Toprak nemi mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetleri için hayati öneme sahiptir. Fungal organizmalar kuraklık nedeniyle su potansiyelindeki değişimlerden daha az etkilenirken bakteriler daha yüksek hassasiyet

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

göstermektedirler [19]. Bakteriler ve funguslar morfolojik ve hücresel olarak farklıdırlar. Genel olarak fungal hiflerin yumak şeklindeki miselyum ağ tabakasının geniş organizasyonu ve hidrofilik kitinden meydana gelen hücre duvarı kimyası onlara muazzam bir su tutma kapasitesi verirken, bakterilerin tekil hücresel yapısı onları su stresine karşı çok daha hassas kılmaktadır.

2.1. Rizobiyom Aracılı Kuraklığa Dayanıklılık Mekanizmaları

Şiddetli kurak koşullarda bitki rizobiyal organizmalar kimyasal, fiziksel ve fizyolojik yollarla bitkilerin gelişimi ve verimini artırmaktadır [20]. Mikroorganizmalar kimyasal olarak salgıladıkları ekzopolisakkaritlerle (EPS) toprak agregatlarını stabil hale getirerek ve gözenek ölçeğinde hidrolik özellikleri etkileyerek su tutulumunu artırmaktadırlar [21]. Yoğun bir hifsel ağ sistemine sahip olan mikorizal funguslar bitki köklerinin kuytulardaki küçük su birikintilerine ulaşmasında köprü görevi görmekte ve nemi bitkiye ulaştırmaktadır [20]. Fizyolojik yollarla stres hormonu olan etilen seviyesini düşürmek için ACC-deaminase enzimini üreterek ve indol-3-asetik asit gibi fitohormonlar yoluyla adventif ve lateral kökleri teşvik ederek kök yapısını değiştirmektedir [22].

2.2. Rizobiyal Organizmalar, Kuraklık Toleranslığı ve Bitki Gelişimi

Rizobiyom mikroorganizmaları EPS dışında çeşitli kimyasallar da sentezlemekte ve hücre dışına salgılamaktadırlar. Bakterilerin ürettiği uçucu organik maddeler bitkileri morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde değişime uğratmaktdır [23]. Kurak çevrede su olmadığı için besin maddelerinin difüzyonu ve kitle halinde fiziksel akışları azaldığı için bitki kökleriyle beslenme zayıflamaktadır. Bitki kök çevresindeki mikrobiyal topluluklar, kök mimarisini değiştirerek, organik moleküller salgılayarak ve kök ağını fiziksel olarak büyüterek kuraklığın neden olduğu kütle akışı ve difüzyon engellerini aşarak bitkinin besin alımını devam ettirmektedirler. Bitki kökleri fungal tallus ve bakteriyel biyofilmler aracılığıyla su kaynaklarına ulaşabilmektedirler. Rizobiyum üyeleri çeşitli bakteriler ve arbusküler mikorizal funguslar mineral fosfor çözücü özellikleriyle inorganik fosforu serbest hale getirerek bitkilerin alımını kolaylaştırmakta, atmosferik azotu bağlayarak, Ca, Mg, S, K, P, Al, Si gibi önemli makro-mikro elementlerini alımını iyileştirerek bitkilerin gelişimine destek olmaktadırlar [24]. *Arthrobacter, Bacillus, Pseudomonas, Serratia* ve *Stenotrophomonas* gibi organizmaların ürettiği alkanlar, klorlu bileşikler vb. uçucu organik maddeler toprak matriksinden kolayca difüze olmaktadır [25]. Bu sayede bitkiler uyarılarak biyotik ve abiyotik stres dayanıklılık mekanizmaları aktif hale geçmektedir. Kurak koşullarda *Pisum sativum* 'da prolin, malat, miyoinositol gibi maddelerin üretiminde artış meydana gelmiştir [26]. Örneğin prolin yüksek hidrasyon kapasitesi nedeniyle proteinlere bağlanarak denaturasyona engel olmaktadır.

2.3. Çöl Organizmalarının Kurak Tarım Alanlarına Adaptasyonları

Çöl biyolojik toprak kabuğu mikroorganizmaları ve bitki kök mikrobiyomu, kurak tarım alanlarında toprak sağlığını korumak, bitkileri ekstrem iklim streslerinden korumak ve tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için birbirini tamamlayan iki devasa mikrobiyal ekosistemdir. Kuraklık, yüksek sıcaklık ve besin kıtlığı ile mücadele eden modern tarımda bu iki sistem, kimyasal girdileri azaltan ve toprağı canlı tutan doğal potansiyele sahiptir [27].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Cezayir kum çöllerinden 70 °C 'de yaşayan *Geobacillus* cinsine ait çeşitli bakteriler izole edilmiş olup ilgili bakterilerin ısıya stabil olan proteaz, amilaz, lakkaz, DNaz gibi enzimlerden en az birini sentezleyebildiği rapor edilmiştir [28]. *Bacillus licheniformis* ve *Bacillus sonorensis* 'in çeşitli ırkları çöl topraklarında yaşamakta olup 30 – 75 °C aralığında sıcaklıklara tolere edebilmektedir [29]. *Bacillus licheniformis* ile inokule edilen domateste yapılan bir araştırma da bitkinin kök sistemi ile sürgünlerin kuru ve taze yaş ağırlığının arttığı, tohum çimlenmesini teşvik ettiği, bitki büyümesini desteklemek amacıyla indol asetik asit hormonu ürettiği bildirilmiştir [30]. Benzer çalışma *Bacillus sonorensis* ile biberde denenmiş ve bir fosfat çözücüsü olan bu bakterinin ürettiği indol asetik asit, siderofor, kitinaz, hidrojen siyanid, ACC deaminaz, biyofilm gibi çeşitli maddeler bitkinin kuru ağırlığı, besin içeriği ve meyve veriminde artışlara neden olmuştur [31]. Bacillus gibi PGPR organizmalarının ürettiği bu kimyasallar bir bitkiye özgü olmayıp genel bir özelliktir. Mikroorganizmaların ürettiği bu kimyasallardan IAA bitki kök gelişimini destekleyerek, siderofor ile çeşitli katyonları ve ağır metalleri bağlayarak bitkilere hem besin maddesi temin ederek hem de toprağı ağır metallerden arındırarak, kitinaz ve hidrojen siyanadle çeşitli patojen mikroorganizmalara ve pestlere karşı bitkileri savunarak, ACC deaminaz enzimiyle etilen üretimini azaltarak bitkiye dayanıklılık kazandırmak suretiyle, kök çevresini kuşatan bakteriyel biyofilm üretimiyle bakterilerin hem bitki köklerini kolonize etmesine yardım ederek hem de köklerin su kaybını önleyerek bitki gelişimine önemli katkılar sunmaktadırlar. Biyogübre olarak da kullanılan *Nostoc commune* siyanobakteri türü optimal 20 -33 °C aralığında aktif gelişimini sürdürürken desikasyon durumunda -269 ile +70 °C sıcaklık aralığında yaşamına dormant olarak devam edebilmektedir [32].

Doğayla uyumlu biyoteknolojik yöntemlerle mikrobiyel inokulasyonlar kurak toprak rehabiltasyonunda önemli sonuçlar doğurabilir. Yapay biyoteknolojik uygulamaların çoğu ağır stres koşullarında arzu edilen veya beklenen sonuçları vermemektedir [33]. Bunu iki nedene dayandırabiliriz; ilk olarak yayınlanan makalelerde çalışmalara ait metot/yöntem/materyal/sonuç net veriler olmayabilir, araştırıcı denemenin kritik/hassas noktalarını açıklamayabilir, diğer neden ise bazı yayınlarda kullanılan genel bir standarta sahip ticari mikroorganizma veya mikroorganizmalar lokal uyum göstermeyebilir. Edafik ve iklimsel faktörler çevresel değişkenlik göstermektedir. Buna bağlı olarak organizmalar da bulundukları çevrenin baskısıyla evrim geçirmektedirler. Örneğin ekstremofilik bir arke olan *Pyrolobus fumarii* okyanus tabanlarında 113 °C gibi aşırı sıcaklıklarda yaşamaktadır, 85 °C 'nin altında ve 115 °C 'nin üzerinde gelişmesi durmaktadır [34]. En sıcak çöl iklimlerinde litosfer yüzey ısısı 80 °C dolaylarındadır ve gün içinde değişken olmasından dolayı termofilik mikroorganizmaların metabolizmalarının sürekliliği kesintiye uğramaktadır [35, 36]. Bu nedenle 80 °C üzerinde yaşayan hipertermofilik organizmalara genellikle karasal alanlarda rastlanmamaktadır [35]. Dolaysıyla lokal veya bölgeye ait araştırmalar yapılarak toprak-vejetasyon-ekolojiye uygun organizmalar selekte edilmelidir. Kısacası stratejik yol haritası belirlenmelidir. Kullanılacak mikroorganizma çeşitleri/ırkları inokulasyon yapılacak kurak bölgenin topraklarından izole edilmelidir, ki böylece seçilen mikroorganizmalar kuraklığa dayanıklılık fonksiyonlarını, topraktaki diğer organizma topluluklarıyla interaksiyonlarını, ekolojik uyumu ve toprak sağlığını sürdürülebilir bir şekilde koruyabilsin.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

3. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Suyun yetersiz olduğu dönemlerde, bitkiler besin alımı ve stres adaptasyonu gibi hayati fonksiyonlarını sürdürmede toprak mikroorganizmalarından büyük ölçüde yararlanmaktadır. Dünya genelinde değişen iklim koşullarına ve kuraklığa karşı bitki-toprak sağlığının korunmasında çevre dostu tarımsal pratikler arayışına doğru bir hareketlilik vardır. Bu kapsamda sürdürülebilir tarımın önemli bileşenlerinden olan rizobiyal organizmalar yegane fonksiyonel kapasiteleriyle bitkilere ikinci bir genom kazandırarak kuraklığa dayanıklılık ıslahında devrimsel bir biyoteknolojik araç sunmaktadırlar.

Kurak alan ekosistemlerinde çöl organizmalarının çeşitli fonksiyonları da bitki-toprak sağlığını doğrudan etkileyebilir. Çöl mikroorganizmalarının kuraklık dayanıklılığı, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada ve tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini korumada önemli bir ekolojik potansiyele sahiptir. Ancak bu konuyla ilgili deneysel araştırmalar kontrollü koşullarda laboratuvarda veya kapalı alanlarda gerçekleştirilmektedir. Oysa çok çeşitli biyotik ve abiyotik streslerin aynı anda karşılaştığı doğada doğal sistemler son derece karmaşıktır. Toprağın doğal mikroorganizma yapısı, bitkinin genetik özellikleri, toprak tipi ve iklim dalgalanmaları arasındaki dinamik yapı üstün ekolojik özellikli biyoinokulantların gerçek arazide uygulama başarısını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu kapsamda bitki ıslahı, çevre ıslahı, biyoteknolojik formülasyon vb. çalışmalarda ekstremofil biyoinokulant kullanımında standart bir kalitatif ve kantitatif metot geliştirilmesi oldukça zordur. Son derece sınırlı alanlarda lokal araştırmalarla yapılacak uygulamalar daha uygun sonuçlar verebilir.

TEŞEKKÜR

Yazar bu bildirinin bazı paragraflarının dilbilgisi kontrolü ve akademik üslup düzenleme aşamalarında Google AI yapay zeka desteğinden revize ederek kısmen yararlandığını beyan eder. Çalışmanın bilimsel içeriği, analizi ve yorumu tamamen yazarın sorumluluğundadır.

KAYNAKÇA

[1] Suleiman, M.K. (2026). Global Distribution of Arid Lands: Opportunities and Constraints for Agriculture and Food Security. In: Suleiman, M.K., Shahid, S.A. (eds) Fostering Arid Lands Agriculture in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research, vol 81. Springer, Cham.

[2] Gaur, M.K. & Squires, V.R. (2017). Geographic extent and characteristics of the world's arid zones and their peoples. In *Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands* (pp. 3-20). Cham: Springer International Publishing.

[3] Xue, J., Gui, D., Lei, J., Sun, H., Zeng, F., Mao, D., ... & Liu, Y. (2019). Oasification: An unable evasive process in fighting against desertification for the sustainable development of arid and semiarid regions of China. Catena, 179, 197-209.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[4] Köberl, M., Müller, H., Ramadan, E.M. & Berg, G. (2011). Desert farming benefits from microbial potential in arid soils and promotes diversity and plant health. PloS one, 6 (9), e24452.

[5] Hernández, T., Garcia, E. & García, C. (2015). A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: A sole addition of compost at a high rate. A five-year field experiment. Soil Biology and Biochemistry, 89, 61-71.

[6] Soussi, A., Ferjani, R., Marasco, R., Guesmi, A., Cherif, H., Rolli, E., ... & Cherif, A. (2016). Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. Plant and Soil, 405 (1), 357-370.

[7] Alori, E.T., Emmanuel, O.C., Glick, B.R. & Babalola, O.O. (2020). Plant–archaea relationships: a potential means to improve crop production in arid and semi-arid regions. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 36 (9), 133.

[8] Trivedi, P., Leach, J.E., Tringe, S.G., Sa, T. & Singh, B.K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. Nature Reviews Microbiology, 18 (11), 607-621.

[9] Enagbonma, B.J., Fadiji, A.E., Ayangbenro, A.S. & Babalola, O.O. (2023). Communication between Plants and Rhizosphere Microbiome: Exploring the Root Microbiome for Sustainable Agriculture. Microorganisms, 11 (8), 2003.

[10] Joo, H.S., Deyrup, S.T. & Shim, S.H. (2021). Endophyte-produced antimicrobials: a review of potential lead compounds with a focus on quorum-sensing disruptors. Phytochemistry Reviews, 20 (3), 543-568.

[11] Liu, X., Delgado-Baquerizo, M., Yang, T., Gao, G.F., Shi, Y. & Chu, H. (2024). Contrasting patterns for bacteria and archaea in response to salt stress across alpine wetlands of the Tibetan Plateau. Fundamental Research.

[12] Gamalero, E. & Glick, B.R. (2022). Recent advances in bacterial amelioration of plant drought and salt stress. Biology, 11 (3), 437.

[13] Li, C., Liao, H., Xu, L., Wang, C., He, N., Wang, J. & Li, X. (2022). The adjustment of life history strategies drives the ecological adaptations of soil microbiota to aridity. Molecular Ecology, 31 (10), 2920-2934.

[14] Nielsen, U.N. & Ball, B.A. (2015). Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystems. Global Change Biology, 21 (4), 1407-1421.

[15] Maisnam, P., Jeffries, T C., Szejgis, J., Bristol, D., Singh, B.K., Eldridge, D.J., ... & Nielsen, U.N. (2023). Severe Prolonged Drought Favours Stress-Tolerant Microbes in Australian Drylands: P. Maisnam et al. Microbial Ecology, 86 (4), 3097-3110.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[16] Naylor, D., DeGraaf, S., Purdom, E. & Coleman-Derr, D. (2017). Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. The ISME journal, 11 (12), 2691-2704.

[17] Schimel, J., Balser, T.C. & Wallenstein, M. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. Ecology, 88 (6), 1386-1394.

[18] Hueso, S., García, C. & Hernández, T. (2012). Severe drought conditions modify the microbial community structure, size and activity in amended and unamended soils. Soil Biology and Biochemistry, 50, 167-173.

[19] Manzoni, S., Schimel, J.P. & Porporato, A. (2012). Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. Ecology, 93 (4), 930-938.

[20] Etesami, H. & Ryu, C.M. (2026). The rhizobiome-induced hydraulic continuum: An emergent property driving plant drought resilience. Soil and Tillage Research, 264, 107376.

[21] Shahid, I. & Mehnaz, S. (2026). Engineering the Rhizomicrobiome for Drought-Resilient Soil and Sustainable Agriculture. In Frontiers in Rhizoengineering: Genomics, Metabolomics and Beyond (pp. 313-335). Singapore: Springer Nature Singapore.

[22] Chieb, M. & Gachomo, E.W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. BMC Plant Biology, 23 (1), 407.

[23] Akhtar, N., Ilyas, N., Hayat, R., Yasmin, H., Noureldeen, A. & Ahmad, P. (2021). Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nano-particles for amelioration of drought stress in wheat. Plant Physiology and Biochemistry, 166, 160-176.

[24] Zaib, S., Zubair, A., Abbas, S., Hussain, J., Ahmad, I. & Shakeel, S.N. (2023). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Reduce Adverse Effects of Salinity and Drought Stresses by Regulating Nutritional Profile of Barley. Applied and Environmental Soil Science, 2023 (1), 7261784.

[25] Zou, C., Li, Z. & Yu, D. (2010). *Bacillus megaterium* strain XTBG34 promotes plant growth by producing 2-pentylfuran. The Journal of Microbiology, 48 (4), 460-466.

[26] Szablińska-Piernik, J. & Lahuta, L. B. (2021). Metabolite profiling of semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) under progressive soil drought and subsequent re-watering. Journal of Plant Physiology, 256, 153314.

[27] Pagli, C., Maggioli, L., Roncero-Ramos, B., Pajuelo, E., Muñoz-Rojas, M., Braglia, R., ... & Cantón, Y. (2025). Unlocking the potential of biocrust microorganisms in agriculture: cyanobacteria and heterotrophic bacteria with plant growth-promoting properties. Frontiers in Plant Science, 16, 1659217.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[28] Hammadi, A.I., Merzoug, M., Aireche, M., Zater, Z.Y., Bendida, K., Brakna, C.N., ... & Saidi, D. (2025). Integrated Proteomic and Molecular Identification of Thermophilic Geobacillus Strains from Algerian Desert Sands and Their Enzymatic Potential. Life, 15 (8), 1327.

[29] Aanniz, T., Ouadghiri, M., Melloul, M., Swings, J., Elfahime, E., Ibijbijen, J., ... & Amar, M. (2015). Thermophilic bacteria in Moroccan hot springs, salt marshes and desert soils. Brazilian Journal of Microbiology, 46 (2), 443-453.

[30] de O. Nunes, P.S., De Medeiros, F.H., De Oliveira, T.S., de Almeida Zago, J.R. & Bettiol, W. (2023). Bacillus subtilis and Bacillus licheniformis promote tomato growth. Brazilian Journal of Microbiology, 54 (1), 397-406.

[31] Thilagar, G., Bagyaraj, D.J., Podile, A.R. & Vaikuntapu, P.R. (2018). Bacillus sonorensis, a novel plant growth promoting rhizobacterium in improving growth, nutrition and yield of chilly (*Capsicum annuum* L.). Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 88 (2), 813-818.

[32] Sand-Jensen, K. & Jespersen, T.S. (2012). Tolerance of the widespread cyanobacterium Nostoc commune to extreme temperature variations (− 269 to 105 C), pH and salt stress. Oecologia, 169 (2), 331-339.

[33] Bashan, Y., Prabhu, S.R., de-Bashan, L.E. & Kloepper, J.W. (2020). Disclosure of exact protocols of fermentation, identity of microorganisms within consortia, formation of advanced consortia with microbe-based products. Biology and Fertility of Soils, 56 (4), 443-445.

[34] Blochl, E. (1997). *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for lift to 113℃. Extremophiles, 1, 14-21.

[35] Holden, J. (2008). Some like it hot: understanding the limits of life using hyperthermophilic microbes. 37th COSPAR Scientific Assembly, 37, 1259.

[36] https://desertsoftheworld.com/hottest-deserts-in-the-world/

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KURAK TARIM EKOSİSTEMLERİNDE BİYOLOJİK TOPRAK KABUĞU MİKROBİYOMUNUN YAPISI VE FONKSİYONEL POTANSİYELİ

Doktor Öğretim Üyesi, BERNA BAŞ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, bernabas0127@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2455-2849

ÖZET

Kurak tarım ekosistemleri, şiddetli su kıtlığı, besin elementi yetersizliği ve iklim değişikliği baskılarına karşı son derece hassastır. Bu zorlu çevre koşullarında, siyanobakteriler, algler, likenler ve yosunların toprak partikülleriyle etkileşime girmesiyle oluşan karmaşık topluluklar, yani biyolojik toprak kabukları (biyokabuklar), ekolojik mühendisler olarak görev yapmaktadırlar. Son yapılan yüksek kararlılıktaki metagenomik çalışmalar, biyolojik toprak kabuğu mikrobiyomlarının son derece özelleşmiş ve dinamik bir topluluk yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Biyolojik toprak kabuk oluşumunun erken evrelerinde, toprak stabilizasyonunu başlatan *Microcoleus* spp. gibi filamentli siyanobakteriler genellikle baskındır. Kabuklar olgunlaştıkça, heterotrof bakteriler, arkeler ve mantarlardan oluşan belli başlı gruplar da dahil olarak mikrobiyel çeşitlilik artmaktadır. Fonksiyonel açıdan bu mikrobiyom, atmosferik azot fiksasyonu ve karbon tutulumunu kolaylaştırarak temel biyojeokimyasal döngüleri yönetmekte ve besin açısından fakir olan kurak toprakları organik madde ve temel elementler açısından zenginleştirmektedir. Ayrıca, biyokabuk mikroorganizmaları tarafından salgılanan hücre dışı polimerik maddeler, toprak agregat stabilitesini artırmakta, rüzgar ve su erozyonunu azaltmakta ve nem tutma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Biyokabuk mikroorganizmalarının metagenomik profil çalışmalarında stres toleransı, fosfat çözünmesi ve bitki büyümesini teşvik eden özelliklerle ilişkili fonksiyonel genlerin büyük oranda bulunduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak, biyokabuk mikrobiyomu, kurak tarım topraklarının fizikokimyasal ve ekolojik bütünlüğünü sürdüren hayati öneme sahip biyolojik tampon görevi görmektedir. Kurak alan ekosistemlerinin önemli bileşenlerinden olan biyokabuk mikrobiyel ağların yapısal dinamiklerini ve fonksiyonel potansiyellerini anlamak, ekolojik tarımsal sürdürülebilirlik planlama çalışmaları için gereklidir. Biyokabuk tabakasının fonksiyonel dinamiklerinin kalitatif ve kantitatif referans değerleri, değişen iklimlerde çölleşmeyle mücadele etmek ve küresel gıda güvenliğini sağlamak amacıyla yenilikçi biyo-gübreler ile sürdürülebilir arazi yönetimi stratejileri geliştirmek için de büyük önem taşımaktadır. Ele alınan bu çalışmada kurak tarım ekosistemlerinde yer alan biyolojik toprak kabuğu topluluklarının yapısı ve fonksiyonel rolleri, mevcut araştırma sonuçları ışığında analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kurak tarım, biyokabuk, toprak mikrobiyomu, toprak sürdürülebilirliği, iklim değişikliği

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

STRUCTURE AND FUNCTIONAL POTENTIAL OF THE BIOLOGICAL SOIL CRUST MICROBIOME IN DRYLAND AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

ABSTRACT

Dryland ecosystems are highly sensitive to the pressures of severe water scarcity, nutrient deficiency, and climate change. Under these challenging environmental conditions, complex communities formed by the interaction of cyanobacteria, algae, lichens, and mosses with soil particles—known as biological soil crusts (biocrusts)—act as ecosystem engineers. Recent high-resolution metagenomic studies reveal that biocrust microbiomes possess a highly specialized and dynamic community structure. During the early stages of biocrust formation, filamentous cyanobacteria such as *Microcoleus* spp., which initiate soil stabilization, are typically dominant. As the crusts mature, microbial diversity increases with the inclusion of key groups comprising heterotrophic bacteria, archaea, and fungi. Functionally, this microbiome drives essential biogeochemical cycles by facilitating atmospheric nitrogen fixation and carbon sequestration, thereby enriching nutrient-poor dryland soils with organic matter and essential elements. Furthermore, extracellular polymeric substances secreted by biocrust microorganisms enhance soil aggregate stability, reduce wind and water erosion, and significantly improve moisture retention capacity. Metagenomic profiling of biocrust microorganisms indicates a high prevalence of functional genes associated with stress tolerance, phosphate solubilization, and plant growth-promoting traits. In conclusion, the biocrust microbiome acts as a vital biological buffer that maintains the physicochemical and ecological integrity of arid agricultural soils. Understanding the structural dynamics and functional potential of biocrust microbial networks—key components of dryland ecosystems—is essential for planning ecological agricultural sustainability. Qualitative and quantitative reference values regarding the functional dynamics of the biocrust layer are also crucial for developing innovative bio-fertilizers and sustainable land management strategies aimed at combating desertification in changing climates and ensuring global food security. This study analyzes the structure and functional roles of biological soil crust communities in arid agricultural ecosystems in light of current research findings.

Keywords: arid agriculture, biocrust, soil microbiome, soil sustainability, climate change.

1. GİRİŞ

Kurak alanlarda kısıtlı bitki gelişimi ve vejetasyon örtüsünün zayıf olması, tarımsal hasılatı düşürmekte ve ekosistemin doğal rejenerasyon potansiyelini ciddi ölçüde sınırlandırmaktadır [1]. Bununla birlikte, artan insan faaliyetleri ve küresel iklim krizi, günümüzde ekilebilir tarım arazilerinin yaklaşık %40 oranında kalıcı verim kayıplarına neden olmaktadır [2]. Bu alanlarda toprak verimliliğini tehdit eden temel unsurlar arasında şiddetli kuraklık, rüzgar ve su erozyonu, vejetasyon kaybı, toprak tuzlanması ve organik karbon stoklarının tükenmesi ön plana çıkmaktadır [2]. Belirtilen ekstrem koşullar altında, kurak alan ekosistemlerinin ayrılmaz bir

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

parçası olan biyolojik toprak kabukları (BTK); toprak stabilizasyonunun sağlanması, biyojeokimyasal besin döngülerinin sürdürülmesi ve hidrolojik süreçlerin düzenlenmesi üzerinde hayati önemde fonksiyonel etkilere sahiptir [3].

Kurak ve yarı kurak tarımsal ekosistemlerde sürdürülebilir ürün verimliliği şiddetli su kısıtı, düşük organik madde miktarı ve hızlanan toprak erozyonu nedeniyle risk altındadır. Bu ekstrem çevre koşullarında, toprağın en üst birkaç milimetrelik yüzeyinde siyanobakteriler, yeşil algler, likenler, yosunlar ve heterotrof mikroorganizmaların toprak tanecikleriyle sıkıca bütünleşmesiyle oluşan **biyolojik toprak kabukları (*biocrusts*),** ekosistemin "yaşayan derisi" olarak kritik bir rol oynamaktadır [3, 4, 5]. Biyolojik toprak kabukları dominant türlere göre siyanobakteri, liken ve yosun ağırlıklı biyokabuk olarak sınıflandırılır ve her bir türün biyokütlesi, yoğunluğu ve kaplama oranı farklılık göstermektedir [6]. Mikrobiyel düzeydeki bu karmaşık yapısal organizasyon ve hücresel adaptasyonlar, biyolojik toprak kabuklarına kurak alan ekosistemlerinin işleyişini, direncini ve kararlılığını makro düzeyde şekillendirme gücü vermektedir. Kronik stres koşullarına karşı kooperatif ilişkilerle yapılanmış organize topluluklar olan bu mikroorganizmalar; karşılıklı metabolik madde alışverişi, UV ışınını önleyici pigment sentezi, ozmolitik maddelerin sentezlenmesi/biriktirilmesi ve ekstraselüler polimerik maddelerin (EPS) salgılanması gibi korunmaya yönelik özel adaptasyon mekanizmaları geliştirmişlerdir [3, 7, 8]. Bu mikro-ekosistem, salgıladığı eksopolisakkarit maddeler sayesinde toprak agregat stabilitesini artırarak rüzgar ve su erozyonuna karşı biyolojik bir kalkan görevi görürken, aynı zamanda serbest yaşayan veya simbiyotik siyanobakteriler aracılığıyla atmosferik azotu fikse ederek besin yönünden fakir kurak topraklara doğal bir besin girdisi sağlamaktadır [9]. Son yıllarda iklim değişikliğinin de etkisiyle çölleşme riski altındaki tarım arazilerinde, biyojeokimyasal döngülerin sürekliliği ve kısıtlı nemin korunması açısından bu kabukların fonksiyonel potansiyellerinin anlaşılması ve korunması, sürdürülebilir tarımsal yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde temel bir zorunluluk haline gelmiştir.

Çevresel etkilere bağlı olarak toprak verimliliğinin azalması, yakın gelecekte küresel ölçekte en kritik tarımsal tehditlerden biri olarak karşımıza çıkacaktır. Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak yükselen gıda talebinin yeterli düzeyde karşılanamaması durumu, küresel gıda tedarik sistemlerini istikrarsız hale getirme riski taşımaktadır. Bu bağlamda, BTK mikrobiyom fonksiyonları; ekosistem işleyişinin sürdürülmesinde, bitki gelişimi ile toprak mikroorganizma interaksiyonlarının düzenlenmesinde anahtar roller üstlenebilir. Doğal ekolojiye uyumlu mikrobiyel inokulant uygulamalarıyla kurak topraklara kazandırılacak biyo-gübre girdisi, toprak rehabilitasyonunu ve restorasyon süreçlerini önemli ölçüde hızlandıracaktır. Modern tarım uygulamalarının doğal biyolojik toprak kabuklarına verdiği zararlar göz önüne alındığında, yoğun iklim stresi altındaki toprak fonksiyonlarının korunması için faydalı mikrobiyel etkileşimlerin teşvik edilmesi, tarımsal ekosistem yönetiminde sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Dolayısıyla, bu mikroorganizmaların sergilediği yapısal bütünlüğün ve geliştirdikleri adaptasyon stratejilerinin derinlemesine anlaşılması, kurak tarım alanlarında üretkenliği artıracak yenilikçi biyoteknolojik çözümlerin kurgulanmasında temel bir hareket noktası teşkil etmektedir. Bu gereksinimden yola çıkılarak, kurak tarım ekosistemlerinde BTK

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

organizmalarının yapısını ve fonksiyonel potansiyellerini ortaya koymak amacıyla bu çalışma ele alınmıştır.

2. BİYOLOJİK TOPRAK KABUĞU ÜYELERİ

2.1. Siyanobakteri Tabakası

Siyanobakteri tabakası (ve bazı bölgelerdeki mikroalg biyokabukları), toprak yapısı içinde fiziksel bütünlüğü 0,5–1 cm derinliğe kadar uzanan organik-mineralli bir kütle oluşturarak gerçek anlamda edafik (toprağa özgü/toprağa bağlı) özellik göstermektedirler [7]. İlk yerleşimi, kendi aralarında birleşerek ve toprağı birbirine bağlayarak sabitleyen hareketli siyanobakteriler gerçekleştirmektedirler [10]. Filament demetler hücre dışı bir ekzopolisakkarit kılıf içinde yer almakta ve kendi kendine kümelenme yetenekleriyle toprağa bağlanarak gevşek yapılı toprağı stabil hale getirmektedirler [10]. BTK stabil hale gelince diğer hareketsiz siyanobakteriler toprak üst katmanını kolonize etmeye başlamaktadır [7]. EPS suyu tutarak toprak hidrolojisini dinamik olarak etkileme potansiyeline sahiptir. Biyopolimerler (EPS), toprak kabuklarının fiziksel olarak oluşmasındaki rolünün yanı sıra, suyu absorbe etme özelliği sayesinde toprağın su dengesini de değiştirmekte ve potansiyel olarak bölgesel yüzey su akışını artırmaktadır [11]. EPS bileşimindeki zengin üronik asit fraksiyonunun su tutma yeteneğini artırdığı, bu durumun kuruma hızını baskılayarak hücresel mekanizmaların kuruma sürecine uyum sağlamasına fırsat tanıdığı öngörülmektedir [12]. Desikasyon sürecinde %20 ’ye kadar su kaybının gözlendiği kuruma kinetiğinde, BSC kökenli EPS 'nin su potansiyeli neredeyse hiç etkilenmemektedir [13]. Bu durumun, biyokabuk organizmalarının fotosentez aktivitesinin, su içeriğinin yaklaşık %50 'sini kaybedene kadar ciddi bir düşüş göstermediği gözlemiyle de uyumlu olduğu rapor edilmiştir [14, 15]. *Nostoc* spp., *Microcoleus* spp., *Leptolyngbya spp.,* gibi çöl mikroorganizmalarının EPS kılıfı içinde bulunan scytonemin, hücresel yapılar içinde bulunan mycosporine-benzeri amino asit gibi pigment maddeleri güneşin yoğun ve zararlı UV radyasyonunu absorbe ederek doğal güneş koruyucusu görevi yapmaktadır [16]. Nostoc türlerinde scytonemin biyosentezi güneşin UV-A ışını ile teşvik edilmekte ve ilgili genler de maksimum aktivasyonla çalışmaktadır [17].

Kurak iklim BTK siyanobakterileri düşük moleküler ağırlıklı ve çözünebilir organik maddeler üretebilmektedirler. Su potansiyeli düşünce siyanobakteriler sukroz, trehaloz, glikozilgliserol, glisin, betain, prolin, glikozil gliserat gibi çok çeşitli molekülleri sentezlemektedir [18]. Glikozil gliserat kuru hücrelerde biriken iyonların elektrik yük özelliğini düzenlemekte, özellikle trehaloz gibi suyu seven karbonhidratlar lipid membran akışkanlığını korumaktadır [19]. Bunun yanı sıra bu çözünür maddeler proteinlerin ve diğer makromoleküllerin denaturasyonu ve yapısal bozulmalara karşı stabilizör gibi çalışmakta ve hücresel homeostazı korumaktadırlar [20]. Yine aşırı sıcaklarda güneşin yoğun ışınlarından dolayı türeyen zararlı oksidatif maddelere (ROS) karşın siyanobakteriler superoksid dismutaz ve peroksidaz gibi ROS temizleyici enzimler ile enzim olmayan helikal karotenoid proteinleriyle ROS molekülleri nötralize edilmektedir [16]. Siyanobakterilerin atmosferik fosfor tortusudan temin ettikleri fosfor düşük miktarda olduğundan dolayı ihtiyaç duydukları fosfor ve diğer mikrobesin maddelerini ana kayayı aşındırmak suretiyle elde etmektedirler [21]. Fosfor yetersizliğinde

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

siyanobakteriler fosfor alımıyla ilgili genlerin dahil olduğu PHO regulon mekanizmasını harekete geçirerek sentezledikleri alkalin fosfataz enzimiyle organik maddeleri parçalayarak ve salgıladıkları çeşitli organik asitlerle de kaya yüzeylerini aşındırarak gerekli fosfor ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar [22]. Kurak iklim BTK 'da geniş bir dağılım gösteren *Microcoleus vaginatus* siyanobakterisi azot fiksasyon yeteneğine sahiptir [23]. *Microcoleus vaginatus* tarafından salgılanan hücre dışı polisakkarit kılıf içinde azot fikse eden diyazotrofik bakteriler yerleşik olup karşılıklı mutualistik ilişki içinde siyanobakterinin karbon şekerine karşın diyazotrofların üre formunda azot takas edilerek kullanılmaktadır [24]. Kurak arazi siyanobakterilerinden *Leptolyngbya* bir siderofor olan cyanochelin B üretmektedir ve karanlıkta Fe^{+3} ile cyanochelin B bağlamaktadır [25]. Yükseltgenen demir (III) güneşin UV ışını ile Fe(II) 'ye indirgenmekte olup *Leptolyngbya* tarafından üretilen cyanochelin B 'nin Fe(III) bağları zayıflayınca çevreye salınan Fe(II) siderofor üretmeyen diğer organizmalarca kullanılmaktadır [25]. Böylece birçok organizmalar için önemli bir besin maddesi olan Fe sıcak havalarda güneş UV 'sine bağlı olarak siderofor üreten organizmalarca kullanılmaktadır veya diğer organizmaların kullanımına sunulmaktadır. Algler tarafından üretilen çözünmüş organik karbona karşılık bakteriyel sideroforlar iki organizma grubu arasında mutualistik bir ilişki kurulmasına aracılık edebilir [26].

Nostoc flagelliforme siyanobkterisinin model olarak kullanıldığı bir araştırmada sert ekosistemlere adapte olan özel niş organizmalarında desikasyon koşulları, UV radyasyon gibi streslere toleranslıkla ilgili genlerin ifade seviyesini artırırken, hücre büyümesi ve replikasyonu, enerji üretimi gibi metabolik genlerin ifade düzeyleri büyük oranda azalmaktadır [27]. Sonuçlar göstermektedir ki, aşırı kurak koşullarda dehidrasyon-dehidrasyon döngüsündeki dinamik tepkiler siyanobakterilerin hayatta kalma olasılığını artırmaktadır.

Mikroorganizmaların kuraklıkla ilgili transkriptomik analizleri, azalan su potansiyeline tepki olarak çeşitli transkripsiyon düzenleyicilerinin ifade düzeylerinin yükseldiğini ortaya koymaktadır. Murik & ark., [28], kuraklığa dayanıklı siyanobakterilerde iki bileşenli sinyal iletim sistemine ait bazı bileşiklerden olan transkripsiyonu sonlandırıcı proteinlerin türediğini rapor etmişlerdir. Bir çöl siyanobakterisi olan *N. flagelliforme de bulunan iki bileşenli sisteme ait transkripsiyon faktörlerinden* Rre1 doğrudan DNA 'ya bağlanarak hücresel tamir sistemi ve protein homeostazıyla ilgili genleri aktiflemekte, redoks-tepki TF olan PedR ise fotosentezin elektron akışını değiştirerek şekillendirmektedir [29]. Her iki TF 'nün miktarı kuraklık sırasında artış göstererek siyanobakteriye dayanıklılık kazandırmaktadır. Benzer şekilde hücreler kuraklıkta Fur-tipi proteinlerle metal homeostazını kontrol etmektedir [29]. Kuraklıkta Fur proteinleri mineral kapılarına bağlanarak Fe^{+2}, Zn^{+2}, Ni^{+2}, Mn^{+2} gibi katyonların hücre içine girişine engel olmaktadır. Bu mekanizmayla sabah erken saatlerdeki çöl sisleri veya çiy ile hücreler ıslanınca siyanobakteriler Fur proteinlerini azaltarak mineral kapı kilidinin kısa süreliğine açılmasını sağlamakta ve kuraklık nedeniyle hasarlı olan fotosentez sistemini tamir etmek için ihtiyaç duyduğu demir ve manganez gibi iyonların hücre içine girişi hızlanmaktadır. Xu & ark., [20] 'nın kapsamlı olarak yaptığı metatranskriptomik analizlerde siyanobakterilerden BTK 'nın temel üyesi olan *M. vaginatus* 'un yakın çevresinde özel bir siyanosfer yapı oluşturacak şekilde heterotrof mikrobiyel popülasyonların oluşumuna yön

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

verebileceği ileri sürülmektedir. Araştırıcılar siyanosferin bütün tipik üyelerinin kopiotrofik olduğunu ve bunlarında çoğunun diazotropik olduğunu rapor etmişlerdir. Yani azot bağlayan heterotroflar ile fiks edilen karbonun takas edilerek potansiyel bir kaynak olarak kullanılabileceği mutualizme dayalı bir kooperatif ilişkiye tipik bir örnek teşkil etmektedir. Benzer şekilde BTK konsorsiyumunun baskın organizması *Nostoc flagelliforme* hem fotosentez yapabilen hem de azot fikse edebilen bir siyanobakteri olup epifitik mikroorganizmaların büyük bir kısmının siyanobakterilerle simbiyotik bir ilişki içinde olduğu ortaya konmuştur [30].

Özellikle yerkürenin çöl bölgesi BTK habitatları en aşırı çevresel streslere maruz kalmaktadır. İlgili mikrobiyomlar olağandışı stresle mücadele etmek zorundadır. Evrim sürecinde BTK 'nın ana omurgasını oluşturan siyanobakteriler genetik yapılarıyla keskin çevresel işaretleri algılayan, EPS martikleriyle mikroçevreyi koruyan, sentezledikleri maddelerle moleküler koruma sağlayan, metabolik ayarlamalarla bulundukları çevreye adapte olabilecek mekanizmalar geliştirmişlerdir.

2.2. Liken Tabakası

Likenler açık kayalar, toprak yüzeyleri gibi alanlarda gelişen bir tallus yığınıdır. Liken tabakası tallusların birkaç mm havaya doğru gelişen ve toprak, kaya gibi substratlara sıkıca tutunmayı sağlayan kök benzeri rizin denilen yapılarla 1,5 cm toprak derinliğine doğru hızla büyüyen liken tallusularından meydana gelmektedir [31]. Sis ve çiy bulunan bölgelerde yeşil likenler baskındır [32]. Ancak likenler yeşil alglerin ve/veya siyanobakterilerin (fotobiontlar) bir mantarla (mikobiont) iş birliği yaptığı ve simbiyoz sürecine önemli katkılarda bulunan diğer simbiyotik mikroorganizmaları da bünyesinde barındırdığı simbiyotik yaşam biçimine sahiptirler [33]. Likenlerin dağılımı ve habitat tercihleri, holobiontu oluşturan tüm simbiyontların gereksinimleri tarafından şekillenmektedir ve buna bağlı olarak likenler simbiyontların barınamayacakları habitatlarda onların yaşamalarına olanak tanımaktadırlar [34]. Likenlerin dokusu içinde yaşayan mikroalgler veya siyonabakteriler gibi fotobiyontlar havadan aldıkları CO_2 yardımıyla ürettikleri fotosentez ürünleri epifitik ve endofitik bakteriyel topluluklar ile fungal ortaklarının solunumu ve gelişimini desteklemektedir [7]. Likenlerin ölen yaşlı kısımları parçalanmakta olup ayrışan bu organik madde deposu, aşınmış kaya partikülleri, toz tanecikleri içindeki minerallerle karışarak karbonca zengin toprağın ilkel şeklini oluşturmaktadır [35]. Likenler mikro çevrelerine redoks enzimleri, çeşitli organik maddeler (oksalat gibi) salgılayarak lokal toprak mikroorganizmalarının gelişimini sağlamakta ve bu mikrobiyel rezidülerle uzun vadeli toprağın organik havuzunu korumaktadırlar [36].

Likenler genel olarak biyo-aktif birçok sekonder metabolitler üretmektedir. Bunlardan bazıları fenolikler, dibenzofuran 'lar (usnic asit gibi), depside 'ler (atranorin, barbatic asit gibi), depsidone 'lar (salazinic asit, lobaric aasit gibi), alifatik asitler (protolichesterinic acid), kuinonlar (parietin gibi), pulvinic asit türevleri (vulpinic asit gibi) gibi maddeler metabolik yan ürünlerdir [37]. Çöl likenlerinde usnic asit, parietin gibi pigment maddelerinin UV radyasyona karşı koruyucu özelliği bulunmaktadır [37, 38]. Laboratuvarda simüle edilen bir araştırmada kuraklığa oldukça dayanıklı olan *Ramalina lacera* likeninde desikasyon sırasında antioksidantların yoğunluğu yükselmiş ve likenlerin tekrar su kazanmasıyla antioksidantlarda

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

azalma meydana gelmiştir [39]. Oluşan zararlı ROS 'ların konsantrasyonu su girdisiyle beraber aniden artmış ancak antioksidant kapasite düşmüştür [39]. Yani tekrar su kazanılmasıyla aniden artan ROS 'lar antioksitleyici moleküllere zarar vermiş olabileceği ileri sürülmüştür. Araştırmada akdeniz kıyısı kayalık habitatlarda bulunan *R. lacera* ile birlikte simbiyotik yaşam sürdüren funguslarda da nitrik oksit üretimi de kuraklıkta artış göstermiştir.

Kısaca likenlerle simbiyotik ilişkili siyanobakterilerin atmosferik CO_2 ile ürettiği glikoz, fungal ortaklarına transfer edilerek burada şeker alkollerine (sorbitol, ribitol gibi) dönüştürülmektedir. Böylece likenlerin kooperatif bağlantılarla gerçekleştirdiği bu metabolik işbirliği atmosferik karbonun organik maddelere dönüşümünde ve ekosistem-içi transferinde rol oynayan öncü organizmalardan biri konumuna getirmektedir.

2.3. Yosun Tabakası

Çöl yosunları, kurumaya karşı yüksek toleranslığıyla aşırı kurak koşullarda hayatta kalabilmekte, kuruduklarında metabolik faaliyeleri durmakta ve suyla temas ettikten sonra saniyeler içinde hızla yeniden canlanmaktadırlar [40]. Rizoidlerle toprağa penetre olan yosunlar turgor halindeyken toprak yüzeyinden birkaç cm yükselmekte ve fotosentez yapan yaprakçıklarıyla atmosferdeki CO_2 'i yakalamaktadırlar [7]. Siyanobakteriler yosunlardan daha düşük biyokütleye sahiptir, biyokütleye bağlı olarak klorofil içeriği de düşük olunca fotosentez oranlarıda daha azdır ve olgunluk aşamasındaki siyanobakteriler stabilitelerini korumak için daha önceden mevcut olan karbonu tüketmektedirler, halbuki daha fazla biyokütleye sahip olan yosunlar daha fazla klorofil içerdiğinden sürekli olarak havadan CO_2 yakalamaktadırlar [6]. Yosun kaplı topraklar atmosferik karbonu alırken, siyanobakteri kaplı topraklar atmosfere karbon verdiği için karbon döngüsünü de farklı oranlarda etkilemektedirler.

Yapılan bir araştırmada yosun biyokabuk tabakası ile toprak solunumu arasında pozitif bir bağlantı olduğu ortaya konmuştur [41]. Bulunduğu ortamı sürekli nemli tutabilmek için yoğun olan rizoid ağ tabakası ile dışarı salgılanan organik maddeler sayesinde yağmur sularını ve yağmur dışı su kaynaklarından yararlanabilmektedirler [41]. Böylece kuraklık süresi uzadığında tuttukları suyla yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmektedirler [42]. Hidrolojik tamponlama özellikleriyle yosunlar ototrof solunumlarını ve diğer mikrobiyel faaliyetler için de mikroçevrelerini stabil tutabilme özelliği sergilemektedirler.

Kurak bölgelerdeki çöl yosunlarının baskın olduğu alanlarda yosun ile yağmur emilimi ilişkisi çift yönlüdür; yağış şiddeti ve toprak özelliklerine bağlı olarak, yosunların yüksek derecede su absorbe etme özellikleri ile toprak yüzeyi bir bariyer gibi kaplanmakta ve suyun toprak derinliklerine sızması önlenmektedir [43]. Yani yüzey su akıntısıyla su atık olabilmektedir.

3. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Biyolojik toprak kabukları (BTK 'lar), şiddetli kuraklık ve sert çöl iklimi altında hayatta kalmak için son derece koordineli bir yanıtı yöneterek kurak alanların birincil ekolojik ve yapısal can damarı olarak hizmet etmektedir. Biyolojik kabuğun direnci, siyanobakterilerle beraber heterotrof bakteriler, mantarlar ve algler gibi konsorsiyumun diğer tüm üyelerinin çok katmanlı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

bir ağ oluşturduğu mikrobiyom içindeki fonksiyonel sinerjiye tamamen bağlıdır. Konsorsiyum üyeleri, kuraklıkla ilgili çeşitli metabolitler aracılığıyla solar UV ışık yoğunluğu, kuruma stresi gibi değişken çevresel uyarıları algılayarak karmaşık iki-bileşenli sinyal iletim sistemlerini gen ifadesi seviyesinde hızla modüle etmektedir. Bu genetik düzenlenme hücre dışı polisakkarit matrikslerinin ve proteinlerin denatürasyonunu önleyerek uzun süren dormansi dönemlerinde hücresel homeostaziyi koruyan düşük moleküler ağırlıklı biyouyumlu metabolitlerin sentezini teşvik etmektedir. Kabuk içindeki metabolik dinamikler, fotolitik sideroforlar yoluyla besin elementlerini hem bireysel kullanım için hem de diğer holobiyont üyelerinin paylaşımına sunmaktadır. Siyanobakterilerin dışarıya saldığı salgılar ve parçalanan moleküller, yeniden hidrasyon fazında fırsatçı kopiyotrof bakteri popülasyonlarının ve fungal ağların hızla aktive olmasını ve böylece birçok mikrobiyel toplulukların işlevsel olarak harekete geçmesini sağlamaktadır. İklim değişikliği küresel çölleşmeyi hızlandırma tehdidi oluştururken, bu karmaşık mikrobiyel topluluğun fonksiyonlarını ve üyelerin karşılıklı metabolik madde değişimiyle beslenme ilişkilerini yönlendiren moleküler mekanizmaları ve sinyal iletim aracılarını ortaya çıkarmak yalnızca akademik bir arayışın ötesinde içinde yaşadığımız dünyanın hassas kurak ekosistemlerini korumak amacıyla, biyoteknoloji destekli restorasyon stratejileri geliştirmek için temel bir ön koşulu olmalıdır.

Biyolojik toprak kabuğunda yaşayan mikrobiyel topluluklar kurak ekosistem işleyişinde pek çok görevleri yerine getirmektedirler. Doğayla uyumlu biyoteknolojik yöntemlerle BTK inokulasyonları kurak toprak rehabiltasyonunda önemli sonuçlar doğurabilir.

TEŞEKKÜR

Yazar bu bildirinin bazı paragraflarının dilbilgisi kontrolü ve akademik üslup düzenleme aşamalarında Google AI yapay zeka desteğinden revize ederek kısmen yararlandığını beyan eder. Çalışmanın bilimsel içeriği, analizi ve yorumu tamamen yazarın sorumluluğundadır.

KAYNAKÇA

[1] Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P., ... & Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. Science, 316 (5826), 847-851.

[2] Prăvălie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roșca, B., Dumitraşcu, M., ... & Bandoc, G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. Environmental Research, 194, 110697.

[3] Belnap, J., Weber, B. & Büdel, B. (2016). Biological soil crusts as an organizing principle in drylands. In Biological soil crusts: an organizing principle in drylands (pp. 3-13). Cham: Springer International Publishing.

[4] Belnap, J. & Lange, O.L. (Eds.). (2003). Biological soil crusts: structure, function, and management. Springer Science & Business Media.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[5] Weber, B., Belnap, J., Büdel, B., Antoninka, A.J., Barger, N.N., Chaudhary, V.B., ... & Bowker, M.A. (2022). What is a biocrust? A refined, contemporary definition for a broadening research community. Biological Reviews, 97 (5), 1768-1785.

[6] Dou, W. & Xiao, B. (2025). Mature biocrust-covered soil carbon fluxes are dependent on their types: Moss-covered soils still serve as sinks while cyanobacteria-covered soils become sources. Agricultural and Forest Meteorology, 371, 110627.

[7] Garcia-Pichel, F. (2023). The microbiology of biological soil crusts. Annual Review of Microbiology, 77 (1), 149-171.

[8] Scott, B. & Garcia-Pichel, F. (2025). Soil phototroph community resilience comes from down under. Frontiers in Microbiology, 16, 1689042.

[9] Rodriguez-Caballero, E., Belnap, J., Büdel, B., Crutzen, P.J., Andreae, M.O., Pöschl, U. & Weber, B. (2018). Biocrusts as a global factor of carbon and nitrogen cycling and surface hydrology. Nature Geoscience, 11 (5), 320-325.

[10] Garcia-Pichel, F. & Wojciechowski, M.F. (2009). The evolution of a capacity to build supra-cellular ropes enabled filamentous cyanobacteria to colonize highly erodible substrates. PloS one, 4 (11), e7801.

[11] Benard, P., Zarebanadkouki, M., Brax, M., Kaltenbach, R., Jerjen, I., Marone, F., Couradeau, E., Felde, V.J.M.N.L., Kaestner, A. and Carminati, A. (2019), Microhydrological Niches in Soils: How Mucilage and EPS Alter the Biophysical Properties of the Rhizosphere and Other Biological Hotspots. Vadose Zone Journal, 18: 1-10 180211

[12] Colica, G., Li, H., Rossi, F., Li, D., Liu, Y. & De Philippis, R. (2014). Microbial secreted exopolysaccharides affect the hydrological behavior of induced biological soil crusts in desert sandy soils. Soil Biology and Biochemistry, 68, 62-70.

[13] Mugnai, G., Rossi, F., Felde, V.J.M.N.L., Colesie, C., Büdel, B., Peth, S., ... & De Philippis, R. (2018). Development of the polysaccharidic matrix in biocrusts induced by a cyanobacterium inoculated in sand microcosms. Biology and Fertility of Soils, 54 (1), 27-40.

[14] Qiu, B. & Gao, K. (2001). Photosynthetic characteristics of the terrestrial blue-green alga, *Nostoc flagelliforme*. European Journal of Phycology, 36 (2), 147-156.

[15] Raanan, H., Felde, V.J., Peth, S., Drahorad, S., Ionescu, D., Eshkol, G., ... & Kaplan, A. (2016). Three-dimensional structure and cyanobacterial activity within a desert biological soil crust. Environmental Microbiology, 18 (2), 372-383.

[16] Shang, J.L., Xie, Y.X., Shi, L.Y., Diao, S.R. & Guan, J.Y. (2025). Molecular mechanisms of *Nostoc flagelliforme* environmental adaptation: A comprehensive review. Plants, 14 (11), 1582.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[17] Gao, X., Yuan, X., Zheng, T. & Ji, B. (2023). Promoting efficient production of scytonemin in cell culture of Nostoc flagelliforme by periodic short-term solar irradiation. Bioresource Technology Reports, 21, 101352.

[18] Dabravolski, S.A. & Isayenkov, S.V. (2022). Metabolites facilitating adaptation of desert cyanobacteria to extremely arid environments. Plants, 11 (23), 3225.

[19] Hincha, D.K. & Hagemann, M. (2004). Stabilization of model membranes during drying by compatible solutes involved in the stress tolerance of plants and microorganisms. Biochemical Journal, 383 (2), 277-283.

[20] Xu, H.F., Raanan, H., Dai, G.Z., Oren, N., Berkowicz, S., Murik, O., ... & Qiu, B.S. (2021). Reading and surviving the harsh conditions in desert biological soil crust: the cyanobacterial viewpoint. FEMS Microbiology Reviews, 45 (6), fuab036.

[21] Baumann, K., Jung, P., Samolov, E., Lehnert, L.W., Büdel, B., Karsten, U., ... & Leinweber, P. (2018). Biological soil crusts along a climatic gradient in Chile: Richness and imprints of phototrophic microorganisms in phosphorus biogeochemical cycling. Soil Biology and Biochemistry, 127, 286-300.

[22] Crain, G., McLaren, J., Brunner, B. & Darrouzet-Nardi, A. (2018). Biologically Available Phosphorus in Biocrust-Dominated Soils of the Chihuahuan Desert. Soil Systems, (2), 56.

[23] Starkenburg, S.R., Reitenga, K.G., Freitas, T., Johnson, S., Chain, P.S., Garcia-Pichel, F. & Kuske, C.R. (2011). Genome of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*FGP-2, a photosynthetic ecosystem engineer of arid land soil biocrusts worldwide. Journal of Bacteriology, 193 (17), 4569.

[24] Heredia-Velásquez, A.M., Sarkar, S., Thomas, F.W., Baza, A.C., & Garcia-Pichel, F. (2025). Urea-based mutualistic transfer of nitrogen in biological soil crusts. The ISME Journal, 19 (1), wrae246.

[25] Falcao, B.P., Di Matteo, V., Hrouzek, P., Štenclová, L., Urajová, P., Mareš, J., ... & Galica, T. (2025). Cyanochelin B: a cyanobacterium-produced siderophore with photolytic properties that negate iron monopolization in UV light. Applied and Environmental Microbiology, 91 (11), e02566-24.

[26] Jiang, Y., Shin, H H., Park, B.S. & Li, Z. (2024). Potential siderophore-dependent mutualism in the harmful dinoflagellate Alexandrium pacificum (Group IV) and bacterium Photobacterium sp. TY1-4 under iron-limited conditions. Harmful Algae, 139, 102726.

[27] Peredo, E.L. & Cardon, Z.G. (2020). Shared up-regulation and contrasting down-regulation of gene expression distinguish desiccation-tolerant from intolerant green algae. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117 (29), 17438-17445.

[28] Murik, O., Oren, N., Shotland, Y., Raanan, H., Treves, H., Kedem, I., ... & Kaplan, A. (2017). What distinguishes cyanobacteria able to revive after desiccation from those that cannot: the genome aspect. Environmental Microbiology, 19 (2), 535-550.s

[29] Xu, H.F., Dai, G.Z., Ye, D.M., Shang, J.L., Song, W.Y., Shi, H. & Qiu, B.S. (2020). Dehydration-induced DnaK2 chaperone is involved in PSII repair of a desiccation-tolerant cyanobacterium. Plant Physiology, 182 (4), 1991-2005.

[30] Shang, J.L., Chen, M., Hou, S., Li, T., Yang, Y.W., Li, Q., ... & Qiu, B.S. (2019). Genomic and transcriptomic insights into the survival of the subaerial cyanobacterium *Nostoc flagelliforme* in arid and exposed habitats. Environmental Microbiology, 21 (2), 845-863.

[31] Green, T.A., Pintado, A., Raggio, J. & Sancho, L.G. (2018). The lifestyle of lichens in soil crusts. The Lichenologist, 50 (3), 397-410.

[32] Kidron, G.J. & Kronenfeld, R. (2022). Dew and fog as possible evolutionary drivers? The expansion of crustose and fruticose lichens in the Negev is respectively mainly dictated by dew and fog. Planta, 255 (2), 32.

[33] Jung, P., Brand, R., Briegel-Williams, L., Werner, L., Jost, E., Lentendu, G., ... & Lakatos, M. (2024). The symbiotic alga Trebouxia fuels a coherent soil ecosystem on the landscape scale in the Atacama Desert. Environmental Microbiome, 19 (1), 59.

[34] Vančurová, L., Muggia, L., Peksa, O., Řídká, T. & Škaloud, P. (2018). The complexity of symbiotic interactions influences the ecological amplitude of the host: a case study in Stereocaulon (lichenized Ascomycota). Molecular Ecology, 27 (14), 3016-3033.

[35] https://www.pei-untamed.com/post/lichens-and-rocks (Erişim tarihi: 27. 09. 2026)

[36] Beckett, R.P., Zavarzina, A.G. & Liers, C. (2013). Oxidoreductases and cellulases in lichens: possible roles in lichen biology and soil organic matter turnover. Fungal Biology, 117 (6), 431-438.

[37] Poulsen-Silva, E., Gordillo-Fuenzalida, F., Atala, C., Moreno, A.A. & Otero, M.C. (2023). Bioactive lichen secondary metabolites and their presence in species from Chile. Metabolites, 13 (7), 805.

[38] Garty, J., Weissman, L., Levin, T., Garty-Spitz, R. & Lehr, H. (2004). Impact of UV-B, heat and chemicals on ethylene-production of lichens. Journal of Atmospheric Chemistry, 49 (1), 251-266.

[39] Weissman, L., Garty, J. & Hochman, A. (2005). Characterization of enzymatic antioxidants in the lichen Ramalina lacera and their response to rehydration. Applied and Environmental Microbiology, 71 (11), 6508-6514.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[40] Li, X., Bai, W., Yang, Q., Yin, B., Zhang, Z., Zhao, B., ... & Zhang, D. (2024). The extremotolerant desert moss Syntrichia caninervis is a promising pioneer plant for colonizing extraterrestrial environments. Innovation (Camb) 5, 100657.

[41] Zhou, S., Song, X., Wei, S., Zhao, H., Yu, B., Ye, Q., ... & Guan, C. (2026). Alterations in soil moisture and biocrusts modulate the response of soil respiration to simulated rainfall experiment in a dryland ecosystem. Plant and Soil, 519 (1), 615-629.

[42] Proctor, M.C., Oliver, M.J., Wood, A.J., Alpert, P., Stark, L.R., Cleavitt, N.L., &Mishler, B.D. (2007). Desiccation-tolerance in bryophytes: a review. The Bryologist, 110 (4), 595-621.

[43] Li, S., Bowker, M.A. & Xiao, B. (2022). Impacts of moss-dominated biocrusts on rainwater infiltration, vertical water flow, and surface soil evaporation in drylands. Journal of Hydrology, 612, 128176.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TİYOFEN VE 1,2,4-TRİAZOL HALKASINA SAHİP SCHİFF BAZI TÜREVLERİNİN *İN VİTRO* ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fevzi AYTEMİZ

Kafkas Üniversitesi, fevziaytemiz53@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-5982-9038

Doç. Dr. Sevda MANAP

Kafkas Üniversitesi, manapsevda@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-5025-9622

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK

Kafkas Üniversitesi, onder_albayrak024@hotmail.com- https://orcid.org/0000-0002-6573-6137

Dr. Öğr. Üyesi Gül ÖZDEMİR TORAMAN

Kafkas Üniversitesi, gulozd91@gmail.com - https://orcid.org/0000-0001-7823-0920

ÖZET

Bu çalışmada, tiyofen ve 1,2,4-triazol halkalarını aynı moleküler yapı içerisinde bulunduran Schiff bazı türevleri ile bunların *N*-asetil türevlerinin *in vitro* antimikrobiyal aktivitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Farklı alkil ve aril substitüentleri içeren bileşiklerin antimikrobiyal etkinlikleri, agar kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak beş bakteri ve bir mantar türü olmak üzere toplam altı test mikroorganizmasına karşı araştırılmıştır. Bileşiklerin antimikrobiyal aktivitelerinin değerlendirilmesinde pozitif kontrol olarak üç farklı standart ajan, negatif kontrol olarak ise dimetil sülfoksit (DMSO) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bileşiklerin antimikrobiyal etkinliklerinin hem test edilen mikroorganizma türüne hem de moleküler yapıdaki substitüentlerin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen bileşiklerin tamamının *S. marcescens*'e karşı farklı düzeylerde inhibisyon oluşturduğu ve en yüksek inhibisyon zonunun 12 mm ile 2e bileşiği tarafından meydana getirildiği belirlenmiştir. Ayrıca, 2a bileşiğinin *Bacillus subtilis* ve *Staphylococcus aureus*, 2b bileşiğinin ise *Klebsiella pneumoniae* üzerinde düşük düzeyde antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Buna karşılık, bileşiklerin *B. cereus* ve *C. albicans* üzerinde belirgin bir inhibisyon oluşturmadığı görülmüştür. Sentezlenen bileşiklere ait inhibisyon zonlarının genel olarak 8–12 mm aralığında olduğu, standart antimikrobiyal ajanların ise daha yüksek inhibisyon değerleri sergilediği belirlenmiştir. Genel olarak elde edilen bulgular, tiyofen ve 1,2,4-triazol yapısal birimlerini içeren bileşiklerin özellikle *S. marcescens*'e karşı dikkate değer ve seçici bir antimikrobiyal potansiyel taşıyabileceğini göstermektedir. Bu sonuçların, söz konusu bileşiklerdeki yapısal değişikliklerin antimikrobiyal aktivite üzerindeki etkisinin ortaya konulmasına yönelik önemli veriler sağladığı ve tiyofen ile 1,2,4-triazol içeren yeni türevlerin antimikrobiyal ajan olarak geliştirilmesine yönelik ileri çalışmalar için temel oluşturabileceği düşünülmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Anahtar Kelimeler: 1,2,4-Triazol, tiyofen, Schiff bazı, N-asetil, antimikrobiyal aktivite.

1. GİRİŞ

Triazoller, moleküler yapılarında üç azot ve iki karbon atomu bulunduran, beş üyeli heterosiklik bileşikler olup azot atomlarının halkadaki konumlarına bağlı olarak farklı izomerik formlarda bulunabilmektedir [1], [2]. Bu bileşikler, sahip oldukları yapısal çeşitlilik ve farklı fonksiyonel gruplarla kolaylıkla modifiye edilebilmeleri nedeniyle farmasötik kimyada önemli bir heterosiklik yapı sınıfı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle biyolojik makromoleküllerle çeşitli etkileşimler oluşturabilmeleri, triazol türevlerinin ilaç tasarımı ve geliştirilmesine yönelik araştırmalarda yaygın biçimde incelenmesini sağlamıştır [3], [4]. Nitekim vorikonazol, itrakonazol ve flukonazol gibi klinik uygulamada kullanılan önemli antifungal ilaçların yapısında triazol halkasının bulunması, bu heterosiklik sistemlerin farmakolojik açıdan taşıdığı önemi açıkça göstermektedir [5], [6], [7]. Bununla birlikte, triazol çekirdeğinin farklı fonksiyonel yapılarla birleştirilmesi, yeni türevlerin elde edilmesine ve bu bileşiklerin potansiyel biyolojik özelliklerinin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda, triazol halkası içeren Schiff bazı türevleri, sentez kolaylığı ve geniş biyolojik aktivite potansiyelleri nedeniyle literatürde yoğun biçimde araştırılan bileşik grupları arasında yer almaktadır [8], [9], [10].

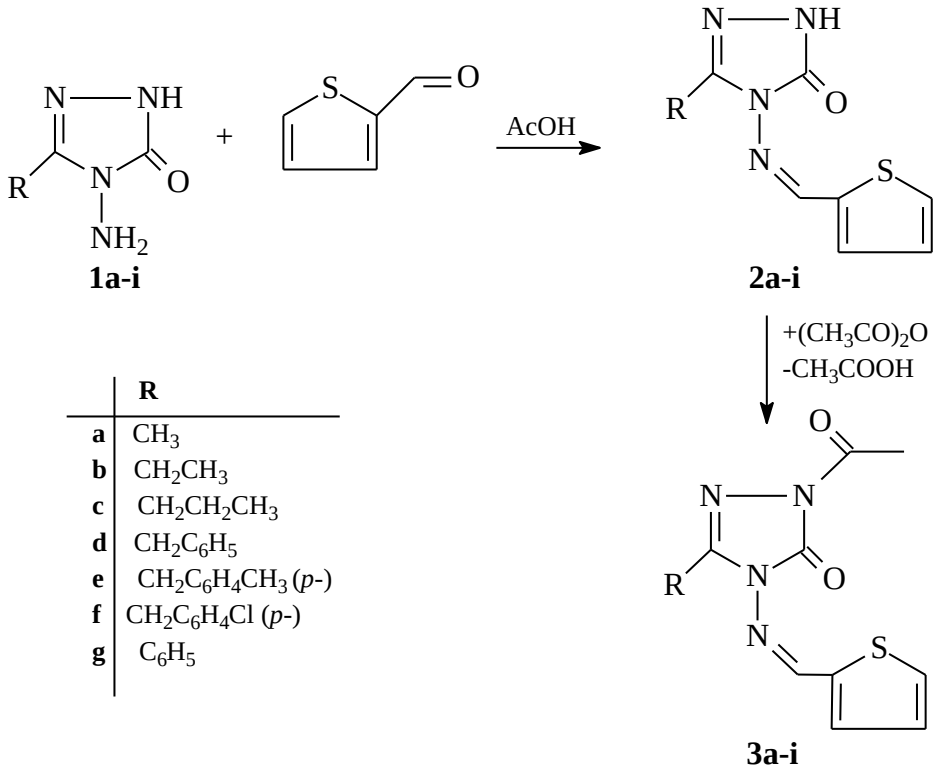
Schiff bazları ise özellikle koordinasyon kimyası başta olmak üzere organik ve biyolojik kimya alanlarında önemli bir bileşik sınıfını oluşturmaktadır. Metal iyonlarıyla kararlı koordinasyon bileşikleri oluşturabilmeleri, yapısal çeşitlilik göstermeleri ve fonksiyonel gruplar bakımından kolaylıkla modifiye edilebilmeleri, bu bileşiklere yönelik araştırmaların günümüzde de devam etmesini sağlamaktadır [11], [12], [13]. İlk olarak Hugo Schiff tarafından 1864 yılında tanımlanan Schiff bazları, genel olarak primer aminlerin aldehit veya ketonlarla kondenzasyon reaksiyonu sonucunda meydana gelen ve karakteristik azometin (C=N) fonksiyonel grubu içeren imin türevleri olarak tanımlanmaktadır [14], [15]. Yapısal özellikleri ve azometin grubunun kimyasal reaktivitesi, Schiff bazlarının çok çeşitli uygulama alanlarına sahip olmasına katkıda bulunmaktadır. Nitekim bu bileşiklerin antiinflamatuvar, analjezik, antimikrobiyal, antiviral, antikanser, antifungal, antitüberküloz ve antioksidan gibi farklı biyolojik aktiviteler sergileyebildiği çok sayıda çalışmada bildirilmiştir [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22].

1,2,4-Triazol halkasının yapısında bulunan N–H grubu, halkadaki protonun uygun reaksiyon koşullarında kimyasal dönüşümlere katılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellikten yararlanılarak triazol türevlerinin N-asetilasyon reaksiyonları ile N-asetil türevleri hazırlanabilmekte; ayrıca uygun aldehit ve amin bileşenlerinin varlığında gerçekleştirilen Mannich reaksiyonları aracılığıyla farklı Mannich bazı türevleri elde edilebilmektedir. Böylece 1,2,4-triazol çekirdeğinin fonksiyonlandırılması yoluyla moleküler çeşitliliğin artırılması ve yeni biyolojik aktivite potansiyeline sahip türevlerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır [23], [24], [25], [26], [27].

Bu çalışma kapsamında, İslamoğlu ve arkadaşları tarafından daha önce sentezlenmiş olan tiyofen ve 1,2,4-triazol halkalarını birlikte içeren Schiff bazı ve bunların N-asetil türevleri (2a–i, 3a, 3b, 3d, 3e) ele alınmıştır [24]. Söz konusu bileşiklerin antimikrobiyal özelliklerinin ortaya konulması amacıyla in vitro antimikrobiyal aktiviteleri kapsamlı biçimde değerlendirilmiş ve

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

elde edilen bulgular bileşiklerin yapısal özellikleri çerçevesinde incelenmiştir. Bu doğrultuda, çalışma ile söz konusu triazol temelli bileşiklerin antimikrobiyal potansiyellerinin belirlenmesine ve yapı–aktivite ilişkilerinin değerlendirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.



	R
a	CH_3
b	CH_2CH_3
c	$CH_2CH_2CH_3$
d	$CH_2C_6H_5$
e	$CH_2C_6H_4CH_3$ (*p*-)
f	$CH_2C_6H_4Cl$ (*p*-)
g	C_6H_5

Görsel 1. Tiyofen ve Schiff bazı türevlerinin sentez rotası

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar Fluka, Aldrich ve Merck firmalarından temin edilmiştir. Test mikroorganizmaları olarak *Bacillus subtilis* (ATCC 11774), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Serratia marcescens* (ATCC 13880), ve *Candida albicans*(ATCC 60193) kullanılmıştır. Çalışmada pozitif kontrol olarak neomycin trisulfate salt hydrate, ampulicilin sodıum ve streptpmycin sulfate antibiyotikleri satandartlar olarak kullanılmıştır. Negatif kontrol olarak ise çözücü olarak kullanılan DMSO kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivitenin değerlendirilmesinde, konsantrasyon ölçümleri, 0-1000 NTU ölçüm aralığında hassas belirlemeler yapabilen VELP marka bir türbidimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 90x17 mm boyutunta İSOLAB marka petriler kullanıştır. İnkübasyon için NÜVE marka inkübatör kullanılmıştır.

2.1. Sentez

Biyolojik aktiviteleri incalenmek üzere kullanılan bilerikler Kafkas Üniversitesi, Organik Araştırma Laboratuvarında sentezlenmiştir. Bileşiklerin sentez rotası Görsel 1’de ve AUPAC adları isimleri Çizelge 1’de verilmiştir [24].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

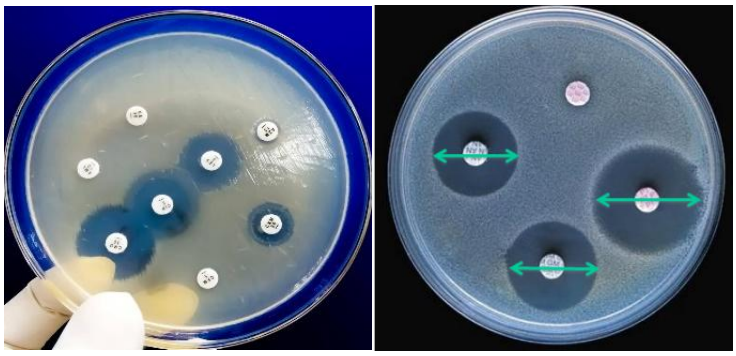
Çizelge 1. Biyolojik aktivite için kullanılan bileşiklerin kodları ve UIPAC isimleri

Bileşik Kodu	Bileşik İsmi
2a	3-metil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2g	3-fenil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2d	3-benzil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2b	3-etil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2c	3-propil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2e	3-*p*-metilbenzil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
2f	3-*p*-klorobenzil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
3a	1-asetil-3-metil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
3d	1-asetil-3-benzil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
3b	1-asetil-3-etil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on
3e	1-asetil-3-*p*-metilbenzil-4-(2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on

2.2. Antimikrobiyal Aktivite

Bileşiklerin (2 ve 3 tipi) antimikrobiyal aktiviteleri agar kuyu difüzyon yöntemi ile analiz edilmiştir [28]. Bu yöntemde öncelikle test mikroorganizmaları uygun besiyerinde çoğaltılarak yaklaşık 0,5 McFarland standardına (≈1,5 × 10^8 CFU/mL) ayarlamış ve steril pamuklu yardımıyla Mueller–Hinton Agar (MHA) yüzeyine homojen olarak yayılmıştır. Daha sonra steril cam borular kullanılarak agar üzerinde yaklaşık 2 mm çapında kuyucuklar açılmıştır. Hazırlanan test bileşiği dimetilsülfoksit (DMSO) çözücüsünde çözündürülerek belirlenen konsantrasyonda kuyucuklara (genellikle 50–100 µL) aktarılmıştır. Plaklar, bileşiklerin agara difüzyonunu sağlamak amacıyla kısa bir süre oda sıcaklığında bekletildikten sonra 35–37 °C'de 18–24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda kuyucukların çevresinde oluşan inhibisyon zonları milimetre cinsinden ölçülerek bileşiklerin antimikrobiyal etkinlikleri değerlendirilmiştir. Oluşan inhibisyon zonunun genişliği, test edilen bileşiğin mikroorganizmaya karşı duyarlılığını ve antimikrobiyal etkinliğini göstermekte olup, daha büyük zon çapları daha yüksek antimikrobiyal aktiviteyi ifade etmektedi. Bunun bir örneği aşağısa da bulunan Görsel 2'de görülmektedir. Burada zon çapı oluşan bileşiğinin antimikrobiyal etkiye sahipken, oluşmayan bileşiğin antimikrobiyal etkisi yoktur.

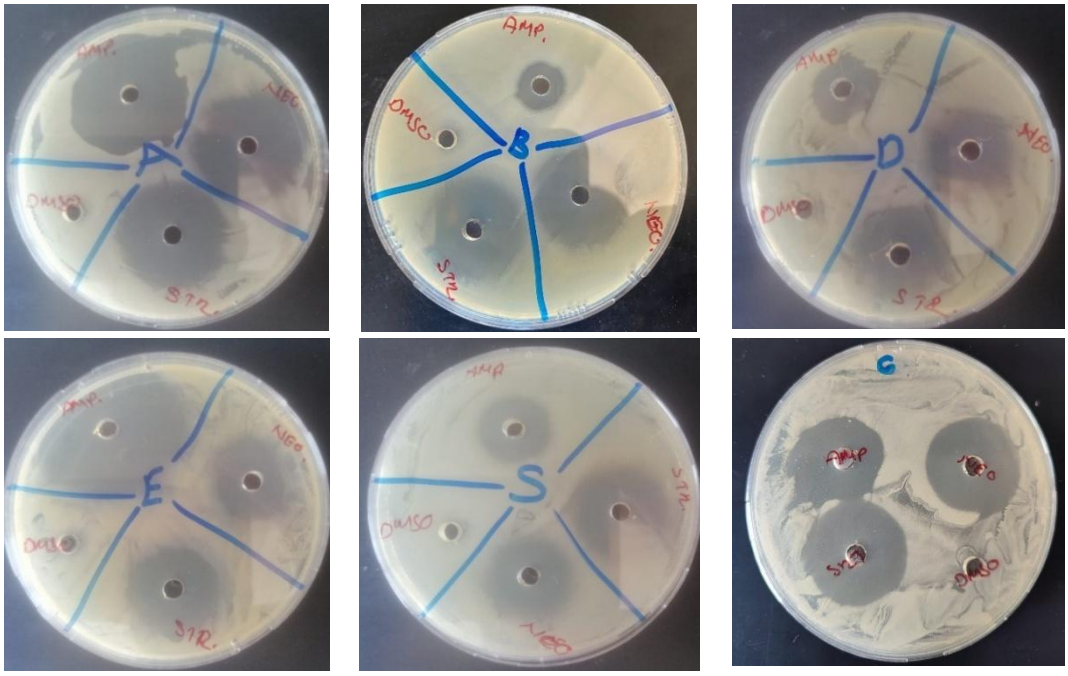
ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 2. Antimikrobiyal aktivite testlerinde inhibisyon zonu oluşan (pozitif sonuç) ve inhibisyon zonu oluşmayan (negatif sonuç) petri kabı örnekleri.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Antimikrobiyal aktivite çalışmaları kapsamında beş farklı bakteri türü ve bir mantar türü kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak neomycin trisulfate salt hydrate, ampicillin sodium ve streptomycin sulfate standart maddeler olarak değerlendirilirken, çözücü olarak kullanılan dimetil sülfoksit (DMSO) negatif kontrol amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bileşiklerinin ve standarttların test edilen mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini görsel olarak ortaya koyan petri kabı görüntüleri Görsel 3 ve 4'de sunulmuş. Ayrıca bu bileşiklerin ve standartların antimikrobiyal aktivitelere ilişkin inhibisyon zonu çapları (mm) ve bu değerlere karşılık gelen aktivite düzeyleri Çizelge 2'de verilmiştir [29].

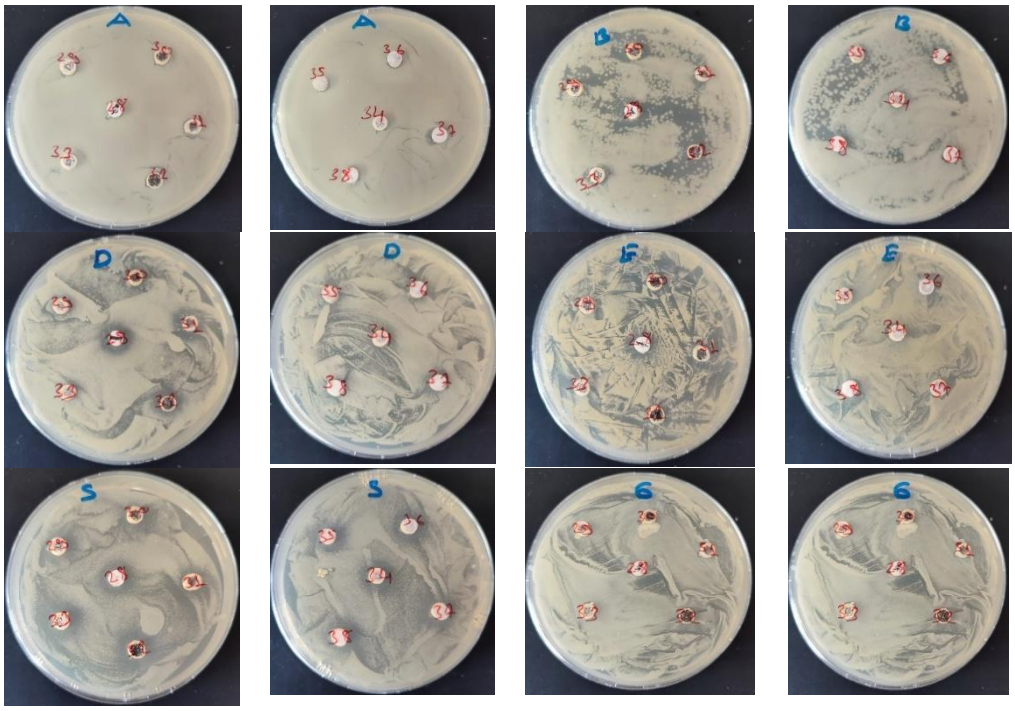


Görsel 3. Antimikrobiyal aktivite testlerinde kullanılan standartların mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon zonlarının petri görselleri.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, sentezlenen bileşiklerin tamamının Serratia marcescens bakterisine karşı farklı düzeylerde antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, 3a bileşiğinin *B. subtilis* ve *S. aureus* türlerine karşı düşük

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

düzeyde aktivite sergilediği, 3b bileşiğinin ise *K. pneumoniae* bakterisine karşı sınırlı bir antimikrobiyal etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna karşın, test edilen bileşiklerin *B. cereus* ve *C. albicans* mikroorganizmalarına karşı belirgin bir antimikrobiyal aktivite göstermediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, sentezlenen bileşiklerinin antimikrobiyal etkilerinin mikroorganizma türüne bağlı olarak değiştiğini ve özellikle *S. marcescens* üzerinde daha belirgin bir aktivite potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



Görsel 4. Antimikrobiyal aktivite testlerinde kullanılan bileşiklerin mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon zonlarının petri görselleri.

Çizelge 2. Tiyofen ve N-asetil türevli Schiff bazlarının antimikrobiyal aktivitesi

Petri Kodu	Bileşik Kodu	Atimikrobiyal etki düzeyi ve inhibisyon zon çapı (mm)											
		Bacillus cereus (A)		Bacillius subtilis (B)		Klepsiella pnemonia (D)		Staphlacoccus aureus (E)		Serratia marcescens (S)		Candida albicans (G)	
		mm	Etki	mm	Etki	mm	Etki	mm	Etki	mm	Etki	mm	Etki
28	**2a**	-	-	8	+	-	-	8	+	10	+	-	-
29	**2g**	-	-	-	-	-	-	-	-	8	+	-	-
30	**2d**	-	-	-	-	-	-	-	-	8	+	-	-
31	**2b**	-	-	-	-	9	+	-	-	8	-	-	-
32	**2c**	-	-	-	-	-	-	-	-	10	+	-	-
33	**2e**	-	-	-	-	-	-	-	-	12	++	-	-
34	**2f**	-	-	-	-	-	-	-	-	10	+	-	-
35	**3a**	-	-	-	-	-	-	-	-	10	+	-	-
36	**3d**	-	-	-	-	-		-	-	8	+	-	-
37	**3b**	-	-	-	-	-	-	-	-	9	+	-	-

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

38	**3e**	-	-	-	-	-	-	-	-	9	+	-	-
DMSO	**Dimetil sülfoksit**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NEO.	**Neomycin trisulfate salt hydrate**	36	+++	33	+++	36	+++	37	+++	35	+++	34	+++
AMP.	**Ampulicilin sodıum**	17	+++	17	+++	17	+++	13	++	16	++	16	++
STR.	**Streptpmycin sulfate**	12	++	12	++	12	++	21	+++	11	++	10	+
İnhibisyon zonu: (–): <5.5 mm; (+): 5.5–10 mm; (++): 11–16 mm; (+++): ≥17 mm													

Bileşikler standartlar ile karşılaştırıldığında, bileşiklerin belirgin şekilde düşük antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Sentezlenen bileşiklerin oluşturduğu inhibisyon zonları genel olarak 8–12 mm arasında değişirken, standart antibiyotiklerden Neomycin trisulfate salt hydrate 33–37 mm, Ampulicilin sodıum 13–17 mm ve Streptpmycin sulfate 10–21 mm arasında inhibisyon zonları oluşturmuştur. Neomisinin tüm test edilen mikroorganizmalara karşı en yüksek düzeyde (+++) aktiviteyi göstermesine karşın, sentezlenen bileşiklerden aktivite gösterenlerin büyük bölümü yalnızca düşük düzeyinde (+) aktivite sergilemiş. Yalnızca 2e bileşiği *S. marcescens* bakterisine karşın 12 mm'lik inhibisyon zonu ile orta düzeyde (++) aktivite göstermiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tiyofen ve 1,2,4-triazol halkalarını içeren Schiff bazı türevleri ile bunların *N*-asetil türevlerinin çeşitli mikroorganizmalara karşı in vitro antimikrobiyal aktiviteleri agar kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sentezlenen bileşiklerin antimikrobiyal etkilerinin hem moleküler yapıdaki substitüentlerin özelliklerine hem de test edilen mikroorganizma türüne bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur [30], [31], [32]. Çalışmanın en dikkat çekici sonucu, incelenen bileşiklerin tamamının *S. marcescens* bakterisine karşı farklı düzeylerde antimikrobiyal aktivite göstermesidir. Test edilen bileşikler arasında 2e, *S. marcescens'e* karşı 12 mm inhibisyon zonu oluşturarak en yüksek aktiviteyi göstermiş ve orta düzeyde antimikrobiyal etki sergilemiştir. Diğer aktif bileşiklerin büyük bölümünün ise 8–10 mm arasında değişen inhibisyon zonları ile düşük düzeyde aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bazı bileşiklerin *B.subtilis, K. pneumoniae* ve *S. aureus*'a karşı sınırlı antimikrobiyal etki sergilediği, buna karşılık *B. cereus* ve *C. albicans* üzerinde belirgin bir aktivite göstermediği tespit edilmiştir. Standart antibiyotiklerle yapılan karşılaştırmalar, sentezlenen bileşiklerin genel olarak daha düşük antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle neomisin tüm test mikroorganizmalarına karşı en yüksek düzeyde aktivite sergilerken, ampisilin ve streptomisin de çoğu durumda sentezlenen bileşiklerden daha güçlü etki göstermiştir. Bununla birlikte, elde edilen bulgular tiyofen-1,2,4-triazol iskeletinin belirli mikroorganizmalara karşı seçici antimikrobiyal potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle, farklı substitüent gruplarının sistematik olarak incelenmesi ve daha ileri antimikrobiyal testlerin gerçekleştirilmesi, bu moleküler yapıların biyolojik potansiyelinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KAYNAKÇA

[1] A. Legru *vd.*, "1,2,4-Triazole-3-thione compounds with a 4-ethyl alkyl/aryl sulfide substituent are broad-spectrum metallo-β-lactamase inhibitors with re-sensitization activity", *European Journal of Medicinal Chemistry*, c. 226, s. 113873, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.ejmech.2021.113873.
[2] S. Sarkar, T. Mukherjee, S. Sen, E. Zangrando, ve P. Chattopadhyay, "Copper(II) complex of in situ formed 5-(2-pyridyl)-1,3,4-triazole through C–S bond cleavage in 1,2-bis(2-pyridylmethylthio)-bis-ethylsulphide: Synthesis, structural characterization and DNA binding study", *Journal of Molecular Structure*, c. 980, sy. 1-3, ss. 117-123, Eyl. 2010, doi: 10.1016/j.molstruc.2010.07.002.
[3] I. Khan *vd.*, "Synthesis, antioxidant activities and urease inhibition of some new 1,2,4-triazole and 1,3,4-thiadiazole derivatives", *European Journal of Medicinal Chemistry*, c. 45, sy. 11, ss. 5200-5207, Kas. 2010, doi: 10.1016/j.ejmech.2010.08.034.
[4] P. Martins *vd.*, "Heterocyclic Anticancer Compounds: Recent Advances and the Paradigm Shift towards the Use of Nanomedicine's Tool Box", *Molecules*, c. 20, sy. 9, ss. 16852-16891, Eyl. 2015, doi: 10.3390/molecules200916852.
[5] A. Espinel-Ingroff, "Comparison of the E-test with the NCCLS M38-P Method for Antifungal Susceptibility Testing of Common and Emerging Pathogenic Filamentous Fungi", *Journal of Clinical Microbiology*, c. 39, sy. 4, ss. 1360-1367, Nis. 2001, doi: 10.1128/jcm.39.4.1360-1367.2001.
[6] J. N. Galgiani, "Fluconazole, a New Antifungal Agent", *Ann Intern Med*, c. 113, sy. 3, ss. 177-179, Ağu. 1990, doi: 10.7326/0003-4819-113-3-177.
[7] J. Xu *vd.*, "Design, synthesis and antifungal activities of novel 1,2,4-triazole derivatives", *Eur. J. Med. Chem.*, c. 46, sy. 7, ss. 3142-3148, Tem. 2011, doi: 10.1016/j.ejmech.2011.02.042.
[8] X. Li, X.-Q. Li, H.-M. Liu, X.-Z. Zhou, ve Z.-H. Shao, "Synthesis and evaluation of antitumor activities of novel chiral 1,2,4-triazole Schiff bases bearing γ-butenolide moiety", *Org Med Chem Lett*, c. 2, sy. 1, s. 26, Tem. 2012, doi: 10.1186/2191-2858-2-26.
[9] I. Ozcan, H. Alici, P. Taslimi, ve H. Tahtaci, "Novel 1,2,4-triazole-derived Schiff base derivatives: Design, synthesis, and multi-enzyme targeting potential for therapeutic applications", *Bioorganic Chemistry*, c. 157, s. 108246, Nis. 2025, doi: 10.1016/j.bioorg.2025.108246.
[10] P. Tyagi, S. Chandra, B. S. Saraswat, ve D. Yadav, "Design, spectral characterization, thermal, DFT studies and anticancer cell line activities of Co(II), Ni(II) and Cu(II) complexes of Schiff bases derived from 4-amino-5-(pyridin-4-yl)-4H-1,2,4-triazole-3-thiol", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, c. 145, ss. 155-164, Haz. 2015, doi: 10.1016/j.saa.2015.03.034.
[11] I. Mir, M. T. Siddiqui, ve A. Comrie, "Antituberculosis agents—I: α-[5-(2-Furyl)-1,2,4-triazol-3-ylthio] acethydrazide and related compounds", *Tetrahedron*, c. 26, sy. 22, ss. 5235-5238, Oca. 1970, doi: 10.1016/S0040-4020(01)98732-0.
[12] S. Kahraman *vd.*, "Copper(II) complexes with *N,O*-donor azo-Schiff base ligands: Synthesis, structure, DFT studies, molecular docking, anticancer and antimicrobial activity", *Polyhedron*, c. 269, s. 117393, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.poly.2025.117393.
[13] M. Palaniappan *vd.*, "Synthesis, characterization and biological evaluation of methyl dithiocarbonate-acenaphthenequinone (MDTCZ-ACQ) schiff base ligand and its coordination complexes with copper, nickel, zinc, and cobalt", *Journal of the Indian Chemical Society*, c. 102, sy. 3, s. 101615, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.jics.2025.101615.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[14] H. Schiff, "Mittheilungen aus dem Universitätslaboratorium in Pisa: Eine neue Reihe organischer Basen", *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, c. 131, sy. 1, ss. 118-119, 1864, doi: 10.1002/jlac.18641310113.
[15] F. Aytemiz ve H. Yüksek, "Design, Synthesis and In Vitro Biological Assessment Of Novel 2-[(3-Alkyl/Aryl-4,5-Dihydro-1h-1,2,4-Triazol-5-One-4-Yl)Azomethine]Phenyl 2,5-Dichlorobenzenesulfonates Molecules as Antioxidant and Antibacterial Agents", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 14, sy. 3, ss. 1453-1468, Eyl. 2025, doi: 10.17798/bitlisfen.1655093.
[16] R. P. Chinnasamy, R. Sundararajan, ve S. Govindaraj, "Synthesis, characterization, and analgesic activity of novel schiff base of isatin derivatives", *J Adv Pharm Technol Res*, c. 1, sy. 3, ss. 342-347, 2010, doi: 10.4103/0110-5558.72428.
[17] M. Ayaz, Ö. Gündoğdu, S. Aytaç, B. Erdem, H. Çiftçi, ve Y. Erdogdu, "Microwave-assisted synthesis, characterizations, antimicrobial activities, and DFT studies on some pyridine derived Schiff bases", *Journal of Molecular Structure*, c. 1269, s. 133791, Ara. 2022, doi: 10.1016/j.molstruc.2022.133791.
[18] K. S. Kumar, S. Ganguly, R. Veerasamy, ve E. De Clercq, "Synthesis, antiviral activity and cytotoxicity evaluation of Schiff bases of some 2-phenyl quinazoline-4(3)H-ones", *European Journal of Medicinal Chemistry*, c. 45, sy. 11, ss. 5474-5479, Kas. 2010, doi: 10.1016/j.ejmech.2010.07.058.
[19] L. Cai *vd.*, "Toxicity-attenuated mesoporous silica Schiff-base bonded anticancer drug complexes for chemotherapy of drug resistant cancer", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, c. 205, s. 111839, Eyl. 2021, doi: 10.1016/j.colsurfb.2021.111839.
[20] I. Santos Oliveira *vd.*, "Antibacterial and antifungal activities in vitro of a novel silver(I) complex with sulfadoxine-salicylaldehyde Schiff base", *Polyhedron*, c. 225, s. 116073, Eki. 2022, doi: 10.1016/j.poly.2022.116073.
[21] S. Mujeeb *vd.*, "Chroman-Schiff base derivatives as potential Anti-Tubercular Agents: *In silico* studies, Synthesis, and Biological evaluation", *Bioorganic Chemistry*, c. 157, s. 108249, Nis. 2025, doi: 10.1016/j.bioorg.2025.108249.
[22] G. Yapar, N. Demir, A. Kiraz, G. Y. Özkat, ve M. Yıldız, "Synthesis, Biological Activities, Antioxidant Properties, and Molecular Docking Studies of Novel Bis-Schiff Base Podands as Responsive Chemosensors for Anions", *Journal of Molecular Structure*, c. 1266, s. 133530, Eki. 2022, doi: 10.1016/j.molstruc.2022.133530.
[23] N. Gümrükçüoğlu, M. Serdar, E. Çelik, A. Sevim, ve N. Demirbaş, "Synthesis and Antimicrobial Activities of Some New 1,2,4-Triazole Derivatives", Erişim: 11 Eylül 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://journals.tubitak.gov.tr/chem/vol31/iss3/10
[24] H. Yuksek, F. Islamoglu, O. G. Kol, S. Bahceci, M. Bekar, ve M. Aksoy, "In Virto Antioxidant Activities of New 4,5-Dihydro-1H,2,4-triazol-5-ones having Thiophene Ring with their Acidic Properties", *Journal of Chemistry*, c. 8, sy. 4, s. 635459, 2011, doi: 10.1155/2011/635459.
[25] Ł. Popiołek, J. Rzymowska, U. Kosikowska, A. Hordyjewska, M. Wujec, ve A. Malm, "Synthesis, antiproliferative and antimicrobial activity of new Mannich bases bearing 1,2,4-triazole moiety", *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, c. 29, sy. 6, ss. 786-795, Ara. 2014, doi: 10.3109/14756366.2013.855926.
[26] M. S. Rafaat, A. Karatepe, S. Keser, Ş. İnci, ve S. Dalkılıc, "In vitro Biological Evaluation of 1,2,4-triazole Mannich Base", *Bio. Med. Tar. Jour.*, c. 1, sy. 2, ss. 22-30, Ara. 2023, doi: 10.59786/bmtj.123.
[27] M. Alkan *vd.*, "Synthesis and Antioxidant and Antibacterial Activities of Novel 4-({[3-Alkyl(aryl)-5-oxo-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-4-yl]imino}-methyl)phenyl 4-

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Nitrobenzoate Derivatives", *Russ J Org Chem*, c. 58, sy. 12, ss. 1839-1850, Ara. 2022, doi: 10.1134/S1070428022120132.
[28] M. Balouiri, M. Sadiki, ve S. K. Ibnsouda, "Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review", *Journal of Pharmaceutical Analysis*, c. 6, sy. 2, ss. 71-79, Nis. 2016, doi: 10.1016/j.jpha.2015.11.005.
[29] P. K. Verma, M. Kumar, N. Malik, P. Dhiman, ve A. Khatahar, "Design, Synthesis, Antimicrobial, and Antioxidant Activities of Novel-{4, 5-(substituted diphenyl)-4H-1, 2, 4-triazol-3-ylthio} Acetyl Chloride", *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, c. 15, sy. 2, Art. sy. 2, 2018, doi: 10.48048/wjst.2018.2178.
[30] R.-Y. Jin *vd.*, "Design, synthesis, biological activities and DFT calculation of novel 1,2,4-triazole Schiff base derivatives", *Bioorg Chem*, c. 80, ss. 253-260, Eki. 2018, doi: 10.1016/j.bioorg.2018.06.030.
[31] Y. N. Mabkhot, S. S. Al-Showiman, S. M. Soliman, H. A. Ghabbour, M. A. AlDamen, ve M. S. Mubarak, "Synthesis, characterization, X-ray structure, computational studies, and bioassay of novel compounds combining thiophene and benzimidazole or 1,2,4-triazole moieties", *Chem Cent J*, c. 11, s. 51, Haz. 2017, doi: 10.1186/s13065-017-0280-6.
[32] N. A. El-Emam *vd.*, "Thiophene-Linked 1,2,4-Triazoles: Synthesis, Structural Insights and Antimicrobial and Chemotherapeutic Profiles", *Pharmaceuticals*, c. 17, sy. 9, s. 1123, Eyl. 2024, doi: 10.3390/ph17091123.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

INVESTIGATION OF TRAFFIC-INDUCED NOISE LEVELS IN BURSA

Melike YALILI KILIÇ[1], Haluk GÜLNAR[2]

[1]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0000-0001-7050-6742

[2]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0005-5597-2397

ABSTRACT

Environmental noise in residential areas has emerged as a significant environmental problem, particularly due to variations associated with traffic activity. Determining the spatial and temporal distribution of noise levels is important for accurately assessing this issue. This study was conducted to determine traffic-induced noise levels in a residential area and to examine their variation across different time periods.

Within the scope of the study, measurements carried out at different times of the day over a specified period in a selected residential area in Bursa revealed that noise levels exhibited significant variations throughout the day. It was observed that noise levels reached higher values during certain time intervals, and this variation was closely related to traffic intensity.

The findings indicate that traffic-related noise constitutes a continuous environmental pressure in residential areas. Noise levels approached and occasionally exceeded the limit values during certain time periods. This situation highlights the necessity of implementing measures for the control of traffic-related noise.

Key words: Bursa, noise pollution, noise measurement, traffic, residential area

1. INTRODUCTION

Environmental noise has become one of the major environmental concerns accompanying rapid urbanization and the expansion of transportation systems. Among various noise sources, road traffic is recognized as the dominant contributor to environmental noise in residential areas, affecting large segments of the urban population. According to the European Environment Agency (EEA), a considerable proportion of people living in European cities are exposed to traffic-related environmental noise, and this problem is particularly evident in densely populated urban areas (EEA, 2020).

The World Health Organization (WHO) identifies environmental noise as an important public health issue, particularly when exposure continues over long periods (WHO, 2018). Numerous

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

studies have shown that environmental noise extends beyond simple annoyance and may adversely affect human health. Long-term exposure has been associated with cardiovascular diseases, sleep disturbance, impaired cognitive performance, and increased stress levels (Basner et al., 2014). Previous studies have also reported negative effects on quality of life and individual performance (Yalılı Kılıç and Adalı, 2020a; Yalılı Kılıç and Adalı, 2020b).

Accurate assessment of environmental noise requires not only determining noise levels but also examining how they vary over time. Traffic volume, road characteristics, vehicle speed, and surrounding environmental conditions are among the main factors influencing traffic noise. Therefore, measurements conducted during different periods of the day provide a more representative evaluation of population exposure (EEA, 2020).

Previous investigations conducted in different cities have consistently identified traffic noise as one of the principal environmental problems in urban areas. Yerli (2016) reported considerable variations in noise levels among different streets in Düzce, with the highest levels observed in commercial districts. Similarly, Yeşil et al. (2015) found elevated traffic noise levels in heavily trafficked areas of Ordu city center. Özden et al. (2024) demonstrated that changes in traffic intensity directly affected environmental noise levels in Sakarya, with measurements occasionally exceeding regulatory limits. In Bursa, Yalılı Kılıç et al. (2021) reported that traffic noise in densely populated residential districts could reach levels posing potential environmental and public health concerns.

This study was carried out to determine traffic-induced noise levels in a residential area of Bursa, to evaluate their temporal variation throughout the day, and to provide current data that may support future noise management and urban planning studies.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was conducted to determine traffic-induced environmental noise levels in a residential area of Bursa, Türkiye. The study area was selected as the 30 Ağustos Zafer Neighborhood, located in Nilüfer District, Bursa Province. The area is predominantly residential, and the measured noise levels were evaluated according to the transportation noise limit values specified in the Environmental Noise Control Regulation. The location of the study area is presented in Figure 1.

Noise measurements were performed at representative locations selected within the study area. The measurement points were determined by considering both traffic intensity and the spatial distribution of residential zones.

Measurements were carried out using a portable sound level meter that complies with international standards. Noise measurements were conducted on different days and at different times throughout October, and the collected data were evaluated to determine the temporal variation in environmental noise levels.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

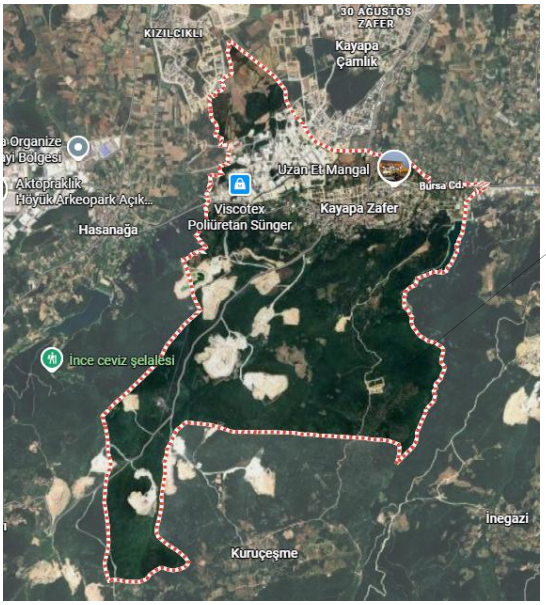


Figure 1. Location of the study area.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results showed a clear variation in noise levels throughout the day. As illustrated in Figure 2, noise levels generally increased from the morning toward the evening, with the highest average value recorded between 17:00 and 18:00. This increase may be attributed to higher traffic density and increased human activity during the evening hours. In contrast, lower noise levels measured in the morning may be associated with reduced traffic volume during the early hours of the day.

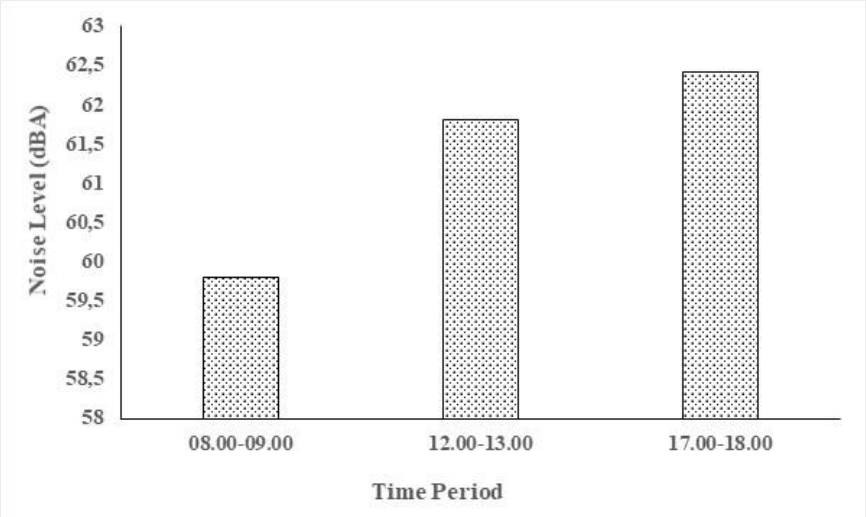


Figure 2. Average noise levels according to time periods

In addition to the temporal variation, noticeable differences were observed between weekday and weekend measurements (Figure 3). The average noise level was 64.56 dBA on weekdays

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

and 58.13 dBA on weekends. This difference is mainly associated with increased traffic resulting from work, school, and other daily activities during weekdays. On weekends, the reduction in these activities leads to lower traffic volume and consequently lower environmental noise levels.

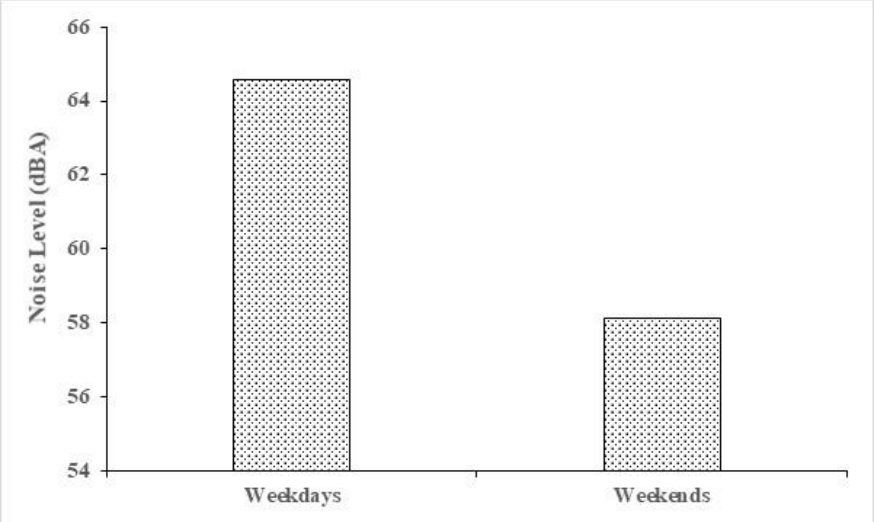


Figure 3. Comparison of average noise levels between weekdays and weekends

Comparison of the measured values with the limit values specified in the Environmental Noise Control Regulation indicated that noise levels measured during the evening were close to the regulatory limits. In particular, the weekday measurements approached the maximum permissible values defined in the regulation.

Table 1. Transportation noise limit values specified in the Environmental Noise Control Regulation (dBA)

Time Period	Limit Value (dBA)
Daytime	65
Evening	60
Nighttime	55

The findings obtained in this study are consistent with previous studies reported in the literature. Öden and Bilgin (2019) reported that noise levels increased during periods of heavy traffic in Sarayönü district. Similarly, Şahin et al. (2016) observed higher noise levels in areas with dense traffic in Isparta and concluded that temporal variations in environmental noise were directly associated with traffic intensity. Likewise, the lower noise levels measured on weekends in the present study can be attributed to the reduction in urban activity and traffic volume.

4. CONCLUSIONS

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Measurements conducted at different times of the day revealed that traffic-induced noise levels varied throughout the day, with the highest values recorded during the evening hours. The highest average noise level was observed between 17:00 and 18:00. Furthermore, the average noise level measured on weekdays was 64.56 dBA, whereas the corresponding value on weekends was 58.13 dBA. These findings indicate the significant influence of traffic density and human activities on environmental noise levels.

Comparison of the measured noise levels with the limit values specified in the Environmental Noise Control Regulation showed that noise levels measured during the evening approached the regulatory limits. This finding suggests that traffic-induced noise should be regarded as an important environmental issue in residential areas.

The results provide useful information on the temporal variation of traffic-induced noise in residential environments. Based on these findings, traffic management measures, the promotion of alternative transportation options, and the integration of noise control strategies into urban planning are recommended to reduce environmental noise levels. In addition, extending similar studies over longer monitoring periods and across different seasons would enable a more comprehensive assessment of traffic-induced noise.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012415236) and the Bursa Uludağ University Scientific Research Projects Unit through the Undergraduate Student Research Project (Project No. FLO-2025-2596).

REFERENCES

[1] Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S. Auditory and Non-auditory Effects of Noise on Health, The Lancet, 383, 1325-1332, 2014. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X

[2] European Environment Agency (EEA), *Environmental noise in Europe — 2020*. EEA Report No 22/2019, 2020.

[3] Öden, M.K., Bilgin, İ. Investigation of Traffic Related Noise Pollution in Sarayönü District Center, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 34(1), 103-113, 2019.

[4] Özden, A., Talu, A., Korkmaz, A. An Examination of Urban Air Quality and Noise Pollution Under the Impact of Redirected Traffic: A Case Study of Alifuatpaşa, Sakarya. The Black Sea Journal of Sciences, 14(4), 1807-1824, 2024. DOI: 10.31466/kfbd.1482902

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[5] Şahin, K., Şenol, E., Ögel, C. Traffic Related Noise Pollution in Isparta City, The Journal of International Social Research, 9(43), 1177-1185, 2016.

[6] WHO, *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. World Health Organization, 2018.

[7] Yalılı Kılıç, M., Adalı, S. Determination of Noise Pollution in Market Place: Bursa Case Study, Dicle University Journal of Engineering, 11(3), 1421-1430, 2020a. DOI: 10.24012/dumf.736027

[8] Yalılı Kılıç, M., Adalı, S. Determination of Noise Pollution around Primary School: Bursa Case Study, Journal of the Institute of Science and Technology, 10(3), 1607-1615, (2020b). DOI: 10.21597/jist.692523

[9] Yalılı Kılıç, M., Kılıç, İ., Adalı, S. Determination of Environmental Noise in Urban Settlements: Bursa Dikkaldırım Neighborhood Example, *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 11(3), 792-804, (2021). DOI: 10.17714/gumusfenbil.884575

[10] Yerli, Ö. Investigation of Noise Differences of Pedestrian Zones in Düzce City, Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 16(1), 225-238, (2016).

[11] Yeşil, M., Atabeyoğlu, Ö., Yeşil, P. Effects of Roads on Intra-city Traffic Noise: The Case of Ordu Province, Turkish Journal of Forestry, 16(2), 177-182, (2015). DOI: 10.18182/tjf.94490

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EFFECTS OF URBAN NOISE POLLUTION ON QUALITY OF LIFE AND HEALTH

Melike YALILI KILIÇ[1], Haluk GÜLNAR[2]

[1]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0000-0001-7050-6742

[2]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0005-5597-2397

ABSTRACT

Noise pollution, although considered one of the most widespread environmental problems, is often not given as much attention as other types of pollution. Urbanization, the expansion of transportation networks, and technological developments increase the intensity of unwanted sounds in daily life and raise individuals' exposure to noise.

The effects of long-term exposure to noise are not limited to hearing loss but are also associated with various adverse outcomes such as increased stress levels, sleep disturbances, and distraction. Numerous studies have shown that high noise levels may reduce daily performance, negatively affect cognitive processes, and make learning more difficult, especially for children and young people. This situation demonstrates that noise pollution has important consequences not only at the individual level but also at the social level.

Understanding the effects of noise pollution on quality of life is considered essential for the creation of healthy and sustainable living environments. In this context, environmental and health-related aspects should be evaluated together. Considering the long-term effects of increasing noise exposure is necessary to address this issue not only as a temporary disturbance but also as a continuous environmental risk. Within the scope of this study, the effects of noise pollution on quality of life and human health were addressed from environmental and health perspectives.

Keywords: Environmental effects, noise pollution, noise exposure, human health, quality of life

1. INTRODUCTION

Noise is one of the major environmental problems affecting human life today. Rapid urbanization, population growth, industrial development, and technological progress have led to a considerable increase in environmental noise levels. In residential areas where human activities are concentrated, noise has become one of the environmental factors that negatively influences daily life (EEA, 2020).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Environmental noise originates from a variety of sources, including transportation systems, industrial activities, construction processes, entertainment venues, and intensive human activities (Yalılı Kılıç and Adalı, 2020). Noise levels vary depending on several factors, such as population density, land use patterns, and urban planning practices (Kurra, 2009). In large cities, continuous exposure to environmental noise may significantly reduce the quality of everyday life (Basner et al., 2014).

Although environmental noise was once regarded primarily as a source of annoyance, it is now recognized as an important public health concern because of its adverse effects on human health. Previous studies have shown that prolonged exposure to noise may lead to stress, sleep disturbances, reduced attention, fatigue, and impaired performance (Babisch, 2005; Passchier-Vermeer and Passchier, 2000). Likewise, the World Health Organization has emphasized the negative impact of environmental noise on quality of life (WHO, 2018).

The effects of environmental noise vary according to factors such as age, health status, and duration of exposure. Children, older adults, and other vulnerable groups are generally considered more susceptible to noise pollution. In particular, studies have reported that children exposed to high noise levels around schools may experience reduced attention and poorer learning performance (Shield and Dockrell, 2003; Stansfeld and Clark, 2015).

Studies conducted in Türkiye have also identified environmental noise as a serious problem in densely populated residential areas. Increasing population density and intensified human activities in urban centers contribute to higher noise levels, which may adversely affect quality of life (Akan et al., 2012).

Evaluating the physical, psychological, and social effects of environmental noise is essential for the development of healthy and sustainable living environments. Accordingly, this review examines the impacts of urban noise pollution on quality of life and human health, with particular emphasis on its physical, psychological, and social consequences.

2. ENVIRONMENTAL NOISE: CONCEPT AND SOURCES

2.1. Environmental Noise

Sound is defined as a physical phenomenon produced by vibrations and perceived by the human auditory system. As an essential component of communication, perception, and environmental awareness, sound is considered a natural part of everyday life when it remains within acceptable limits. However, sounds that are unwanted, irregular, or disturbing are generally defined as noise (Kurra, 2009).

The perception of noise varies according to individuals' physical, psychological, and social characteristics. The same sound level may be perceived as disturbing by some individuals while remaining acceptable to others. Therefore, noise should not be regarded solely as a physical

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

parameter but also as a concept closely associated with individual perception of the environment (Güler and Çobanoğlu, 1994).

Today, noise is recognized not only as a source of annoyance but also as a significant environmental pollutant. Owing to its adverse effects on human health, quality of life, and environmental comfort, many countries have introduced legal regulations and established limit values for environmental noise. The World Health Organization has emphasized that environmental noise poses an important public health risk and that long-term exposure is associated with various health problems (WHO, 2018).

When evaluating environmental noise, factors such as exposure duration, continuity of the noise, and surrounding environmental conditions are as important as the sound level itself. Therefore, environmental noise assessment should consider not only technical measurements but also its impacts on individuals' quality of life (Basner et al., 2014).

2.2. Sources of Environmental Noise

Transportation activities represent one of the most common sources of environmental noise in urban areas. Road, rail, air, and maritime transportation all contribute to environmental noise generation. Among these, road traffic is regarded as the predominant source and one of the most widespread environmental noise problems (Dönmez et al., 2023).

Industrial activities also constitute a major source of environmental noise. High noise levels may be generated during manufacturing processes in factories, production facilities, workshops, and other industrial operations involving machinery and equipment. Individuals living in residential areas located near industrial zones are therefore more likely to be affected by environmental noise (Güler and Çobanoğlu, 1994).

Construction and urban development activities are considered another important source of environmental noise, particularly in rapidly developing cities. Excavation works, heavy construction equipment, concrete demolition, and building operations may generate substantial noise, causing disturbance to nearby residents. Construction-related noise has also been reported to increase periodically in densely populated urban areas (Kurra, 2009).

Social and recreational activities also contribute to environmental noise. Entertainment venues, outdoor events, large crowds, and amplified music can increase environmental noise levels in urban centers. Noise associated with social activities may reduce environmental satisfaction and negatively affect the quality of urban life (Akan et al., 2012).

Since environmental noise originates from a variety of sources with different characteristics, effective noise control requires measures specifically tailored to each source. Therefore, the assessment of environmental noise should consider not only the origin of the noise but also its

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

continuity and the extent of the affected area. The principal sources of environmental noise and their major effects on human health are presented in Figure 1.

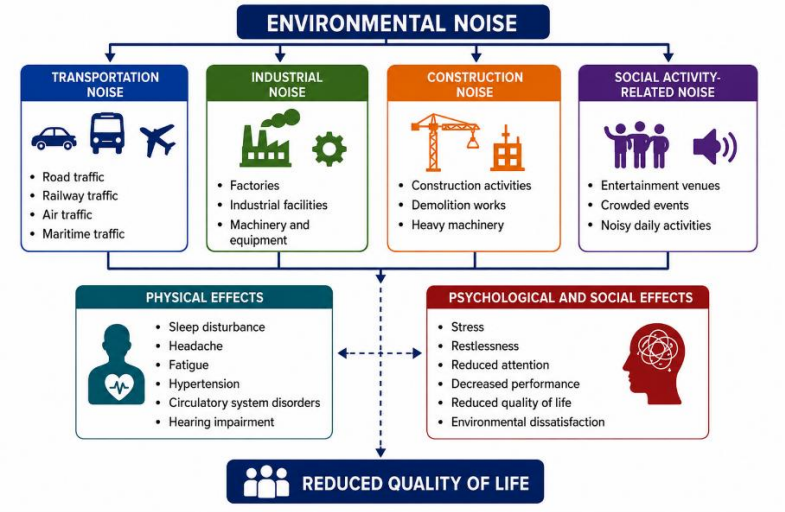


Figure 1. Major sources of environmental noise and their principal effects on human health

3. EFFECTS OF NOISE POLLUTION ON HUMAN HEALTH AND QUALITY OF LIFE

Noise pollution is recognized as one of the major environmental problems that can adversely affect both physical and psychological health. Prolonged exposure to environmental noise may influence not only the auditory system but also sleep quality, the cardiovascular system, cognitive functions, and overall quality of life (van Kamp and Davies, 2013). The health effects of noise vary depending on the duration of exposure, noise intensity, and the health status of exposed individuals.

The physical effects of noise include sleep disturbance, headache, fatigue, and cardiovascular disorders. Disruption of sleep caused by environmental noise has been reported to impair individuals' daily performance (Muzet, 2007). Furthermore, long-term exposure to noise has been associated with hypertension and various circulatory system disorders (Münzel et al., 2014).

The psychological and cognitive effects of environmental noise are also considered important public health concerns. Individuals exposed to excessive noise may experience stress, restlessness, reduced attention, and decreased performance. Children are particularly vulnerable to environmental noise, and high noise levels have been reported to adversely affect learning processes and academic performance (Shield and Dockrell, 2003; van Kamp and Davies, 2013).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Environmental noise also affects quality of life. It may reduce environmental satisfaction, diminish daily living comfort, and restrict social activities. As noise levels increase, quality of life tends to decline accordingly (Akan et al., 2012). The principal effects of environmental noise on human health and quality of life are summarized in Table 1.

Table 1. Principal Effects of Environmental Noise on Human Health and Quality of Life

Effect Category	Major Effects	Reference
Physical effects	Sleep disturbance, headache, fatigue	Muzet, 2007
Cardiovascular effects	Hypertension, circulatory system disorders	Münzel et al., 2014
Psychological effects	Stress, restlessness, reduced attention	van Kamp and Davies, 2013
Cognitive effects	Learning difficulties, decreased performance	Shield and Dockrell, 2003
Social effects	Reduced quality of life, environmental dissatisfaction	Akan et al., 2012

4. PREVENTION AND CONTROL OF NOISE POLLUTION

Various control and mitigation measures have been developed to reduce the adverse effects of environmental noise on human health and quality of life. The primary objectives of noise control are to reduce noise at its source, limit its propagation, and minimize human exposure (Kurra, 2009).

Technical measures commonly used for environmental noise control include noise barriers, sound-absorbing materials, traffic management practices, and land-use planning strategies. Noise barriers have been reported to be effective in reducing environmental noise levels in areas affected by heavy traffic. In addition, increasing green spaces and separating residential areas from transportation networks through appropriate urban planning can contribute to reducing environmental noise (Environmental Noise Control Regulation, 2022).

Legislative regulations on noise control have become an integral part of environmental policies in many countries. Within the European Union, environmental noise assessment and management are carried out under the Environmental Noise Directive. In Türkiye, environmental noise management is implemented in accordance with the Environmental Noise Control Regulation, which defines environmental noise sources, limit values, and the principles governing noise management practices (Environmental Noise Control Regulation, 2022).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Public awareness also plays a significant role in reducing environmental noise. Raising awareness of the health effects of noise and encouraging behavioral changes that reduce noise generation can contribute to effective noise management. Educational programs and sustainable urban development initiatives aimed at increasing public awareness are considered important for protecting quality of life (WHO, 2018).

Effective environmental noise control requires the integration of technical measures, legal regulations, and public awareness initiatives. Within the framework of sustainable urban development, coordinated implementation of these approaches is expected to contribute to the reduction of environmental noise and its associated impacts.

5. CONCLUSIONS

Noise pollution has become one of the major environmental problems in recent years due to rapid urbanization, increasing transportation activities, industrialization, and increasing human mobility. It is widely recognized that environmental noise is not merely a source of annoyance but also has adverse effects on physical, psychological, and social well-being. In particular, prolonged exposure to noise has been associated with reduced quality of life, sleep disturbance, impaired attention, and decreased daily performance.

Effective environmental noise management requires the combined implementation of technical measures, legal regulations, and public awareness initiatives. Identifying noise sources and adopting appropriate control strategies can contribute to the development of healthier and more sustainable living environments. Therefore, strengthening efforts to prevent noise pollution and improving environmental noise management practices remain essential for protecting both public health and quality of life.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012415236) and the Bursa Uludağ University Scientific Research Projects Unit through the Undergraduate Student Research Project (Project No. FLO-2025-2596).

REFERENCES

[1] Akan, Z., Yılmaz, A., Özdemir, O., Korpınar, M.A. Noise Pollution, Psychiatric Symptoms and Quality of Life: Noise Problem in the East Region of Turkey, İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 19(2), 75-81, 2012. doi: 10.7247/jiumf.19.2.3

[2] Babisch, W. Guest Editorial: Noise and Health, Environmental Health Perspectives, 113(1), A14-A15, 2005. doi: 10.1289/ehp.113-a14

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[3] Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S. Auditory and Non-auditory Effects of Noise on Health, The Lancet, 383, 1325-1332, 2014. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X

[4] Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği [Environmental Noise Control Regulation], *30 Kasım 2022 tarih ve 32029 sayılı Resmi Gazete*, Ankara, 2022.

[5] Dönmez, S., Dölgen, D., Bozkurt, Z., Kınay, E.H.İ., Alpaslan, M.N. Mapping of Noise Pollution from Road Transportation with SoundPLAN: A Case for DEU Tinaztepe Campus, Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering, 25(74), 451-466, 2023. doi: 10.21205/deufmd.2023257415

[6] European Environment Agency (EEA), *Environmental noise in Europe — 2020*, EEA Report No 22/2019, 2020.

[7] Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. Gürültü. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 19*, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, ISBN 975-7572-44-6, 1994.

[8] Kurra, S. *Çevre Gürültüsü ve Yönetimi*. Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2009.

[9] Muzet, A. Environmental Noise, Sleep and Health, Sleep Medicine Reviews, 11(2), 135-142, 2007. doi:10.1016/j.smrv.2006.09.001

[10] Münzel, T., Gori, T., Babisch, W., Basner, M. Cardiovascular Effects of Environmental Noise Exposure, European Heart Journal, 35(13), 829-836, 2014. doi:10.1093/eurheartj/ehu030

[11] Passchier-Vermeer, W., Passchier, W.F. Noise Exposure and Public Health, Environmental Health Perspectives, 108, 123-131, 2000. doi: 10.1289/ehp.00108s1123

[12] Shield, B.M., Dockrell, J. The Effects of Noise on Children at School: A Review, Building Acoustics, 10(2), 97-116, 2003.

[13] Stansfeld, S., Clark, C. Health Effects of Noise Exposure in Children, Current Environmental Health Reports, 2, 171-178, 2015. doi: 10.1007/s40572-015-0044-1

[14] van Kamp, I., Davies, H. Noise and Health in Vulnerable Groups: A Review, Noise and Health, 15(64), 153-159, 2013. doi:10.4103/1463-1741.112361

[15] World Health Organization (WHO). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[16] Yalılı Kılıç, M., Adalı, S. Determination of Noise Pollution in Market Place: Bursa Case Study, Dicle University Journal of Engineering, 11(3), 1421-1430, 2020. doi: 10.24012/dumf.736027

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TOPOGRAPHY-INTEGRATED FURNITURE DESIGNS

Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ[1], Prof. Dr. Elif Merve ALPAK[2]

[1] Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey, tugbaduzenli@gmail.com, 05327380378, http://orcid.org/0000-0001-6957-3921.

[2] Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey, elifmervealpak@gmail.com, 05342996389, http://orcid.org/0000-0002-2306-4299.

ABSTRACT

Furniture designs integrated with topography transform site furniture from a "subsequently placed object" into a spatial organizer embedded within the slope, level changes, curves, and flows of the land. This approach generates strong outcomes in landscape architecture in terms of both aesthetics and performance, including accessibility, drainage, comfort, and safety. In this study, seating elements were examined. The fundamental criteria in the design of seating elements integrated with the terrain are based on conceiving furniture not as an "attached object," but as a spatial component that reinforces the continuity of topography. In this context, slope, level differences, aspect, and flow lines should first be carefully analyzed, and seating surfaces should be aligned with natural movement routes. Rather than interrupting circulation, a spatial language should be established that guides movement and supports scenarios of stopping, observing, and gathering. Within this framework, student projects designed from this perspective were evaluated in the present study.

Keywords: Topography, Landscape Architecture, Furniture Design

TOPOĞRAFYA İLE BÜTÜNLEŞEN DONATI TASARIMLARI

ÖZET

Topoğrafya ile bütünleşen donatı tasarımları, donatıyı "sonradan yerleştirilen nesne" olmaktan çıkarıp arazinin eğim, kot, kıvrım ve akışlarına gömülü bir mekânsal organizatöre dönüştürür. Bu yaklaşım, peyzaj mimarlığında hem estetik hem de performans (erişilebilirlik, drenaj, konfor, güvenlik) açısından güçlü sonuçlar üretir. Çalışmada oturma donatıları ele alınmıştır. Araziyle bütünleşen oturma donatısı tasarımında temel kriterler, donatının "eklemlenen bir nesne" değil, topoğrafyanın sürekliliğini güçlendiren bir mekânsal bileşen olarak kurgulanmasına dayanır. Bu kapsamda öncelikle eğim, kot farkı, bakı yönü ve akış çizgileri okunarak oturma yüzeyleri doğal hareket rotalarıyla çakıştırılmalı; dolaşımı kesmek yerine yönlendiren, durma–izleme–buluşma senaryolarını destekleyen bir yerleşim dili kurulmalıdır. Bu çalışmada da bu bakış açısıyla tasarlanan öğrenci çalışmaları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Topoğrafya, Peyzaj Mimarlığı, Donatı Tasarımı

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

THE AESTHETIC AND FUNCTIONAL DIMENSIONS OF SPATIAL FORM DESIGN IN LANDSCAPE ARCHITECTURE

Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ[1], Prof. Dr. Elif Merve ALPAK[2]

[1] Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey, tugbaduzenli@gmail.com, 05327380378, http://orcid.org/0000-0001-6957-3921.

[2] Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey, elifmervealpak@gmail.com, 05342996389, http://orcid.org/0000-0002-2306-4299.

Abstract

In landscape architecture, spatial form design involves not only arranging open spaces in accordance with functional requirements but also shaping them as aesthetic spatial compositions through form, surface, volume, texture, color, light and shadow, and user movement. Spatial form is associated with multidimensional design decisions such as the shaping of topography, the organization of hard and soft surfaces, the spatial effects of plant masses, the positioning of site furniture, and the guidance of user experience. Therefore, spatial form design constitutes an important subject in landscape architecture education, particularly in terms of developing students' abilities to think three-dimensionally, perceive space, establish formal coherence, and achieve a balance between aesthetics and functionality.

This study aims to examine "The Aesthetic and Functional Dimensions of Spatial Form Design in Landscape Architecture" through student works produced in the Department of Landscape Architecture at Karadeniz Technical University. Within the scope of the study, students' interpretations of spatial form during open-space design processes will be evaluated through design components such as topographic configuration, surface organization, mass–void relationships, circulation patterns, seating and resting areas, planting design, and the creation of spatial focal points. In this context, it will be emphasized that spatial form is not merely a search for visual expression, but also a fundamental design instrument that directs user movement, strengthens spatial perception, supports functional use, and contributes to the identity of open space. The evaluation of student projects from the Department of Landscape Architecture at KTU aims to make the role of spatial form design in the educational process more visible. By examining the formal explorations, aesthetic composition decisions, and functional solution proposals reflected in student works, the study will demonstrate that spatial form constitutes a learning domain in landscape architecture education that enhances design thinking, supports creativity, and improves spatial quality.

Keywords: Landscape architecture, spatial form, open-space design, aesthetics, functionality, student works

PEYZAJ MİMARLIĞINDA ALAN PLASTİĞİ TASARIMININ ESTETİK VE İŞLEVSEL BOYUTLARI

Özet

Peyzaj mimarlığında alan plastiği tasarımı, açık mekânın yalnızca işlevsel gereksinimlere göre düzenlenmesi değil; aynı zamanda biçim, yüzey, hacim, doku, renk, ışık-gölge ve kullanıcı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

hareketi aracılığıyla estetik bir mekânsal kompozisyon olarak kurgulanması sürecidir. Alan plastiği, peyzaj tasarımında topografyanın biçimlendirilmesi, sert ve yumuşak zeminlerin düzenlenmesi, bitkisel kütlelerin mekânsal etkisi, donatıların konumlanışı ve kullanıcı deneyiminin yönlendirilmesi gibi çok boyutlu tasarım kararlarıyla ilişkilidir. Bu nedenle alan plastiği tasarımı, peyzaj mimarlığı eğitiminde öğrencilerin üç boyutlu düşünme, mekânı algılama, biçimsel bütünlük kurma ve estetik-işlev dengesi oluşturma becerilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir tasarım konusudur.

Bu çalışma, "Peyzaj Mimarlığında Alan Plastiği Tasarımının Estetik ve İşlevsel Boyutları" konusunu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrenci çalışmaları özelinde ele almayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında öğrencilerin açık mekân tasarım süreçlerinde alan plastiğini nasıl yorumladıkları; topoğrafik düzenleme, yüzey organizasyonu, kütle-boşluk ilişkisi, dolaşım kurgusu, oturma-dinlenme alanları, bitkisel tasarım ve mekânsal odak oluşturma gibi tasarım bileşenleri üzerinden değerlendirilecektir. Bu bağlamda alan plastiğinin yalnızca görsel bir biçim arayışı olmadığı; aynı zamanda kullanıcı hareketini yönlendiren, mekânsal algıyı güçlendiren, işlevsel kullanımı destekleyen ve açık mekânın kimliğini belirleyen temel bir tasarım aracı olduğu vurgulanacaktır. KTÜ Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrenci projeleri üzerinden yapılacak değerlendirme, alan plastiği tasarımının eğitim sürecindeki rolünü görünür kılmayı hedeflemektedir. Öğrenci çalışmalarında ortaya çıkan biçimsel arayışlar, estetik kompozisyon kararları ve işlevsel çözüm önerileri incelenerek, peyzaj mimarlığı eğitiminde alan plastiğinin tasarım düşüncesini geliştiren, yaratıcılığı destekleyen ve mekânsal kaliteyi artıran bir öğrenme alanı olduğu ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Peyzaj mimarlığı, alan plastiği, açık mekân tasarımı, estetik, işlevsellik, öğrenci çalışmaları

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMINDA FARKLI YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, EMEL GÖNÜLTAŞ

İzmir Demokrasi Üniversitesi, 2517102005@std.idu.edu.tr-0009-0002-0913-2571

Dr. Öğr. Üyesi, ESRA GÜNERİ

İzmir Demokrasi Üniversitesi, esraguneri@idu.edu.tr-0000-0002-1840-2118

ÖZET

Geoteknik yapıların tasarımında zeminde kot farklılıklarının bulunduğu zemin yüzeyleri arasında istinat duvarları inşa edilmektedir. Duvar tasarımında klasik teorilerden Rankine ve Coulomb teorileri dar dolguda göçme mekanizmasını tanımlamada yetersiz kalmış durumdadır. Bu teoriler yerine tercih edilen yöntemlerden biri olan diferansiyel dilim eleman yöntemi ise çoklu kayma yüzeylerinin bulunduğu durumda göçme mekanizmasını açıklamada yetersiz kalmaktadır. Kama limit denge yöntemi incelendiğinde çoklu kayma yüzeylerinin oluşumunu açıklayamamıştır. Sonlu elemanlar yönteminde birtakım parametrelerden dolayı çoklu kayma yüzeylerinin oluştuğu ve bu yöntemle zemin davranışı belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Konsol istinat duvarlarının TBDY 2018'e göre tasarımında statik yük ve depremden dolayı oluşan sismik zemin basınçlarının beraber duvara etkimesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu konuda kullanılan yaklaşımlardan biri olan Mononobe-Okabe yöntemi sismik yanal zemin basınçlarını analizlerini gerçekleştirme imkânı sunmakta ve Coulomb yöntemi gibi kuvvet dengesine dayanmaktadır. Bu yöntemdeki birtakım yetersizlikler ve sınırlamalardan dolayı çoklu kayma yüzey kabulü yapan ve gelişmiş analizlerle yenilme modlarını belirleme imkânı sunan sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir. TBDY 2018'de konsol istinat duvar tasarımında statik ve deprem yükünün beraber etki ettirilip duvarda dönme, kayma ve taşıma gücü şeklinde gerçekleşen yenilme mekanizmaları hesaplanarak stabilite ve deformasyon tahkikleri yapılmaktadır. Bu çalışmada zemin sıkılığı, sürşarj yükü ve depremsellik değişkenleri sonlu elemanlar yöntemi ve klasik teorilerin kullanıldığı yöntemler ile birlikte incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geostatik düşey gerilmeler, kayma yüzeyleri, statik ve sismik yükler, yatay zemin basınçları

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1.GİRİŞ

Dayanma yapıları göçme riski bulunan problemli zeminlerde, statik ve sismik yüklere karşı direnç göstermek amacı ile inşa edilen geoteknik yapılardır.

Zeminden "z" kadar derinlikte herhangi bir mühendislik çalışması yapıldığı durumda zeminde gerilme artışı meydana gelir. Dış yüklemelerden kaynaklı oluşan kayma gerilmelerinin zeminin direncinden büyük olması durumda göçme meydana gelmektedir. Yapılan analizler sonucunda üst yapıdan gelen yüklerin zeminde göçme oluşturmadan zeminin dış yüklemelerden kaynaklı taşıma kapasitesi belirlenmektedir. Yapının güvenliği için göçme meydana gelmeden temel zemini tarafından emniyetli şekilde taşınan dış yüklerden dolayı oluşan deformasyon miktarları da belirlenmelidir. Örneğin, betonarme inşa edilen konsol istinat duvarında statik ve sismik yüklerin etkimesi sonucu zeminde oluşan oturma miktarları belirlenmelidir.

Dayanma yapıları birtakım özelliklerden dolayı gruplandırılmaktadır. Burada rijitlik bakımından sınıflandırıldığında konsol istinat duvarları rijit dayanma yapılardır. Bu yapıların eğilme rijitlikleri büyük olduğundan dolayı yapıya etki eden yatay zemin basınçlarına karşı direnç gösterdiği için yapı daha az deforme olur. Duvarın yapısal sünekliliği yüklemeler altında oluşacak deformasyon seviyelerini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Duvarda herhangi bir yenilmenin oluşmaması için eğilme momentleri belirlenerek gerekli donatılandırma ile bu momentler karşılanmaktadır. Zemin ortamındaki düşey gerilmeler yatay zemin basınç katsayısı kullanılarak yatay gerilmelere dönüştürülür. Zeminde yatay deplasmanların oluşmadığı durum olarak tanımlanan sükûnet durumda bu katsayı, zeminin konsolide durumuna göre belirlenmektedir.

- Normal konsolide kumlar için $K_0 = 1 - \sin\phi'$,
- Aşırı konsolide killer için $K_0 = (1 - \sin\phi')(OCR)^{sin\phi'}$ eşitlikleri kullanılmaktadır.

Duvarın yenilmeden dengede kalması için deplasman yapması gerekmektedir **[1]**. Duvarın arka dolgu zemininden uzaklaşma şeklinde deplasman yapması aktif durum, duvarın zemine doğru yanal deplasman yapması pasif durum olarak tanımlanmaktadır. Bu durumlardaki yanal zemin basınç katsayıları kullanılan yöntemlere göre değişkenlik göstermektedir.

Bu çalışmada Rankine ve Coulomb teorileri ile katsayı yöntemlerinin kullanılarak zemini sürekli ortam olarak kabul eden sonlu elemanlar yöntemi ile gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA METODU

2.1 Klasik Teoriler

Yatay zemin basınçlarının açıklanmasında tarih boyunca birçok yöntem geliştirilmiştir **[2],[3].** Günümüzde klasik teori olarak Rankine ve Coulomb teorileri kullanılmaktadır **[4]**.

2.1.1 Rankine Teoremi

İstinat duvarlarına etkiyen yanal zemin basınçlarının büyüklüğünü belirlemede istinat duvarının hareket türü, duvarın rijitliği önemli rol oynamaktadır. Bu yöntem gerilme esaslı analiz imkânı sunmaktadır **[5],[6]**. Özellikle konsol istinat duvarlarına etkiyen itki doğrultusunu belirleme imkânı sunduğundan dolayı bu konuda Coulomb yönteminden daha fazla tercih edilmektedir

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[7]. Arka dolgudaki zemin için gerilme zarfını belirlemek için aşağıda belirtilen kabulleri varsaymıştır.

- Zemin homojen,
- Duvar- zemin arasındaki sürtünme hesaplarla dahil edilmez **[8],**
- Yatay zemin basıncını düşey yüzeylerde hesaplama imkânı sunmaktadır.



Görsel 1. Aktif ve pasif yanal zemin basınç ve katsayı formülleri

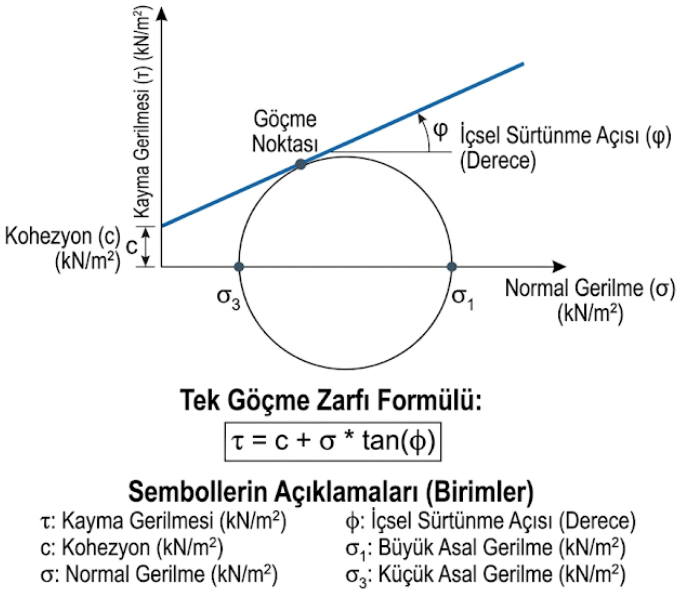
2.1.2 Coulomb Yöntemi

Yatay zemin basınçlarının belirlenmesinde kuvvet esaslı analiz imkânı sunmaktadır . Duvarın öne veya arkaya doğru hareket etmesi durumunda kırılma kama oluşur **[9]**. Coulomb yönteminde varsayılan kabuller aşağıda yer almaktadır.

- Arka dolgu zemini ile duvar arasında sürtünme dikkate alınır,
- Kohezyonsuz zemin durumunda kullanılmaktadır,
- Eğimli yüzeylerde yatay zemin basınçlarını belirleme imkânı sunmaktadır.
-

Konsol istinat duvarlarının tasarımında TBDY 2018 incelendiğinde servis yüklerine ilave olarak deprem kaynaklı yüklerin farklı zemin sınıflarında ve farklı duvar yükseklikeri baz alınarak klasik teoriyi kullanan bir yazılımda gerekli tasarımları yapılır. Bu yazılımda zeminin gerilme- deformasyon ilişkini tanımlamada Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılır. Bu model basit parametreleri kullandığından dolayı zeminin deformasyonu tanımlamada zayıf kalmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Tek Göçme Zarfı Formülü:

$$\tau = c + \sigma * \tan(\phi)$$

Sembollerin Açıklamaları (Birimler)

τ: Kayma Gerilmesi (kN/m²)
c: Kohezyon (kN/m²)
σ: Normal Gerilme (kN/m²)
ϕ: İçsel Sürtünme Açısı (Derece)
σ_1: Büyük Asal Gerilme (kN/m²)
σ_3: Küçük Asal Gerilme (kN/m²)

Görsel 2. Mohr-Coulomb göçme zarfı

Analizler sonucunda betonarme donatı metrajları ve kesit hesapları belirlenir. Bu yapılarda deprem sonrasında işlevlerine zarar vermeyecek şekilde yer değiştirmelere izin verilir.

2.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Dar dolgulu istinat duvarlarında dolgu genişliği sınırlı olduğundan dolayı denge tahkikleri ve deplasman seviyelerini belirlemede Coulomb ve Rankine gibi klasik teoremler yetersiz kalmaktadır **[10]**. Bu teoremler tek kayma yüzeyi kabülü yaptığından dolayı duvarın statik ve sismik yükler altındaki göçme mekanizmasını açıklayamamaktadır. Bu konuda çoklu kayma yüzeyi kabulü yapan yöntemlerden Diferansiyel dilim yöntemi çoklu kayma yüzeylerinde göçmeyi açıklayamamış, Kama limit denge yönteminde kritik kayma yüzeyini belirlemede yetersiz kalmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ise bu yüklemeler altında zeminin gerçek davranışını belirlemektedir **[10],[11]**.

2.3 TBDY 2018'e göre hesap esasları

Konsol istinat duvarlarının yüklemeler altında işlevlerini kaybetmemeleri için servis yükü ve göçme yükü altında analizleri yapılmalıdır. Bu yapıların sismik performansı statik ve deprem kaynaklı oluşan sismik basınçlara bağlıdır. Tasarımlar TBDY 2018'e göre yapılmaktadır. Burada birtakım yaklaşımlar kullanılmaktadır.

En temel yaklaşım olarak Mononobe- Okabe yöntemi kullanılır. Bu yaklaşım coulomb yönteminin genişletilmiş halidir **[12]**. Deprem yükü altındaki aktif ve pasif durumlarda yatay zemin basınçlarını belirler**[13]**. Bu yöntemde deprem yükü altında yanal kuvvetin etki noktasını belirlemede yetersiz kalmaktadır. İleri analiz imkânı sunan Sonlu elemanlar yöntemi tercih edilir. Bu yöntemde zemin, zeminin daha karmaşık parametrelerini kullanan hardening soil model gibi modellenerek aşamalı yüklemeler ve suyun konumuna göre duvarın denge tahkikleri ve deformasyon seviyeleri belirlenir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bir sonlu elemanlar yazılımında seçilen önceki yazılımda tasarlanan aynı geometriler kullanılır. Burada kullanılan geoteknik yazılımda daha gelişmiş bir zemin modelinde, birden fazla rijitlik kullanmaktadır. Burada zeminin dinamik parametreleri de incelendiğinden dolayı zeminde yükleme ve boşaltmaya bağlı olarak zemin davranışını daha gerçekçi tanımlama imkânı sunmaktadır. Her iki yöntemden elde edilen toprak itkisinin dağılımı, duvardaki deplasmanlar, kesit tesirleri, güvenlik sayıları verileri üzerinden karşılaştırmalı grafikler oluşturulur **[14]**. Elde edilen verilerin hata paylarının analizleri gerçekleştirilir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yönetmelikteki hesap esasları ve seçilen mühendislik yazılımlarının seçilen parametreleri uygulama biçimleri, bu yazılımların zemin modellerini oluşturarak elde edilen bulgular sonucu hangi durumlarda yönetmelik yöntemlerinin aşırı güvenli sonuçlar verdiğini hangi durumlarda deformasyonları daha küçük kabul ettiği belirlenir.Dayanma yapılarının tasarımında piyasada sıklıkla kullanılan statik yazılımla beraber geoteknik yazılımın kullanılması sonuçların karşılaştırmalı olarak denetlenerek yapının güvenliği açısından büyük rol oynamaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Zemini yerinde tutmada sıklıkla tercih edilen konsol istinat duvarlarının tasarımında statik yükler ve sismik yükler beraber etki ettirilmektedir. Duvarın farklı deprem yer hareket düzeylerine göre tasarımları yapılmaktadır. DD1 en güvenli tasarım, DD2 standart tasarım düzeyi, DD3 depremin etkisi orta seviyede ve DD4 deprem seviyesi daha küçüktür. Duvar tasarımında zeminin farklı parametreleri seçilen statik yazılım ve geoteknik yazılımlarda kullanılarak elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılarak yapının bu yükler altında işlevini kaybetmeden servis yükleri ve göçme yükleri yapı tarafından karşılanmış olur.

KAYNAKÇA

[1] Zhang, J., Shamoto, Y., & Tokimatsu, K. (1998). Evaluation of earth pressure under any lateral deformation. Soils and foundations, 38(1), 15-33. https://doi.org/10.3208/sandf.38.15

[2] Zhang, Y. B., Chen, F. Q., Lin, Y. J., & Chen, H. B. (2022). Active earth pressure of narrow backfill against inverted T-type retaining walls rotating about the heel. KSCE Journal of Civil Engineering, 26(4), 1723-1739. https://doi.org/10.1007/s12205-022-1294-8

[3] Wang, W., Liu, X., Li, B., & Luo, H. (2022). Passive earth pressure on the retaining wall of limited-width backfill based on curvilinearly layered. KSCE Journal of Civil Engineering, 26(11), 4489-4499. https://doi.org/10.1007/s12205-022-2365-6

[4] Kloukinas, P., & Mylonakis, G. (2024). Generalized Rankine solutions for seismic earth pressures: Validity, limitations & refinements. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 179, 108502. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108502

[5] Chu, S. C. (1991). RANKINE'S ANALYSIS OF ACTIVE AND PASSIVE PRESSURES IN DRY SANDS. Soils and Foundations, 31(4), 115-120. https://doi.org/10.3208/sandf1972.31.4_115

[6] Greco, V. R. (1999). Active earth thrust on cantilever walls in general conditions. Soils and Foundations, 39(6), 65-78. https://doi.org/10.3208/sandf.39.6_65

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[7] Greco, V. R. (1999). Active earth thrust on cantilever walls in general conditions. Soils and Foundations, 39(6), 65-78. https://doi.org/10.3208/sandf.39.6_65

[8] Shiau, J. S., Augarde, C. E., Lyamin, A. V., & Sloan, S. W. (2008). Finite element limit analysis of passive earth resistance in cohesionless soils. Soils and Foundations, 48(6), 843-850. https://doi.org/10.3208/sandf.48.843

[9] Fan, C. C., & Fang, Y. S. (2010). Numerical solution of active earth pressures on rigid retaining walls built near rock faces. Computers and Geotechnics, 37(7-8), 1023-1029. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.08.004

[10] Chen, F., Lin, Y., & Li, D. (2019). Solution to active earth pressure of narrow cohesionless backfill against rigid retaining walls under translation mode. Soils and Foundations, 59(1), 151-161. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.09.010

[11] Chen, F. Q., Lin, Y. J., & Yang, J. T. (2020). Passive earth pressure of narrow cohesionless backfill against inclined rigid retaining walls under translation mode. Soils and Foundations, 60(5), 1226-1240. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.07.001

[12] Nakamura, S. (2006). Reexamination of Mononobe-Okabe theory of gravity retaining walls using centrifuge model tests. Soils and foundations, 46(2), 135-146. https://doi.org/10.3208/sandf.46.135

[13] Kamiloğlu, H. A., & Şadoğlu, E. (2019). A method for active seismic earth thrusts of granular backfill acting on cantilever retaining walls. Soils and Foundations, 59(2), 419-432. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.12.003

[14] Chen, F. Q., Lin, C., Lin, L. B., & Huang, M. (2021). Active earth pressure of narrow cohesive backfill on rigid retaining wall of rotation about the bottom. Soils and Foundations, 61(1), 95-112. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.11.002

[15] https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi

[16] https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY_2018.pdf

[17] https://gemini.google.com/app/5992281fac3cdb67?hl=tr

(Erişim tarihi: 28.09.2026)

[18] https://gemini.google.com/app/09664732022713a7?hl=tr

(Erişim tarihi: 29.09.2026)

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TÜRKİYE'DE YÜKSEK HIZLI TREN SİSTEMİNİN BİBLİYOMETRİK VE SİSTEMATİK ANALİZİ: MEVCUT ETKİLER VE YENİ KORİDOR ÖNCELİKLERİ

Samet ÇINAR Yüksek Lisans Öğrencisi
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, cnrrsamett@gmail.com - 0009-0009-9829-8186
AYŞE ÜNAL Dr. Öğr. Üyesi
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, unal.ayse@alanya.edu.tr - 0000-0002-3262-135X

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'deki yüksek hızlı tren (YHT) sisteminin ulaşım süreleri, yolcu talebi, ulaşım modu dağılımı ve gelecekteki koridor planlaması üzerindeki etkilerini literatür taraması ve bibliyometrik analiz yaklaşımıyla değerlendirmektedir. Lens.org veritabanından hedefli bir sorgu ile elde edilen 1.001 dergi makalesi, VOSviewer yazılımı kullanılarak anahtar kelime eş-oluşum analizi ile incelenmiştir. Bulgular, YHT hatlarının konvansiyonel demiryoluna kıyasla seyahat sürelerini koridora bağlı olarak yaklaşık %44–83 oranında azalttığını ve yıllık yolcu sayısının 2009–2025 döneminde yaklaşık 13 kat artarak 2025 yılında 12,17 milyona ulaştığını (en yüksek değer: 2024, 12,53 milyon) göstermektedir; literatürde de Ankara–İstanbul koridorunda ulaşım türü tercihlerinin YHT lehine değiştiği raporlanmaktadır. Ayrıca, inşaatı süren dört hızlı/yüksek hızlı demiryolu koridoru hat uzunluğu, tasarım hızı ve hedef tamamlanma yılı bakımından değerlendirilmiştir. Çalışma, mevcut literatürü bütüncül bir bakış açısıyla sentezleyerek Türkiye'de gelecekteki YHT yatırımlarının planlanmasına yönelik bilimsel ve uygulamaya dönük çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızlı tren, bibliyometrik analiz, ulaşım süresi, bölgesel erişilebilirlik, sürdürülebilir ulaşım

A BIBLIOMETRIC AND SYSTEMATIC ANALYSIS OF HIGH-SPEED RAIL SYSTEMS IN TÜRKİYE: CURRENT IMPACTS AND FUTURE CORRIDOR PRIORITIES

ABSTRACT

This study evaluates the effects of the high-speed rail (HSR) system in Türkiye on travel times, passenger demand, modal distribution, and future corridor planning through a literature review and bibliometric analysis. A total of 1,001 journal articles retrieved from the Lens.org database using a targeted search strategy were analyzed using keyword co-occurrence analysis in VOSviewer. The findings indicate that HSR lines have reduced travel times by approximately 44–83%, depending on the corridor, compared with conventional railways, and that annual passenger numbers increased approximately thirteenfold between 2009 and 2025, reaching 12.17 million in 2025 (peak: 12.53 million in 2024); the literature also reports a modal shift towards HSR along the Ankara–Istanbul corridor. In addition, four high-speed corridors under construction were evaluated in terms of route length, design speed and target completion year. By synthesizing the existing literature from a holistic perspective, this study provides both

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

scientific insights and practical implications for the planning of future HSR investments in Türkiye.

Keywords: High-speed rail, bibliometric analysis, travel time, regional accessibility, sustainable transportation

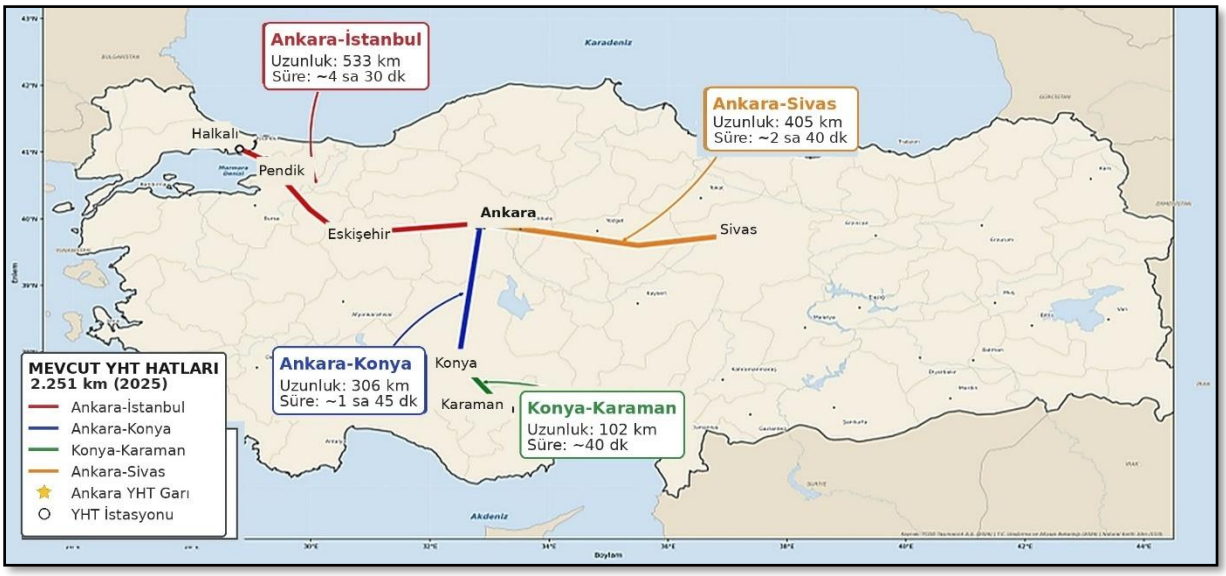
1. GİRİŞ

Ulaşım altyapısı, bölgesel kalkınmayı destekleyen, mekânsal erişilebilirliği artıran ve ekonomik büyümeyi hızlandıran en önemli kamu yatırımları arasında yer almaktadır [1]. Bu yatırımlar içerisinde yüksek hızlı demiryolu (YHD) sistemleri, seyahat sürelerini azaltması, bölgeler arası etkileşimi artırması ve sürdürülebilir ulaşımı desteklemesi nedeniyle son yıllarda dünya genelinde stratejik bir ulaşım politikası aracı hâline gelmiştir [2, 3]. Başta Japonya ve Batı Avrupa ülkeleri olmak üzere gelişmiş ekonomilerde köklü bir geçmişe sahip olan YHD sistemleri, 21. yüzyılın ilk çeyreğinde Çin'in devasa altyapı hamleleri sayesinde küresel ölçekte hız kazanmış ve UIC High-Speed Rail Atlas 2025'e göre işletme, inşaat ve planlama aşamalarındaki hatlar birlikte yaklaşık 67.700 km'ye ulaşmaktadır [4]. Bu sistemler yalnızca seyahat sürelerini kısaltmakla kalmamakta; işgücü piyasası entegrasyonunu derinleştirmekte, turizm talebini genişletmekte, arazi kullanım örüntülerini yeniden biçimlendirmekte ve kentler arası ekonomik etkileşimi yoğunlaştırmaktadır [5, 6].

Türkiye'de yüksek hızlı tren (YHT) yatırımları 2000'li yılların başından itibaren hız kazanmış, Ankara–İstanbul hızlı demiryolu projesinin Ankara–Eskişehir kesiminde yapım çalışmalarının 2003'te başlamasıyla yeni bir döneme girmiştir. TCDD Taşımacılık verilerine göre 2025 yılı sonu itibarıyla 2.032 km'si yüksek hızlı, 219 km'si hızlı demiryolu olmak üzere toplam 2.251 km'lik hatta hızlı tren işletmeciliği yapılmaktadır [7]. Bu çalışmada "YHT" ifadesi, TCDD Taşımacılık'ın hizmet adı olarak hem yüksek hızlı (250 km/sa ve üzeri) hem de hızlı (200 km/sa) demiryolu hatlarında işletilen seferleri kapsayacak biçimde kullanılmaktadır; altyapıdan söz edilirken yüksek hızlı ve hızlı demiryolu hatları ayrı ayrı belirtilmektedir. Nitekim Konya–Karaman hattı, UIC sınıflandırmasında iyileştirilmiş hat kategorisine giren 200 km/sa'lik bir hızlı demiryolu hattıdır. Bakanlık açıklamalarına göre bu uzunluğun 2027'de 4.122 km'ye, 2028'de ise 5.343 km'ye çıkarılması planlanmaktadır [8, 9].

Türkiye'de YHT üzerine gerçekleştirilen çalışmalar çoğunlukla belirli hatlar, yolcu davranışları, erişilebilirlik veya ekonomik etkiler gibi sınırlı konulara odaklanmaktadır. Buna karşın mevcut literatürü bibliyometrik analiz ile destekleyerek bütüncül biçimde değerlendiren ve inşaatı süren koridorların mevcut durumunu birlikte ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki YHT hatlarının ulaşım süresi, yolcu talebi, ulaşım modu dağılımı, bölgesel erişilebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini literatür taraması ve bibliyometrik analiz yöntemiyle bütüncül biçimde değerlendirmek ve inşaatı süren koridorları mevcut veriler ışığında tartışmaktır. Türkiye'nin mevcut YHT/HT ağı ve hatlara ait seyahat süreleri Görsel 1'de sunulmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 1. Türkiye'nin mevcut YHT/HT ağı ve başlıca seyahat süreleri (2025); kutulardaki değerler güzergâh uzunluğu, lejanttaki değer toplam hızlı/yüksek hızlı hat uzunluğudur [7, 10, 11].

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Yüksek Hızlı Demiryolu Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC), yüksek hızlı demiryolunu yeni inşa edilen hatlarda en az 250 km/sa, iyileştirilmiş mevcut hatlarda ise yaklaşık 200 km/sa (bazı durumlarda 220 km/sa) hıza uygun altyapı, araç ve işletme bileşenlerinden oluşan bütünleşik bir sistem olarak tanımlamaktadır [3, 4]. İlk YHT hattı 1964 yılında Japonya'da Tokyo–Osaka arasında hizmete girmiş ve dönemine göre devrimsel nitelikte olan saatte 210 km'lik hızıyla demiryolu ulaşımında yeni bir çağ açmıştır; günümüzde Şinkansen sistemleri 320 km/sa'e ulaşmaktadır [12]. Avrupa'da ilk YHT hattı olarak genellikle 1981'de Fransa'da Paris–Lyon arasında açılan hat (TGV, 260 km/sa) kabul edilmektedir; İtalya'da Roma–Floransa Direttissima hattının ilk kesimi ise 1977'de hizmete girmiş ve hat 1992'de tamamlanmıştır. Bunları Almanya (1991) ve İspanya (1992) izlemiştir [4]. UIC'nin tüm proje aşamalarını kapsayan 2025 verilerine göre 47.800 km'yi aşan ağıyla küresel toplamın üçte ikisinden fazlasını elinde bulunduran Çin, 2008'den itibaren gerçekleştirdiği yoğun yatırımlarla küresel ölçekte lider konuma gelmiştir [4]. Çin'in 2035 yılına kadar ağını 70.000 km'ye çıkarması hedeflenmektedir [13]. UIC'nin 2024 verilerine göre Türkiye, işletmedeki yüksek hızlı hat uzunluğu bakımından 1.232 km ile dünya genelinde altıncı sıradadır [14].

2.2. Türkiye YHT Sisteminin Teknik Altyapısı ve Araç Parkı

Türkiye YHT filosunda CAF üretimi HT65000 ve Siemens Velaro platformundaki HT80000 ailesi elektrikli tren setleri kullanılmaktadır. HT65000 serisi 250 km/sa, HT80000 serisi ise 300 km/sa azami hıza sahip olup Türkiye'nin farklı YHT hatlarında hizmet vermektedir [15, 16].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 2. TCDD HT80000 (Siemens Velaro, 300 km/sa). Kaynak: [17].



Görsel 3. TCDD HT65000 (CAF Hızlıtren, 250 km/sa) — Ankara YHT Garı. Kaynak: [18].

HT65000 serisi 6 araçlık kompozisyonuyla 419 yolcu kapasitesine sahipken, 8 araçlı Velaro TR setleri 483 yolcuya hizmet verebilmektedir. 2025 yılı sonu itibarıyla filoda toplam 31 YHT seti bulunmaktadır [7]. HT65000 setleri iki yolcu sınıfı ve kafeterya bölümüyle, HT80000 setleri ise business, birinci ve ekonomi olmak üzere üç sınıfla hizmet vermekte; her iki seride hareket kısıtlı yolcular için ayrılmış alanlar bulunmaktadır [15, 16, 19].

2.3. Türkiye'de YHT Politikasının Yasal ve Kurumsal Çerçevesi

Türkiye'de YHT yatırımları, 2003 yılından itibaren ulusal ulaşım politikalarının öncelikli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Bu süreçte Ankara merkezli olarak geliştirilen ağ zamanla Eskişehir, İstanbul, Konya, Karaman ve Sivas'a kadar genişlemiş; planlanan yatırımlar ile ağın ülke geneline yayılması hedeflenmiştir [8, 20].

Çizelge 1. Türkiye'de işletmedeki ve inşaatı süren hızlı/yüksek hızlı demiryolu hatları (* resmi açıklamalardaki hedef yıl; – resmi açıklamalarda belirtilmemiştir)

Proje	Açılış / hedef	Uzunluk (km)	Tasarım hızı (km/sa)	Durum	Kaynak
Ankara–Eskişehir	13.03.2009	245	250	İşletmede	[7]
Ankara–Konya	24.08.2011	306	250	İşletmede	[7]
Eskişehir–İstanbul	27.07.2014	286	250	İşletmede	[7]
Konya–Karaman	09.01.2022	102	200	İşletmede	[7]
Ankara–Sivas	27.04.2023	405	250	İşletmede	[7]
Ankara–İzmir	2027* / 2028*	505	–	İnşaatta	[21, 22]
Halkalı–Kapıkule	2026* / 2028*	229	200	İnşaatta	[23, 24]
Bandırma–Bursa–Osmaneli	2026* / 2028*	201	250	İnşaatta	[25]
Mersin–Adana–Gaziantep	2028*	312,5	200	İnşaatta	[26, 27]

Kaynak: Son sütunda belirtilen kaynaklardan derlenmiştir; işletmedeki hatlar için güzergâh, inşaatı süren hatlar için proje (yeni hat) uzunluğu verilmiştir; örneğin Ankara–İzmir için verilen 505 km, Polatlı sonrasındaki yeni hattın uzunluğudur. Çift hedef yıllar kesim bazındadır: Ankara–İzmir için Polatlı–Afyon / tüm hat, Halkalı–Kapıkule için Çerkezköy–Kapıkule / Halkalı–Çerkezköy, Bandırma–Bursa–Osmaneli için Osmaneli–Bursa / Bursa–Bandırma. Konya–Karaman, 200 km/sa'e uygun hızlı demiryolu hattıdır [28].

2.4. YHT ve Ulaşım Süresi: Kavramsal Çerçeve

Ulaşım coğrafyası yazınında "zaman-mekân sıkışması" (time-space compression) kavramı, altyapı yatırımlarının mekânsal mesafeyi işlevsel yakınlığa dönüştürme kapasitesini ifade

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

etmektedir [29]. YHT sistemleri bu dönüşümün en çarpıcı örneklerini sunmaktadır. Givoni [30], 300–800 km mesafe bandında YHT'nin hava taşımacılığına karşı ciddi bir pazar payı kazanabileceğini kapsamlı bir karşılaştırmalı analizle savunmuştur. Campos ve de Rus [31] ise dünyadaki YHT projelerinin inşaat ve işletme maliyetleri, talep ve zaman tasarrufu özelliklerine ilişkin stilize olguları ortaya koymuş; YHT yatırımlarının toplumsal açıdan ancak yüksek talep yoğunluğuna sahip koridorlarda gerekçelendirilebileceğini vurgulamıştır. YHT'nin işlevsel mesafeyi kısaltma kapasitesi yalnızca bireysel zaman tasarrufu boyutuyla değil, makroekonomik verimlilik açısından da ele alınmalıdır. Seyahat sürelerindeki azalma; işgücü havuzunu genişletmekte, şehirlerarası ticaret maliyetlerini düşürmekte ve yüksek katma değerli hizmet sektörlerinin mekânsal dağılımını yeniden şekillendirmektedir [6]. Bu çok boyutlu etki, YHT yatırımlarının fayda-maliyet analizlerinde salt bilet gelirinin ötesine geçen sosyo-ekonomik değerlerin hesaba katılmasını zorunlu kılmaktadır [31].

2.5. YHT ve Bölgesel Erişilebilirlik

Erişilebilirlik, bir noktadan belirli süre içinde ulaşılabilecek lokasyon kümesinin büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Gutiérrez [32], YHT'nin yarattığı erişilebilirlik değişiminin ağırlıklı olarak merkez düğümlerde yoğunlaştığını ve güzergah üzerindeki ara istasyonların görece dezavantajlı kalabileceğini potansiyel model çerçevesinde göstermiştir. Bu fenomen "tünelleme etkisi" olarak literatüre geçmiştir [33]. Yin, Bertolini ve Duan [5], yürüttükleri kapsamlı sistematik derleme ile istasyon çevrelerinin ticari canlanma ve gayrimenkul değer artışı açısından olumlu etkilendiğini saptamış; ancak bu etkinin büyüklüğünün YHT varlığının yanı sıra bütünleşik kentsel tasarım politikalarına da bağlı olduğunu vurgulamıştır. Kim ve Sultana [34], Güney Kore'de YHT ağ genişlemesinin erişilebilirliği artırdığını, ancak mekânsal eşitlik üzerindeki etkisinin genişleme aşamalarına göre farklılaştığını göstermiştir. Cavallaro, Bruzzone ve Nocera [35] ise İtalya örneğinde yeni ayrık YHT hatları ile iyileştirilmiş mevcut hatları karşılaştırarak, bölgesel erişilebilirlik kazanımlarının hat tipine ve ara istasyonlara sunulan hizmet düzeyine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, Türkiye'de YHT hizmetinden henüz yararlanamayan doğu bölgeleri için yeni hat ve iyileştirilmiş hat seçeneklerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

2.6. YHT ve Turizm Ekonomisi

YHT'nin turizm üzerindeki etkisi, özellikle son on yılda giderek zenginleşen bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Pagliara, Mauriello ve Russo [36], Regresyon Ağacı yaklaşımıyla YHT güzergahlarının turist hedef tercihlerini anlamlı ölçüde etkilediğini göstermiştir. Görçün [37], Ankara–Konya hattı özelinde anket verilerine dayanarak yürüttüğü çalışmada YHT'nin Konya'ya yönelik turizm talebini artırdığını ve yolcuların destinasyon tercihlerini etkilediğini raporlamıştır. Baş [38], Türkiye'deki tüm YHT güzergahlarını kapsayan derleme çalışmasında YHT'nin zaman tasarrufu sayesinde günübirlik turizm hareketlerini olanaklı kıldığını ve kültür turizmi destinasyonlarına erişimi kolaylaştırdığını; bununla birlikte bilet fiyatlarındaki artışların erişimi kısıtladığını ve hizmetin daha çok yüksek gelir grubunca kullanıldığını ortaya koymuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.7. YHT ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Ulaşım sektörü, küresel enerji kaynaklı CO2 emisyonlarının yaklaşık %23'ünden, toplam sera gazı emisyonlarının ise yaklaşık %15'inden sorumludur ve bu payın büyük çoğunluğu karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır [39]. Dalkic ve ark. [40], Türkiye'de iki YHT güzergahında gerçekleştirdikleri karşılaştırmalı analizde, Türkiye elektrik şebeke karışımı esas alınarak hesaplanan değerlere göre YHT'nin kişisel otomobile kıyasla kişi başına CO_2 emisyonlarını ve havayoluna kıyasla emisyonları önemli ölçüde azalttığını, iki hatta gerçekleşen modal kayma yoluyla kayda değer bir emisyon azaltımı sağlandığını hesaplamıştır. Bu bulgular, belirli hat ve varsayımlar altında YHT'nin alternatif ulaşım türlerine kıyasla daha düşük operasyonel CO2 emisyonu sağlayabildiğini göstermekle birlikte, sonuçların şebeke emisyon faktörü ve doluluk oranı varsayımlarına duyarlı olduğu dikkate alınmalıdır. Dobruszkes [41], Batı Avrupa'da kısa ve orta mesafeli havayolu güzergahlarında YHT rekabetinin havayolu arzını (sefer sıklığı ve koltuk kapasitesi) anlamlı ölçüde azalttığını ve bu etkinin YHT seyahat süresi kısaldıkça güçlendiğini göstermiştir. Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artması, YHT'nin işletme kaynaklı emisyonlarını ek altyapı yatırımı gerektirmeksizin daha da azaltma potansiyeline sahiptir; ancak bu etkinin büyüklüğü güncel şebeke emisyon faktörleriyle ayrıca hesaplanmalıdır. Avrupa Çevre Ajansı [42] da yolcu-km başına emisyonlar bakımından demiryolunun, havayolu ve otomobile kıyasla en düşük emisyonlu motorlu ulaşım türü olduğunu raporlamıştır.

2.8. YHT ve Ekonomik Kalkınma Etkileri

Cascetta ve ark. [43], İtalya'nın 10 yıllık YHT deneyimini inceleyerek YHT hizmeti alan illerde hat açılışlarını izleyen dönemde GSYH büyümesinin hizmet almayan illere kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Dünya Bankası [2] ise Çin deneyimine dayanarak YHT yatırımlarının ekonomik açıdan sürdürülebilirliğinin büyük ölçüde yüksek yolcu yoğunluğuna bağlı olduğunu vurgulamıştır. Öte yandan Yu ve ark. [44], Çin'de YHT bağlantısı kazanan çevre (periferik) illerde kişi başı GSYH'nin azaldığını bularak etkilerin her bölge için olumlu olmadığını göstermiştir. Chen ve Haynes [45], Pekin–Şanghay hattı boyunca 22 kentte yürüttükleri hedonik fiyat analizinde YHT hizmetinin orta ve küçük ölçekli kentlerde konut değerleri üzerinde belirgin bir etki yarattığını, büyük kentlerde ise etkinin ihmal edilebilir düzeyde kaldığını göstermiştir. Türkiye'de YHT bağlantısı kazanan kentlerde benzer etkilerin varlığını sınamak için kontrol gruplu karşılaştırmalı analizlere ihtiyaç vardır. Bu bulgular, YHT yatırımlarının yalnızca ulaşım altyapısını geliştirmekle kalmayıp, bölgesel ekonomik büyüme, gayrimenkul değerleri ve turizm gelirleri üzerinde de önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

2.9. Türkiye YHT Literatürü: Özgün Bağlam ve Boşluklar

Türkiye'de yüksek hızlı tren sistemine yönelik çalışmalar ağırlıklı olarak yolcu davranışları, erişilebilirlik, ulaşım politikaları ve bölgesel etkiler üzerine yoğunlaşmaktadır. Celikkol-Kocak, Dalkic ve Tuydes-Yaman [46], YHT kullanıcılarının sosyo-demografik özelliklerini inceleyerek sistemin daha çok eğitim düzeyi ve gelir seviyesi görece yüksek, iş amaçlı seyahat eden kullanıcılar tarafından tercih edildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, YHT hizmetlerinin toplumun tüm kesimlerine eşit düzeyde ulaşamadığını ve tarife ile hizmet politikalarının

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Türkiye'deki YHT politikalarını değerlendiren Solak [20], 2002 sonrası demiryolu yatırımlarının önemli bir dönüşüm sağladığını, ancak yatırım önceliklerinde karayolu ağırlığının sürmesi nedeniyle güçlü bir modal kaymanın gerçekleşmediğini belirtmiştir. Benzer şekilde Baş ve Delaplace [47], mevcut YHT ağının doğu illerine ulaşmamasının bölgeler arası sosyo-ekonomik eşitsizlikleri azaltmada önemli bir sınırlılık oluşturduğunu vurgulamıştır. Baş ve Yüzer [48] ise Konya–Ankara–İstanbul bağlantısında gerçekleştirdikleri erişilebilirlik analizinde YHT'nin kentler arası erişilebilirliği artırdığını ve yolculuk amaçlarını değiştirdiğini, ancak gelir ve otomobil sahipliği gibi ekonomik faktörlerin YHT kullanımında belirleyici olmaya devam ettiğini göstermiştir.

Bu bulgular, uluslararası literatürde rapor edilen sonuçlarla da uyumludur. Vickerman, Spiekermann ve Wegener [1], Cao ve ark. [49], Chen ve ark. [50] ile Zhang ve ark. [51], YHT yatırımlarının erişilebilirliği artırmasına rağmen bu kazanımların istasyon erişimi, ağ bütünlüğü ve bölgesel dağılım gibi faktörlere bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla yalnızca seyahat süresindeki azalma, YHT sistemlerinin etkilerini değerlendirmek için tek başına yeterli bir ölçüt değildir. Mevcut literatür incelendiğinde, Türkiye'deki çalışmaların büyük ölçüde belirli YHT hatları, kullanıcı davranışları veya erişilebilirlik analizleri üzerine yoğunlaştığı; bibliyometrik analiz ile desteklenen bütüncül bir literatür değerlendirmesinin ve inşaatı süren koridorların mevcut durumunu birlikte ele alan çalışmaların ise sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, ulusal ve uluslararası literatürü bibliyometrik analiz ve literatür taramasıyla birlikte değerlendirerek bu boşluğa katkı sunmayı ve inşaatı süren koridorları resmî veriler ışığında tartışmayı amaçlamaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye'deki yüksek hızlı tren (YHT) sistemine ilişkin literatürü değerlendirmek amacıyla literatür taraması ve bibliyometrik analiz olmak üzere birbirini tamamlayan iki araştırma yöntemi birlikte kullanılmıştır. Literatür taraması ile YHT'nin ulaşım süresi, erişilebilirlik, yolcu talebi, çevresel sürdürülebilirlik ve bölgesel kalkınma üzerindeki etkileri nitel olarak değerlendirilirken; bibliyometrik analiz ile uluslararası literatürde öne çıkan araştırma eğilimleri, kavramsal yapı ve anahtar araştırma temaları nicel olarak ortaya konulmuştur. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, hem mevcut bilgi birikiminin yapılandırılmış biçimde sentezlenmesine hem de araştırma alanının bilimsel gelişiminin nesnel göstergelerle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Araştırma tasarımı iki katmanlıdır: Birinci katmanda uluslararası YHT literatürünün tematik yapısı bibliyometrik analizle ortaya konulmuş; ikinci katmanda bu temalar Türkiye bağlamında ulusal literatür, resmî istatistikler ve inşaatı süren projelere ilişkin resmî açıklamalar üzerinden değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bibliyometrik bulgular Türkiye'ye özgü sonuçlar olarak değil, Türkiye değerlendirmesine yön veren kavramsal çerçeve olarak yorumlanmalıdır.

3.1. Literatür Taraması

Literatür taraması; Google Scholar, Web of Science, Scopus ve DergiPark veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde "yüksek hızlı tren", "high-speed rail", "high-speed train", "travel time", "journey time", "accessibility" ve "Turkey" anahtar kelimeleri tek başına ve farklı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kombinasyonlar halinde kullanılmıştır. Çalışmaya dahil edilecek yayınların belirlenmesinde aşağıdaki ölçütler esas alınmıştır:

- Türkiye'deki YHT sistemi veya uluslararası YHT uygulamaları ile doğrudan ilişkili olması,
- ulaşım süresi, erişilebilirlik, yolcu talebi, bölgesel kalkınma veya çevresel etkilerden en az birini ele alması,
- hakemli dergide yayımlanmış makale veya uluslararası konferans bildirisi niteliğinde olması,
- 2003–2025 yılları arasında yayımlanmış olması.

Bilimsel niteliği bulunmayan haber metinleri, editoryal yazılar, kurumsal tanıtım dokümanları ve yalnızca teknik mühendislik hesaplarına odaklanan çalışmalar değerlendirme dışında bırakılmıştır. İlk taramada ulaşılan 50 yayın arasından yinelenen kayıtlar çıkarılmış, başlık ve özet incelemesinin ardından tam metin uygunluğu değerlendirilen çalışmalar incelenmiş ve sonuçta 30 yayın literatür değerlendirmesine dahil edilmiştir. Kavramsal çerçevenin oluşturulmasında ayrıca bu ölçütlerin dışında kalan klasik kuramsal çalışmalara (ör. [29, 32, 33]) ve resmî istatistik kaynaklarına başvurulmuştur.

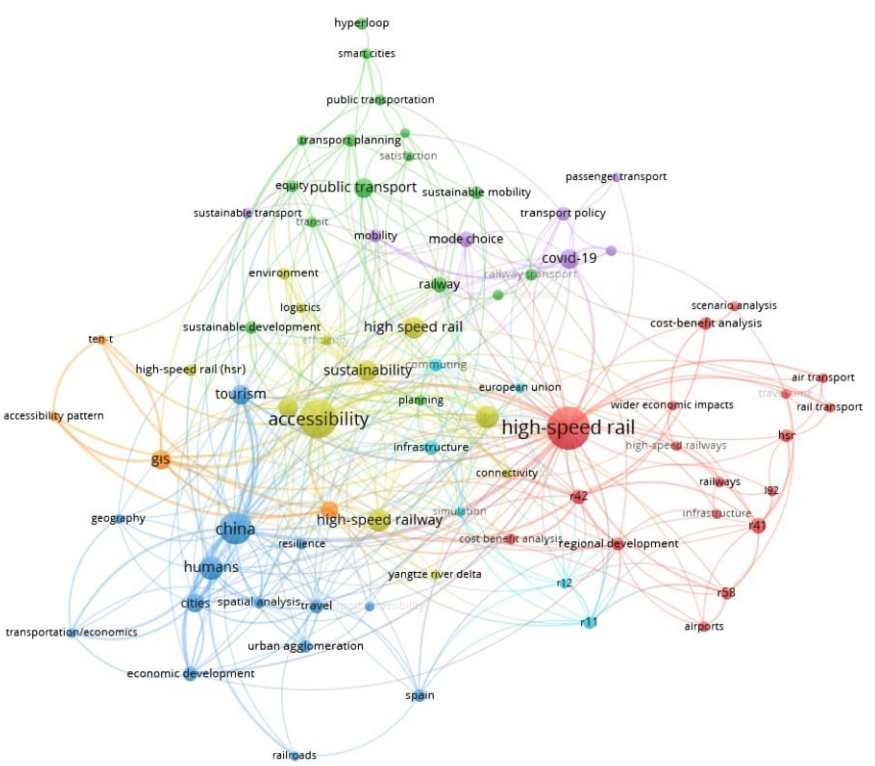
3.2. Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik analizde kullanılan veri seti, akademik yayınlar ile patent kayıtlarını birlikte indeksleyen Lens.org veri tabanından elde edilmiştir. Veri toplama sürecinde aşağıdaki sorgu kullanılmıştır:

("high-speed rail" OR "high-speed train*" OR "YHT") AND ("travel time" OR "journey time" OR "time savings") AND ("Turkey" OR "accessibility")*

Sorgu, çalışmanın odak noktası olan seyahat süresi ve erişilebilirlik boyutunu YHT literatürüyle kesiştirecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak sorgunun ("Turkey" OR "accessibility") bileşeni nedeniyle veri seti Türkiye'ye özgü olmayıp uluslararası YHT–erişilebilirlik literatürünü temsil etmektedir; bu durum bulguların yorumlanmasında bir sınırlılık olarak dikkate alınmalıdır. Tarama sonucunda ulaşılan kayıtlar arasından yalnızca dergi makaleleri seçilmiş, tam kayıt bilgisine (başlık, özet, anahtar kelimeler ve yayın yılı) sahip 1.001 dergi makalesi analiz kapsamına alınmıştır. Veriler CSV formatında dışa aktarılmış ve VOSviewer 1.6.20 yazılımı kullanılarak yazar anahtar kelimelerine dayalı eş-oluşum analizi gerçekleştirilmiştir [52]. Analizde tam sayım (full counting) yöntemi benimsenmiş, minimum beş kez tekrar eden 77 anahtar kelime değerlendirilmiş ve toplam 7 araştırma kümesi belirlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 4. Anahtar kelime eş-oluşum ağı (Lens.org, n=1.001; VOSviewer 1.6.20).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bibliyometrik Analiz Bulguları

Bibliyometrik analiz sonucunda elde edilen anahtar kelime eş-oluşum ağı, yüksek hızlı tren (YHT) literatürünün temel araştırma eğilimlerini ve kavramsal yapısını ortaya koymaktadır. Görsel 4'te sunulan ağ görselleştirmesinde düğüm büyüklüğü anahtar kelimelerin kullanı sıklığını, düğümler arasındaki bağlantılar ise kavramlar arasındaki ilişki düzeyini göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre "high-speed rail", "accessibility", "high-speed railway", "travel time" ve "China" en yüksek bağlantı gücüne sahip anahtar kelimeler olarak öne çıkmıştır. Bu durum, uluslararası literatürde YHT çalışmalarının ağırlıklı olarak erişilebilirlik, seyahat süresi ve bölgesel etkiler üzerine yoğunlaştığını göstermektedir.

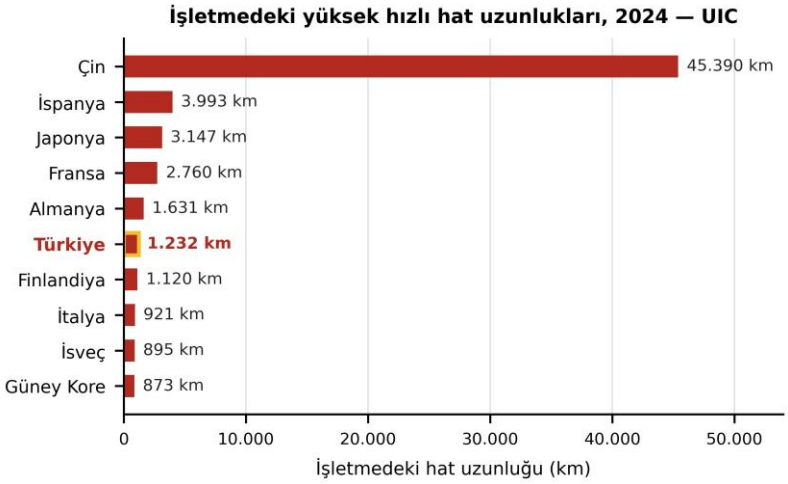
VOSviewer analizi sonucunda 77 anahtar kelime 7 araştırma kümesi altında gruplanmıştır. Aşağıdaki küme adları VOSviewer tarafından otomatik olarak üretilmemiş olup her kümede öne çıkan anahtar kelimelere dayanan yazar yorumlarıdır. En büyük küme olan Küme 1 ("high-speed rail", "travel time", "cost-benefit analysis", "wider economic impact"), YHT yatırımlarının ekonomik etkileri, maliyet-fayda analizleri ve ulaşım performansına odaklanan çalışmaları temsil etmektedir. Küme 2 sürdürülebilir ulaşım ve ulaşım planlaması ("public transport", "sustainable mobility", "service quality"), Küme 3 ise bölgesel erişilebilirlik, mekânsal analiz ve turizm ("China", "Spain", "tourism", "spatial analysis") temalarını içermektedir. Küme 4 erişilebilirlik ve ağ bağlanabilirliği, Küme 5 COVID-19 sonrası hareketlilik ve ulaşım politikaları, Küme 6 Avrupa Birliği ülkelerinde işe gidiş-geliş ve altyapı planlaması, Küme 7 ise CBS tabanlı erişilebilirlik modellemeleri üzerine yoğunlaşmaktadır. "COVID-19", "travel behavior" ve "hyperloop" gibi görece yeni kavramların ağda yer alması,

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

alanın pandemi sonrası hareketlilik ve yeni nesil yüksek hızlı ulaşım teknolojilerine yöneldiğini göstermektedir. Genel olarak bibliyometrik bulgular, YHT literatürünün seyahat süresi kazanımlarının ötesinde erişilebilirlik, sürdürülebilir ulaşım, ekonomik kalkınma ve bölgesel planlama gibi çok boyutlu temalara odaklandığını ortaya koymaktadır.

4.2. Uluslararası Karşılaştırma

UIC verilerine göre 2024 yılı itibarıyla Türkiye, işletmedeki 1.232 km'lik yüksek hızlı hat uzunluğuyla Çin, İspanya, Japonya, Fransa ve Almanya'nın ardından gelmektedir (Görsel 5) [14]. İşletmedeki hat uzunluğu bakımından Almanya'nın (1.631 km) gerisinde olmakla birlikte, yüzölçümü dikkate alındığında Türkiye'nin 1.000 km² başına düşen yüksek hızlı hat yoğunluğu (yaklaşık 1,6 km) Fransa'nın (yaklaşık 5,0 km) %31'i civarındadır. Ulusal kaynaklarda 2025 sonu için verilen 2.032 km'lik yüksek hızlı hat uzunluğu esas alındığında bu oran yaklaşık %52'ye yükselmektedir [7]; iki değer arasındaki fark, hat sınıflandırmasında kullanılan tanım farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da mevcut ağın, ülke geneline yayılım açısından hâlen önemli bir büyüme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.



Görsel 5. Ülkelere göre işletmedeki yüksek hızlı hat uzunlukları (km), 2024 (UIC verileri) [14].

4.3. Seyahat Süresi Kazanımları

YHT hatlarının seyahat sürelerine etkisi Çizelge 2'de özetlenmiştir. YHT öncesinde Eskişehir–Afyonkarahisar üzerinden yaklaşık 10 saat 30 dakika süren Ankara–Konya demiryolu yolculuğu 1 saat 45 dakikaya [53, 54], yaklaşık 12 saat süren Ankara–Sivas yolculuğu ise yaklaşık 2 saat 40 dakikaya inmiştir [11, 55]. Buna göre koridora bağlı olarak seyahat sürelerinde yaklaşık %44 ile %83 arasında azalma sağlanmış; en yüksek kazanım, konvansiyonel hattın dolaylı bir güzergâh izlediği Ankara–Konya koridorunda gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Konvansiyonel tren ve YHT seyahat sürelerinin karşılaştırılması

Koridor	Konvansiyonel tren	YHT / hızlı tren	Azalma
Ankara–Konya	~10 sa 30 dk	~1 sa 45 dk	%83
Ankara–Sivas	~12 sa	~2 sa 40 dk	%78
Ankara–İstanbul	~8 sa	~4 sa 30 dk	~%44
Konya–Karaman	~1 sa 13 dk	~40 dk	%45

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Kaynak: Ankara–Konya [53, 54]; Ankara–Sivas [11, 55]; Ankara–İstanbul konvansiyonel süre [54], YHT süresi [11]; Konya–Karaman [28]. Konvansiyonel süreler, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı açıklamalarında YHT öncesi için verilen değerlerdir.

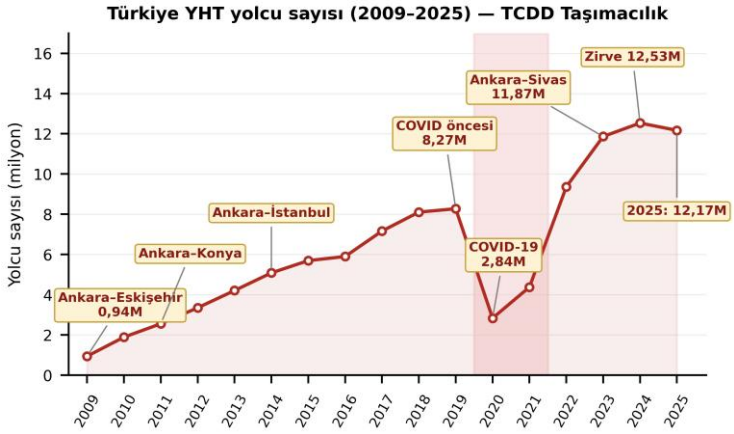
4.4. Türkiye YHT Ağının Büyümesi

Türkiye'de yüksek hızlı tren işletmeciliği 13 Mart 2009'da Ankara–Eskişehir hattıyla başlamıştır. Ağ; 2011'de Ankara–Konya, 2014'te Ankara–İstanbul ve Konya–İstanbul YHT hizmetlerinin başlaması, 2019'da Marmaray bağlantısıyla seferlerin Söğütlüçeşme ve Halkalı'ya uzatılması, 2022'de Konya–Karaman ve 2023'te Ankara–Sivas hatlarının hizmete alınmasıyla genişlemiştir [7]. Böylece 2025 yılı sonu itibarıyla 2.032 km'si yüksek hızlı, 219 km'si hızlı demiryolu olmak üzere toplam 2.251 km'lik bir ağa ulaşılmıştır [7]. Ağdaki en belirgin genişleme, yaklaşık 405 km uzunluğundaki Ankara–Sivas hattının 27 Nisan 2023'te hizmete alınmasıyla gerçekleşmiş; 4 Mayıs 2024'te ise İstanbul–Sivas arasında doğrudan YHT hizmeti başlamıştır [7]. Her yeni güzergâh toplam yolcu sayısına belirgin bir katkı sağlamış; 2025 yılında 12,17 milyon yolcunun yaklaşık yarısı (6,10 milyon) Ankara–İstanbul güzergâhında taşınmıştır [7]. Bu gelişim, Türkiye'nin son yıllarda yüksek hızlı demiryolu yatırımlarına öncelik verdiğini ve YHT hizmetini ülke geneline yayma hedefi doğrultusunda önemli ilerleme kaydettiğini göstermektedir.

4.5. Yolcu Talebine Yansımaları

YHT hatlarının işletmeye alınmasıyla birlikte yolcu talebinde belirgin bir artış gerçekleşmiştir. 2009 yılında 942 bin olan yıllık yolcu sayısı, 2019 yılında 8,27 milyona ulaşarak on yıllık süreçte yaklaşık 8,8 kat artmıştır. COVID-19 salgını nedeniyle 2020 yılında yolcu sayısı 2,84 milyona gerilemiş olsa da, sonraki yıllarda hızlı bir toparlanma yaşanmıştır. Özellikle Ankara–Sivas hattının hizmete girmesiyle birlikte yolcu sayısı 2023 yılında 11,87 milyona, 2024 yılında ise 12,53 milyon ile en yüksek değerine ulaşmış; 2025 yılında %3 gerileyerek 12,17 milyon olarak gerçekleşmiştir (Görsel 6) [7]. Yolcu sayılarındaki bu artış, ağın yeni koridorlarla genişlemesi (arz etkisi) ile seyahat süresi ve hizmet kalitesindeki iyileşmelerin birlikte bir sonucudur; ağ genişlemesinin etkisi ayrıştırılmadan artışın tamamı seyahat süresi kazanımlarına atfedilemez. Nitekim Baş [38], YHT öncesi ve sonrası ulaşım türü dağılımını karşılaştırarak Ankara–İstanbul dahil incelenen koridorlarda otobüs payının gerilediğini ve dağılımın YHT lehine değiştiğini raporlamıştır. Bu tablo, seyahat süresi kazanımlarının yolcu talebini artırdığını gösteren uluslararası çalışmalarla uyumludur [30]; Türkiye'deki YHT literatüründe de ulaşım tercihlerinde YHT lehine modal değişimler raporlanmıştır [38, 46]. Ancak bu çalışma bir ulaşım türü seçim modeli içermediğinden, söz konusu değişimlerin büyüklüğüne ilişkin nedensel bir çıkarım yapılmamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 6. YHT yolcu sayısının yıllara göre değişimi (2009–2025) [7].

4.6. Ekonomik ve Bölgesel Kalkınma Etkileri

Ulaşım kazanımlarının ötesinde, YHT'nin bölgesel ekonomiye etkilerine ilişkin kanıtlar karışıktır. Türkiye'de Ankara–Konya hattının Konya'ya yönelik turizm talebini artırdığı anket verileriyle raporlanmış [37]; ancak kent ölçeğindeki demografik ve ekonomik etkilere ilişkin nedensel bir çıkarım için kontrol gruplu analizlere ihtiyaç vardır. Uluslararası literatürde İtalya'da YHT hizmeti alan illerde daha yüksek GSYH büyümesi [43] ve Çin'de orta ve küçük ölçekli kentlerde konut değeri artışları [45] raporlanırken, Çin'in çevre bölgelerinde olumsuz ekonomik etkiler de gözlenmiş [44] ve YHT'nin ekonomik sürdürülebilirliğinin yüksek yolcu yoğunluğuna bağlı olduğu vurgulanmıştır [2]. Bu nedenle YHT projelerinin değerlendirilmesinde doğrudan ulaşım kazanımlarının yanı sıra bölgeye göre farklılaşan uzun dönemli sosyo-ekonomik etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye'deki yüksek hızlı tren sisteminin ulaşım performansı, bölgesel erişilebilirlik ve sürdürülebilir ulaşım üzerindeki etkileri literatür taraması ve bibliyometrik analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bibliyometrik analiz sonuçları, uluslararası literatürde yüksek hızlı tren araştırmalarının ağırlıklı olarak erişilebilirlik, seyahat süresi, sürdürülebilir ulaşım, bölgesel kalkınma ve ekonomik etkiler temaları etrafında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca son yıllarda COVID-19 sonrası hareketlilik, ulaşım davranışları ve hyperloop gibi yeni nesil ulaşım teknolojilerinin literatürde giderek daha fazla önem kazandığı belirlenmiştir. Literatür incelemesi sonucunda, Türkiye'de işletmeye alınan YHT hatlarının yolcu talebinde 2009–2025 döneminde yaklaşık 13 kat artış sağladığı ve YHT/HT ağının 2025 sonunda 2.251 km'ye ulaştığı görülmüştür. Ayrıca Türkiye örneğinde yapılan çalışmalar, belirli hat ve varsayımlar altında YHT'nin alternatif ulaşım türlerine kıyasla daha düşük operasyonel CO_2 emisyonu sağlayabildiğini göstermektedir.

Çalışmada değerlendirilen mevcut ağ yapısı, YHT yatırımlarının büyük ölçüde Ankara merkezli geliştiğini; Karadeniz ve Doğu Anadolu başta olmak üzere mevcut ve inşaat hâlindeki ağın dışında kalan bölgelerde ise erişilebilirlik açısından önemli boşlukların bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, Çizelge 1'de sunulan ve inşaatı süren yeni hatların (Ankara–İzmir, Halkalı–Kapıkule, Bandırma–Bursa–Osmaneli ve Mersin–Adana–Gaziantep)

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

tamamlanmasının Ege, Marmara ve Güneydoğu Anadolu'nun bazı kesimlerinde bölgesel erişilebilirliği artırması beklenmektedir; ancak bu hatların Karadeniz ve Doğu Anadolu'daki erişilebilirlik boşluklarını gidermesi beklenmemektedir. Bu bölgelere yönelik olası koridorların önceliklendirilmesi ve uygulanabilirliği ayrıntılı talep tahminleri, mühendislik etütleri ve fayda-maliyet analizleriyle ele alınmalıdır.

Çalışmanın başlıca sınırlılıkları, bibliyometrik analizin tek bir veri tabanına (Lens.org) ve Türkiye'ye özgü olmayan bir sorguya dayanması, koridor değerlendirmesinin nicel bir talep ya da fayda-maliyet modeline değil resmî açıklamalara dayanması ve konvansiyonel seyahat sürelerinin resmî açıklamalardaki yuvarlanmış değerlerden alınmasıdır. Gelecek çalışmalarda birden fazla veri tabanıyla PRISMA uyumlu sistematik tarama, km başına yolcu gibi normalize göstergeler ve çok kriterli karar yöntemleriyle koridor önceliklendirmesi yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Vickerman, R., Spiekermann, K. ve Wegener, M., Accessibility and economic development in Europe, Regional Studies, 33(1), 1–15, 1999.

[2] Lawrence, M., Bullock, R. ve Liu, Z., China's High-Speed Rail Development, International Development in Focus, World Bank, Washington DC, 2019.

[3] UIC, *High Speed Rail: Fast Track to Sustainable Mobility*, UIC, Paris, 2020. https://uic.org (Erişim tarihi: 10.09.2026)

[4] UIC, *Atlas – High-Speed Rail 2025*, International Union of Railways, Paris, 2025. https://uic.org/com/enews/article/publication-of-the-uic-high-speed-rail-atlas-2025-edition (Erişim tarihi: 22.09.2026)

[5] Yin, M., Bertolini, L. ve Duan, J., The effects of the high-speed railway on urban development: International experience and potential implications for China, Progress in Planning, 98, 1–52, 2015.

[6] Bröcker, J. ve Mercenier, J., General equilibrium models for transportation economics, *A Handbook of Transport Economics*, de Palma, A., Lindsey, R., Quinet, E. ve Vickerman, R. (Ed.), Edward Elgar, Cheltenham, 21–45, 2011.

[7] TCDD Taşımacılık A.Ş., 2025 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara, 2026. https://adminapi.tcddtasimacilik.gov.tr/files/pdfs/Faaliyet%20Raporu%202025.pdf (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[8] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, *Ulaştırma Raporları ve Proje Bilgileri*, 2026. https://www.uab.gov.tr (Erişim tarihi: 15.09.2026)

[9] Anadolu Ajansı, Türkiye'deki hızlı tren hat uzunluğu 3 yılda katlanacak, 2024. https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiyedeki-hizli-tren-hat-uzunlugu-3-yilda-katlanacak/3437014 (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[10] TCDD Taşımacılık A.Ş., *Yıllık Seyahat İstatistikleri Raporu*, 2026. https://www.tcddtasimacilik.gov.tr (Erişim tarihi: 15.09.2026)

[11] Anadolu Ajansı, YHT'ler bugüne kadar 106 milyon yolcu taşıdı, Ocak 2026. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/yhtler-bugune-kadar-106-milyon-yolcu-tasidi/3794511 (Erişim tarihi: 26.09.2026)

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[12] Takatsu, T., The history and future of high-speed railways in Japan, Japan Railway & Transport Review, 48, 6–21, 2007.

[13] China State Railway Group Co., Ltd., *Outline of the Plan for Advancing Railway Development in the New Era*, Pekin, 2020.

[14] UIC, High-Speed Data and Atlas: High-speed lines in the world (işletmedeki hat uzunlukları, 2024), International Union of Railways, Paris, 2024. https://uic.org/passenger/highspeed/article/high-speed-data-and-atlas (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[15] CAF, High speed trains for TCDD (Turkey), proje sayfası, Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, Beasain. https://www.caf.net/en/soluciones/proyectos/proyecto-detalle.php?p=24 (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[16] Siemens Mobility, Velaro Turkey High-Speed Train for TCDD (ürün bilgi föyü), Siemens AG, Erlangen. https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0e1ccf29-d0bf-468e-a9c6-2722aea68261/datasheet-velaro-tr-e.pdf (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[17] Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Treni, Vikipedi, 2026. https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara-Sivas_Y%C3%BCksek_H%C4%B1zl%C4%B1_Treni (Erişim tarihi: 22.08.2026)

[18] TCDD Taşımacılık HT65000 at Ankara Tren Gari.jpg, Vikipedi, 2026. https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:TCDD_Ta%C5%9F%C4%B1mac%C4%B1l%C4%B1k_HT65000_at_Ankara_Tren_Gari.jpg (Erişim tarihi: 22.08.2026)

[19] Railway Technology, Ankara–Istanbul High-Speed Railway, Turkey. https://www.railway-technology.com/?p=12195 (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[20] Solak, A. O., Rail policies in Turkey after 2002: Is there a modal shift?, Competition and Regulation in Network Industries, 23(3), 229–242, 2022. https://doi.org/10.1177/17835917221112104

[21] T.C. Afyonkarahisar Valiliği, Bakan Uraloğlu: Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Afyonkarahisar kesimini yıl sonuna kadar tamamlamayı hedefliyoruz, 2026. https://www.afyonkarahisar.gov.tr/bakan-uraloglu-ankara-izmir-yuksek-hizli-tren-hatti-afyonkarahisar-kesimini-yil-sonuna-kadar-tamamlamayi-hedefliyoruz (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[22] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2 bin 171 proje, toplam 5,2 trilyon lira yatırım, Kasım 2025. https://www.uab.gov.tr/haberler/2-bin-171-proje-toplam-5-2-trilyon-lira-yatirim (Erişim tarihi: 28.09.2026)

[23] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Halkalı-Kapıkule arası hızlı trenle 1,5 saate düşecek, 06.06.2026. https://www.uab.gov.tr/haberler/halkali-kapikule-arasi-hizli-trenle-1-5-saate-duesecek/ (Erişim tarihi: 28.09.2026)

[24] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Bakan Uraloğlu 'Halkalı-Kapıkule Hızlı Tren Projesi' için tarih verdi, 2024. https://www.uab.gov.tr/haberler/bakan-uraloglu-halkali-kapikule-hizli-tren-projesi-icin-tarih-verdi-cerkezkoy-kapikule-arasi-2025-sonunda-bitecek (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[25] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Bir il daha yüksek hızlı trene kavuşuyor, 2026. https://www.uab.gov.tr/haberler/bir-il-daha-yueksek-hizli-trene-kavusuyor/ (Erişim tarihi: 28.09.2026)

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[26] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Gaziantep, Mersin Limanı'na yüksek hızda bağlanacak, 2026. https://www.uab.gov.tr/haberler/gaziantep-mersin-limani-na-yueksek-hizda-baglanacak/ (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[27] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Mersin-Adana-Osmaniye-Gaziantep Hızlı Tren Hattı projesi, 2023. https://www.uab.gov.tr/haberler/mersin-adana-osmaniye-gaziantep-hizli-tren-hatti-projesi (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[28] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Konya-Karaman-Ulukışla hızlı tren seferlerine haziran ayında başlıyoruz, 2021. https://www.uab.gov.tr/haberler/konya-karaman-ulukisla-hizli-tren-seferlerine-haziran-ayinda-basliyoruz (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[29] Harvey, D., *The Condition of Postmodernity*, Blackwell, Oxford, 1989.

[30] Givoni, M., Development and impact of the modern high-speed train: A review, Transport Reviews, 26(5), 593–611, 2006.

[31] Campos, J. ve de Rus, G., Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the world, Transport Policy, 16(1), 19–28, 2009.

[32] Gutiérrez, J., Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid–Barcelona–French border, Journal of Transport Geography, 9(4), 229–242, 2001.

[33] Blum, U., Haynes, K. E. ve Karlsson, C., The regional and urban effects of high-speed trains, The Annals of Regional Science, 31(1), 1–20, 1997.

[34] Kim, H. ve Sultana, S., The impacts of high-speed rail extensions on accessibility and spatial equity changes in South Korea from 2004 to 2018, Journal of Transport Geography, 45, 48–61, 2015.

[35] Cavallaro, F., Bruzzone, F. ve Nocera, S., Effects of high-speed rail on regional accessibility, Transportation, 50(5), 1685–1721, 2023. https://doi.org/10.1007/s11116-022-10291-y

[36] Pagliara, F., Mauriello, F. ve Russo, L., A regression tree approach for investigating the impact of high speed rail on tourists' choices, Sustainability, 12(3), 910, 2020.

[37] Görçün, Ö. F., Impacts of high-speed trains on tourism development: A case study of Ankara–Konya high speed rail lines, Journal of Tourism Theory and Research, 4(1), 21–28, 2018. https://doi.org/10.24288/jttr.369916

[38] Baş, A., High-speed railway: A catalyzer for increasing the tourism activity and income – Evidence from Turkish high-speed railway, IntechOpen, 2024. https://doi.org/10.5772/intechopen.1007100

[39] IPCC, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Bölüm 10: Transport, Cambridge University Press, Cambridge, 2022.

[40] Dalkic, G., Balaban, O., Tuydes-Yaman, H. ve Celikkol-Kocak, T., An assessment of the CO_2 emissions reduction in high-speed rail lines: Two case studies from Turkey, Journal of Cleaner Production, 165, 746–761, 2017.

[41] Dobruszkes, F., High-speed rail and air transport competition in Western Europe: A supply-oriented perspective, Transport Policy, 18(6), 870–879, 2011.

[42] European Environment Agency, *Transport and Environment Report 2020: Train or Plane?*, EEA Report No 19/2020, 2020.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[43] Cascetta, E., Cartenì, A., Henke, I. ve Pagliara, F., Economic growth, transport accessibility and regional equity impacts of high-speed railways in Italy: Ten years ex post evaluation and future perspectives, Transportation Research Part A, 139, 412–428, 2020.

[44] Yu, F., Lin, F., Tang, Y. ve Zhong, C., High-speed railway to success? The effects of high-speed rail connection on regional economic development in China, Journal of Regional Science, 59(4), 723–742, 2019. https://doi.org/10.1111/jors.12420

[45] Chen, Z. ve Haynes, K. E., Impact of high speed rail on housing values: An observation from the Beijing–Shanghai line, Journal of Transport Geography, 43, 91–100, 2015.

[46] Celikkol-Kocak, T., Dalkic, G. ve Tuydes-Yaman, H., High-Speed Rail (HSR) users and travel characteristics in Turkey, Procedia Engineering, 187, 212–221, 2017.

[47] Baş, A. ve Delaplace, M., Social and spatial equity/equality in relation to high-speed trains: Lessons from Turkey's high-speed train experience, Transportation Research Record, 2677(8), 291–310, 2023. https://doi.org/10.1177/03611981231156592

[48] Baş, A. ve Yüzer, M. A., Impact of high speed railway systems on inter-regional trips and accessibility in Turkey, A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 17(2), 101–111, 2020. https://doi.org/10.5505/itujfa.2020.17136

[49] Cao, J., Liu, X. C., Wang, Y. ve Li, Q., Accessibility impacts of China's high-speed rail network, Journal of Transport Geography, 28, 12–21, 2013.

[50] Chen, C. L., Loukaitou-Sideris, A., de Ureña, J. M. ve Vickerman, R., Spatial short and long-term implications and planning challenges of high-speed rail: A literature review framework for the special issue, European Planning Studies, 27(3), 415–433, 2019.

[51] Zhang, X., Loo, B. P. Y., Wang, L. ve Wei, S., Disparities in high-speed rail accessibility in the Yangtze River Delta, China: A door-to-door travel time perspective, Research in Transportation Business & Management, 59, 101308, 2025. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101308

[52] van Eck, N. J. ve Waltman, L., Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping, Scientometrics, 84(2), 523–538, 2010.

[53] Memurlar.net, Ankara-Konya hızlı treni iki gün sonra sefere başlıyor, 22.08.2011. https://www.memurlar.net/haber/203495/ankara-konya-hizli-treni-iki-gun-sonra-sefere-basliyor-video.html (Erişim tarihi: 22.09.2026)

[54] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ülkemiz 14 yıl önce YHT ile tanıştı, Mart 2023. https://sgb.uab.gov.tr/haberler/ulastirma-ve-altyapi-bakanligi-ulkemiz-14-yil-once-yht-ile-tanisti (Erişim tarihi: 26.09.2026)

[55] Ekonomist (AA), Ankara-Sivas Hızlı Treni ile 20 günde 70 bin yolcu seyahat etti, Mayıs 2023. https://www.ekonomist.com.tr/haberler/ankara-sivas-hizli-treni-ile-20-gunde-70-bin-yolcu-seyahat-etti-41268 (Erişim tarihi: 26.09.2026)

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇOCUKLARIN GELİŞİM ALANLARINA ETKİLERİ

Çocuk Gelişimci ve Y.L. Öğrencisi Ümran TURHAN – ORCID ID: 0009-0002-1013-7476

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, umranturhan53@gmail.com,

Doç. Dr. Özlem YILMAZ DEMİREL

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, ozlemyilmaz@kmu.edu.tr – ORCID ID: 0000-0001-9999-1120

Özet

İklim değişikliği, çocuk sağlığını tehdit eden en önemli küresel krizlerden biri olarak Türkiye'de giderek artan etkilerini göstermektedir. Çocukların henüz tamamlanmamış büyüme ve gelişme süreçleri, çevresel tehditlere karşı sınırlı fizyolojik savunma mekanizmaları ve sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikler, onları iklim kaynaklı risklere karşı en kırılgan grup haline getirmektedir (Genç & Akarsu, 2025; WHO, 2023). Bu çalışmada Türkiye'de iklim değişikliğinin çocuklarda yarattığı fiziksel etkiler incelenmiştir. Artan hava kirliliği ve sıcak hava dalgaları, astım ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının sıklığını artırmaktadır (Akşit & Çelik, 2022). Sel ve taşkınlar, su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak ishal ve tifo gibi bulaşıcı hastalıkların görülme sıklığını yükseltmektedir (UNICEF Türkiye, 2024). Kuraklık ve tarımsal verim kaybı, çocuklarda malnütrisyon ve büyüme-gelişme sorunlarını tetiklemektedir (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). Ayrıca sıcak hava dalgaları sıvı kaybı, ısı çarpması ve kardiyovasküler stres riskini artırmaktadır (Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2026).

Anahtar Kelimeler

İklim değişikliği, çocuk sağlığı, solunum yolu hastalıkları, bulaşıcı hastalıklar, beslenme bozuklukları, Türkiye

The Effects of Climate Change on Children's Developmental Areas in Türkiye

Abstract

Climate change is increasingly manifesting its effects in Türkiye as one of the most significant global crises threatening child health. Children's incomplete growth and developmental processes, limited physiological defense mechanisms against environmental threats, and inequalities in access to health services make them the most vulnerable group to climate-related risks (Genç & Akarsu, 2025; WHO, 2023). This study examines the physical impacts of climate change on children in Türkiye. Rising air pollution and heat waves increase the prevalence of

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

respiratory diseases such as asthma and bronchitis (Akşit & Çelik, 2022). Floods and inundations contaminate water sources, leading to a higher incidence of infectious diseases such as diarrhea and typhoid (UNICEF Türkiye, 2024). Drought and agricultural yield loss trigger malnutrition and growth-development problems in children (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). In addition, heat waves increase the risk of fluid loss, heat stroke, and cardiovascular stress (Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2026).

Keywords

Climate change, child health, respiratory diseases, infectious diseases, malnutrition, Türkiye

Giriş

İklim değişikliği, çocuk sağlığını tehdit eden en ciddi küresel krizlerden biridir. Türkiye'de artan sıcaklıklar, kuraklık, sel ve orman yangınları gibi ekstrem hava olayları çocukların fiziksel sağlıklarını doğrudan etkilemektedir. Çocukların henüz tamamlanmamış büyüme ve gelişme süreçleri, çevresel tehditlere karşı sınırlı fizyolojik savunma mekanizmaları ve sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikler, onları iklim değişikliğine bağlı risklere karşı en kırılgan grup haline getirmektedir (Genç & Akarsu, 2025).

Türkiye'de artan sıcaklıklar, kuraklık, sel ve orman yangınları gibi ekstrem hava olayları çocukların fiziksel sağlıklarını doğrudan etkilemektedir. Çocukların henüz tamamlanmamış büyüme ve gelişme süreçleri, çevresel tehditlere karşı sınırlı fizyolojik savunma mekanizmaları ve sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikler, onları iklim değişikliğine bağlı risklere karşı en kırılgan grup haline getirmektedir (Genç & Akarsu, 2025).

Solunum Yolu Hastalıkları: Artan hava kirliliği ve sıcak hava dalgaları, astım ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının sıklığını artırmaktadır (WHO, 2023). Çocuklarda akciğer gelişimi tamamlanmadığı için bu etkiler daha ağır seyretmektedir (Akşit & Çelik, 2022).

Bulaşıcı Hastalıklar: Sel ve taşkınlar, su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak ishal ve tifo gibi su kaynaklı hastalıkların görülme sıklığını artırmaktadır (UNICEF Türkiye, 2021). Ayrıca sıcaklık artışı, sivrisinek kaynaklı enfeksiyonların yayılımını kolaylaştırmaktadır (WHO, 2023).

Beslenme ve Büyüme Sorunları: Kuraklık ve tarımsal verim kaybı, gıda güvencesizliğini artırarak çocuklarda malnütrisyon ve bodurluk riskini yükseltmektedir (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). Özellikle ilk üç yaşta yetersiz beslenme, nöromotor gelişim ve bilişsel fonksiyonlarda kalıcı hasarlara yol açabilmektedir (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023).

Ekstrem Hava Olayları: Sıcak hava dalgaları çocuklarda sıvı kaybı, ısı çarpması ve kardiyovasküler stres riskini artırmaktadır (Genç & Akarsu, 2025). Ayrıca afetler sonrası sağlık hizmetlerine erişimde yaşanan aksaklıklar, fiziksel etkileri daha da ağırlaştırmaktadır (UNICEF Türkiye, 2024).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Türkiye'den Vaka Örnekleri

2021 Antalya ve Muğla Orman Yangınları: Yangın sırasında çocuklarda solunum yolu problemleri ve akut astım krizleri rapor edilmiştir. Özellikle duman maruziyeti, çocukların akciğer gelişimini olumsuz etkilemiştir(Türk Tabipleri Birliği, 2022).

2023 Şanlıurfa ve Adıyaman Sel Felaketi: Sel sonrası çocuklarda ishal ve deri enfeksiyonları vakaları artmıştır. Su kaynaklarının kirlenmesi, çocuklarda su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olmuştur (UNICEF Türkiye, 2021).

Kuraklık ve Tarımsal Etkiler: İç Anadolu'da kuraklık nedeniyle tarımsal üretimde azalma, çocuklarda beslenme yetersizliklerini artırmıştır. Özellikle düşük gelirli ailelerde protein ve vitamin eksiklikleri gözlenmiştir (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023).

Gelişim Alanlarına Etkileri

Fiziksel Gelişim Üzerindeki Etkiler

Artan hava kirliliği ve sıcak hava dalgaları astım, bronşit ve alerjik reaksiyonların görülme sıklığını artırır (WHO, 2023). Orman yangınları sonrası partikül madde yoğunluğu çocukların akciğer gelişimini olumsuz etkiler (Türk Tabipleri Birliği, 2022). Sel ve taşkınlar sonrası su kaynaklarının kirlenmesi ishal, tifo ve hepatit gibi hastalıkların yayılmasına neden olur (UNICEF Türkiye, 2021). Kuraklık ve tarımsal verim kaybı, çocuklarda malnütrisyon, vitamin-mineral eksiklikleri ve büyüme geriliğine yol açar (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). Sıcak hava dalgaları sıvı kaybı, ısı çarpması ve kardiyovasküler stres riskini artırarak çocukların fizyolojik dayanıklılığını sınırlar (Genç & Akarsu, 2025).

Sosyal-Duygusal Gelişim Üzerindeki Etkiler

Sel, yangın ve deprem gibi iklim kaynaklı afetler çocuklarda travma, kaygı bozukluğu ve güvenlik duygusunun zedelenmesine yol açar (Yıldız & Kaya, 2020). Afet sonrası göç, ekonomik kayıplar ve işsizlik aile içi stres düzeyini yükseltir; bu da çocukların duygusal güvenliğini olumsuz etkiler (UNICEF Türkiye, 2024). Çocukların oyun alanlarının yok olması, sosyal etkileşim fırsatlarını azaltır ve sosyal becerilerin gelişimini sınırlar (Akşit & Çelik, 2022). Afet bölgelerinde çocukların psikolojik destek hizmetlerine erişimindeki yetersizlik, uzun vadeli duygusal sorunlara zemin hazırlar (Yıldız & Kaya, 2020).

Bilişsel Gelişim Üzerindeki Etkiler

Sel, yangın ve kuraklık sonrası okulların kapanması veya eğitim süreçlerinin aksaması, çocukların öğrenme sürekliliğini bozar (UNICEF Türkiye, 2024). Travmatik deneyimler ve sağlık sorunları, çocukların dikkat sürelerini ve öğrenme motivasyonlarını azaltır (WHO, 2023). Malnütrisyon, bilişsel gelişim üzerinde doğrudan etkilidir; hafıza, problem çözme ve akademik başarıyı olumsuz etkiler (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Motor Gelişim Üzerindeki Etkiler

Afetler çocukların güvenli oyun alanlarını yok eder, bu durum kaba motor becerilerin gelişimini sınırlar (Akşit & Çelik, 2022). Solunum yolu hastalıkları ve sıcak hava dalgalarının yarattığı yorgunluk, çocukların hareket kapasitesini düşürür (WHO, 2023). Malnütrisyon ve vitamin-mineral eksiklikleri kas gelişimini, kemik sağlığını ve koordinasyonu olumsuz etkiler (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). Travma ve stres yaşayan çocuklarda motivasyon kaybı, oyun ve hareketten uzaklaşma görülebilir (Yıldız & Kaya, 2020).

Dil Gelişimi Üzerindeki Etkiler

Afetler nedeniyle okulların kapanması, çocukların dil gelişiminde kritik olan sürekli öğrenme ortamlarını kesintiye uğratır (UNICEF Türkiye, 2024). Göç ve sosyal izolasyon, çocukların akranlarıyla iletişim kurma fırsatlarını azaltır (Kardaş & Öncel, 2023). Travma ve stres yaşayan çocuklarda konuşma isteksizliği ve dil kullanımında gerileme görülebilir (Yıldız & Kaya, 2020). Malnütrisyon ve vitamin-mineral eksiklikleri dil gelişimini olumsuz etkiler (Eren Tutar & Karacul, 2024). İklim kaynaklı göçler, çocukların farklı dil ve lehçelerle karşılaşmasına neden olabilir (UNICEF Türkiye, 2024).

İklim kaynaklı afetlerin çocukların tüm gelişim alanlarını olumsuz etkilediğini görülür (UNICEF Türkiye, 2024; WHO, 2023).

Genel olarak tüm gelişim alanlarına bakıldığında en çok etkilenen alanın fiziksel gelişim olduğu görülür (Genç & Akarsu, 2025; Deveci Sevim & Ünüvar, 2023).

Neden En Çok Fiziksel Gelişim Etkilenir?

- **Doğrudan Sağlık Riski:** Hava kirliliği, sıcak hava dalgaları, sel ve yangınlar çocukların solunum, bağışıklık ve kardiyovasküler sistemlerini doğrudan etkiler (WHO, 2023). Akciğer gelişimi tamamlanmadığı için bu etkiler kalıcı olabilir (Genç & Akarsu, 2025).
- **Beslenme Yetersizlikleri:** Kuraklık ve tarımsal verim kaybı, çocuklarda malnütrisyon ve büyüme geriliğine yol açar. Bu durum hem kas-iskelet sistemini hem de nöromotor gelişimi sekteye uğratır (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023).
- **Bulaşıcı Hastalıklar:** Sel ve taşkınlar sonrası su kaynaklarının kirlenmesi, çocuklarda sık enfeksiyonlara neden olur. Tekrarlayan enfeksiyonlar büyüme hızını düşürür (UNICEF Türkiye, 2021).
- **Isı ve Sıvı Dengesi:** Çocukların terleme mekanizması yetişkinlere göre daha az gelişmiş olduğundan sıcak hava dalgalarında sıvı kaybı ve ısı çarpması riski çok daha yükselir (Akşit & Çelik, 2022).

Sonuç

İklim değişikliğinin çocukların gelişim alanlarına etkileri birbirini besleyen bir döngü oluşturur (Genç & Akarsu, 2025). Fiziksel sağlık sorunları sosyal-duygusal travmaları tetikler; beslenme

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yetersizlikleri bilişsel ve dil gelişimini sekteye uğratır; oyun alanlarının kaybı motor gelişimi sınırlar (Deveci Sevim & Ünüvar, 2023). Dolayısıyla iklim değişikliğine karşı çocuk odaklı politikalar, sadece sağlık değil aynı zamanda eğitim, sosyal hizmet ve çevre planlamasıyla birlikte ele alınmalıdır (UNICEF Türkiye, 2024).

Türkiye'de iklim değişikliğinin çocuk sağlığı üzerindeki fiziksel etkileri çok yönlüdür. Solunum yolu hastalıkları, bulaşıcı hastalıklar, beslenme bozuklukları ve büyüme-gelişme sorunları, çocukların sağlıklı bir geleceğe ulaşmalarını tehdit etmektedir (Akşit & Çelik, 2022). Bu nedenle iklim değişikliğine karşı çocuk odaklı koruyucu önlemler, sağlık sisteminde eşit erişim ve çevre dostu politikaların hayata geçirilmesi kritik öneme sahiptir (Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2026). Gelecek araştırmalar, özellikle bölgesel düzeyde çocukların sağlık risklerini ve uyum mekanizmalarını incelemelidir (UNICEF Türkiye, 2024).

Çevre Dostu Politikalar İçin Öneriler

Çocuk Odaklı Sağlık Politikaları: İklim değişikliğinin çocuk sağlığı üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik özel tarama programları ve erken müdahale sistemleri kurulmalıdır.

Eğitimde İklim Sağlığı: Okullarda iklim değişikliği, çevre bilinci ve afetlerde korunma yolları müfredata eklenmelidir.

Yerel Yönetim Katılımı: Belediyeler çocukların güvenli oyun alanları, temiz suya erişim ve yeşil alanların korunması için iklim uyum projeleri geliştirmelidir.

Sürdürülebilir Enerji ve Ulaşım: Çocukların maruz kaldığı hava kirliliğini azaltmak için yenilenebilir enerji yatırımları ve çevre dostu ulaşım sistemleri teşvik edilmelidir.

Afet Yönetiminde Çocuk Perspektifi: Afet planlamalarında çocukların ihtiyaçları (barınma, beslenme, psikososyal destek) öncelikli olarak ele alınmalıdır.

Gelecek Çalışmalar İçin Araştırmacılara Öneriler

Alanlar Arası Çalışmalar: Çocuk gelişimi, psikoloji, sağlık bilimleri ve çevre mühendisliği disiplinlerini bir araya getiren multidisipliner araştırmalar yapılmalıdır.

Uzunlamasına Araştırmalar: İklim değişikliğinin çocukların gelişim alanlarına uzun vadeli etkilerini inceleyen boylamsal çalışmalar artırılmalıdır.

Yerel Vaka Analizleri: Türkiye'deki afet bölgelerinde (örneğin Antalya yangınları, Şanlıurfa seli) çocukların gelişim süreçlerine dair saha araştırmaları yapılmalıdır.

Politika Etki Analizi: Çocuk odaklı çevre politikalarının uygulanabilirliği ve etkinliği üzerine değerlendirme araştırmaları yapılmalıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Dil ve Motor Gelişim Çalışmaları: İklim kaynaklı göç, travma ve beslenme yetersizliklerinin dil ve motor gelişim üzerindeki etkilerini ölçen özel araştırmalar yapılmalıdır.

Psikososyal Müdahale Programları: Afet sonrası çocuklara yönelik oyun terapisi, dil gelişimi destek programları ve sosyal-duygusal beceri eğitimlerinin etkililiği araştırılmalıdır.

APA7 Kaynakça

- Genç, C., & Akarsu, Ö. (2025). İklim değişikliği ve çocuk sağlığı: Etkiler, önlemler ve hemşirelik yaklaşımları. SBÜ Hemşirelik Dergisi, 8(1), 87–94. https://doi.org/10.48071/sbuhemsirelik.1738358 (doi.org in Bing)
- Deveci Sevim, R., & Ünüvar, T. (2023). Climate change and growth development. In H. Aksu & Ö. B. Gürbüz (Eds.), Climate Change: Child and Adolescent Health and Mental Health (pp. 77–80). Ankara: Türkiye Klinikleri.
- Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2026). Climate assessment of Türkiye in 2025. Turkish State Meteorological Service.
- UNICEF Türkiye. (2024). Çocuklar ve iklim değişikliği: Türkiye'de riskler ve çözüm önerileri. Ankara: UNICEF Türkiye Yayınları.
- Akşit, F., & Çelik, A. (2022). *İklim değişikliğinin çocuk sağlığına etkileri: Türkiye örneği.* Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi, 65(2), 123–130.
- Eren Tutar, P., & Karacul, F. E. (2024). *Erken çocuklukta ekran maruziyetinin dil gelişimine etkisi üzerine bir derleme.* Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 15(3), 1–15.
- Kardaş, Ö., & Öncel, S. (2023). Medya maruziyetinin dil ve konuşma gelişimine etkisi. In Z. Gündoğdu (Ed.), *Çocuklarda dil ve konuşma gelişimi ve sorunlarına yaklaşım* (pp. 9–13). Ankara: Türkiye Klinikleri.
- UNICEF Türkiye. (2021). *İklim değişikliği ve çocuk hakları: Türkiye'de çocukların kırılganlığı üzerine rapor.* UNICEF Yayınları.
- World Health Organization (WHO). (2023). *Climate change and child health: Risks and responses.* Geneva: WHO Press.
- Yıldız, H., & Kaya, M. (2020). *Çocuklarda afet sonrası psikososyal destek ve gelişimsel etkiler.* Psikoloji Çalışmaları Dergisi, 40(1), 55–72.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE OPTİMAL BESLENME ANNE SÜTÜNÜN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE BİLİŞSEL/NÖROGELİŞİMSEL SÜREÇLER ÜZERİNE BİR DERLEME

Çocuk Gelişimci ve Y.L. Öğrencisi Elif ULUDAĞ
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, adigelife@gmail.com- ORCID: 0009-0001-7593-7338
Doç. Dr. Özlem YILMAZ DEMİREL
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, ozlemyilmaz@kmu.edu.tr- ORCID: 0000-0001-9999-1120

ÖZET

Bu derleme çalışması; sinaptogenez, sinaptik budama ve miyelinizasyon gibi nöral plastisite süreçlerinin en dinamik olduğu yaşamın ilk 1000 gününde optimal beslenmenin ve anne sütünün bilişsel ile nörogelişimsel mekanizmalar üzerindeki çok boyutlu etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Anne sütü; uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri dokosahekzaenoik asit [DHA], araşidonik asit [ARA], süt yağı kürecik zarı [MFGM], sfingomiyelin, kolesterol ve [HMO] insan sütü oligosakkaritleri gibi santral sinir sisteminin yapısal olgunlaşmasını doğrudan ve epigenetik mekanizmalar üzerinden destekleyen biyoaktif bileşenler içermektedir. İncelenen güncel kanıtlar; bu nöroaktif bileşenlerin aksonal miyelin biyosentezini hızlandırarak nöral iletimi ve kortikal ağ entegrasyonunu optimize ettiğini, genel bilişsel performansı [IQ], yürütücü işlevleri, alıcı/ifade edici dil edinimini ve nöromotor becerileri kuvvetlendirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte anne sütünün bağırsak mikrobiyota profilini düzenleyerek bağırsak-beyin ekseni ve immün bariyer üzerinden sistemik koruma sağladığı, ilk altı ay sadece anne sütü ve ardından iki yaş ve ötesine dek sürdürülen laktasyonun metabolik ve nörokognitif programlamada vazgeçilmez olduğu belirlenmiştir. Çalışma aynı zamanda emzirme eyleminin ten teması, hormonal regülasyon (oksitosin/prolaktin) ve duyarlı besleme (responsive feeding) pratikleri aracılığıyla anne-bebek arasında güvenli bağlanmayı ve özerkliği pekiştiren biyodavranışsal bir süreç olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak; özellikle prematüre ve nörogelişimsel risk taşıyan bebeklerde fonksiyonel izolasyonu ve gelişimsel gecikmeleri önlemek adına, çocuk gelişimi profesyonellerine beslenme ile duyusal-psikososyal uyaranların multidisipliner ve bütüncül bir erken müdahale yaklaşımıyla ele alınmasına yönelik kanıta dayalı öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yaşamın ilk 1000 günü, anne sütü, biyoaktif bileşenler, nörogelişim, bilişsel gelişim, çocuk gelişimi, erken müdahale

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

OPTIMAL NUTRITION IN EARLY CHILDHOOD: A REVIEW ON BIOACTIVE COMPONENTS OF BREAST MILK AND COGNITIVE/NEURODEVELOPMENTAL PROCESSES

ABSTRACT

This review aims to examine the multidimensional effects of optimal nutrition and human milk on cognitive and neurodevelopmental mechanisms during the first 1000 days of life, a period characterized by the most dynamic neural plasticity processes, including synaptogenesis, synaptic pruning, and myelination. Beyond being a standard source of energy, human milk provides essential bioactive components such as long-chain polyunsaturated fatty acids [DHA] and [ARA], milk fat globule membrane [MFGM], sphingomyelin, cholesterol, and human milk oligosaccharides [HMO] that directly and epigenetically support the structural maturation of the central nervous system. Current empirical evidence demonstrates that these neuroactive fractions accelerate axonal myelin biosynthesis, optimize neural transmission and cortical network connectivity, and significantly enhance overall cognitive performance [IQ], executive functions, receptive/expressive language acquisition, and neuromotor skills. Furthermore, human milk shapes the infant gut microbiota to maintain mucosal immunity and gut-brain axis signaling; exclusive breastfeeding for the first six months, followed by continued breastfeeding up to two years and beyond alongside responsive complementary feeding, serves as a cornerstone for long-term metabolic and neurocognitive programming. The review also underlines that breastfeeding is a biobehavioral phenomenon that fosters secure attachment, maternal-infant synchrony, and socio-emotional regulation through tactile cues, hormonal cascades (oxytocin and prolactin), and responsive feeding practices. Consequently, evidence-based recommendations are provided for child development specialists to integrate nutritional status with sensory and psychosocial stimulation within a multidisciplinary early intervention framework, particularly to prevent functional isolation and developmental deficits in premature and high-risk infants.

Keywords: First 1000 days, human milk, bioactive components, neurodevelopment, cognitive development, child development, early intervention

1. GİRİŞ

Yeterli ve dengeli beslenme; bireyin yaş, cinsiyet ve fizyolojik gereksinimleri doğrultusunda, metabolik fonksiyonların devamlılığı ve doku onarımı için elzem olan kalori ile makro-mikro besin ögelerinin biyolojik gereksinimleri tam karşılayacak oran ve miktarlarda vücuda alınması sürecidir. Bu kapsamda yeterli beslenme, hücresel ve fizyolojik işlevlerin sürdürülebilmesi adına elzem olan bazal enerji ihtiyacının karşılanmasını hedeflerken; dengeli beslenme, salt kalori alımının ötesinde, organizmanın ihtiyaç duyduğu tüm besin bileşenlerinin nitelik ve nicelik açısından uygun bir harmoni içinde temin edilmesini ifade eder (Baysal, 2020). Merkezi sinir sistemi ağlarının yapılandığı, sinaptik yoğunluğun arttığı ve miyelinasyonun son aşamalarına yaklaştığı bu evre son derece kritiktir. Dolayısıyla, bu gelişimsel fırsat penceresinde bebeğe sunulan optimum beslenme, salt somatik büyümeyi belirlemekten ziyade;

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

bireyin bilişsel, motor, dil ve sosyo-duygusal donanımını doğrudan etkileyen en temel çevresel parametrelerden biri kabul edilmektedir (Chiurazzi vd., 2021).

Erken çocukluk evresinde optimum beslenme modeli olarak nitelendirilen anne sütü, pasif bir enerji ve besin kaynağı olmaktan ziyade, bebeğin değişen biyolojik taleplerine yanıt verebilen, biyoaktif moleküllerce zengin fonksiyonel bir biyolojik vücut sıvısıdır (Açar & Yassıbaş, 2021). Anne sütünün bileşiminde yer alan nörotrofik faktörler, uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri, biyoaktif proteinler ve oligosakkaritler; santral sinir sisteminin gelişimsel ve yapısal olgunlaşmasını hem birincil (doğrudan) hem de ikincil (dolaylı) fizyolojik yollar üzerinden teşvik etmektedir (de Weerth vd., 2023). Erken çocukluk döneminde beslenme, yalnızca hastalıkların önlenmesi bağlamında değil, bireyin gelişimsel kapasitesini en üst seviyeye taşıma amacıyla çok yönlü ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Bu çalışmada; anne sütünde yer alan temel biyoaktif bileşenlerin güncel bilimsel literatür eşliğinde incelenmesi, bu bileşenlerin bilişsel ve nörogelişimsel süreçlere olan etkilerinin çocuk gelişimi disiplini çerçevesinde harmanlanması ve bu alanda çalışan profesyonellere kanıta dayalı bir bakış açısı kazandırılması amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM / UYGULAMA

Bu doğrultuda planlanan bu derleme çalışmasında; güncel literatüre erişmek amacıyla PubMed, Google Scholar ve Web of Science veri tabanları taranmıştır. Tarama sürecinde "Yaşamın ilk 1000 günü", "erken müdahale", "Anne sütü", "biyoaktif bileşenler", "bilişsel gelişim", "nörogelişim", "erken çocukluk", "çocuk gelişimi" anahtar kelimeleri kullanılmış; özellikle son 14 yıla (2012-2026) ait, güncel ve orijinal araştırmalar ile derlemeler incelemeye dahil edilmiştir. Elde edilen bulgular, çocuk gelişimi disiplininin teorik çerçevesiyle sentezlenerek kritik bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Bu çalışma, yaşamın ilk 1000 gününde beslenme ve nörogelişim ilişkisini ele alan betimsel kapsamlı bir geleneksel literatür derlemesidir.

3. YAŞAMIN İLK 1000 GÜNÜ: KRİTİK FIRSAT PENCERESİ VE NÖROGELİŞİMSEL TEMELLER

3.1. Fetal Dönemden İki Yaşa: Nöral Plastisite, Sinaptogenez ve Kritik Pencereler

İnsan gelişim döngüsünde fetal dönemden iki yaşa kadar geçen ilk 1000 gün; sinir sistemindeki esnekliğin (nöral plastisite), hücre bölünme ivmesinin ve metabolik altyapının şekillenme süreçlerinin en dinamik biçimde gerçekleştiği majör bir evredir (Cusick & Georgieff, 2016). Prenatal dönemden erken çocukluk evresine kadar devam eden süreç, sinir sisteminin yapısal ve işlevsel mimarisinin biyolojik temeller ile çevresel dinamiklerin kesişiminde şekillendiği son derece kritik bir zaman aralığını oluşturur. Milyarlarca nöron ile bu hücreler arasındaki trilyonlarca sinaptik bağlantının meydana getirdiği geniş nöral ağlar, çocuğun fiziksel ve psiko-sosyal ekolojisiyle girdiği etkileşimler neticesinde biyolojik düzlemde organize edilir. Bu evredeki yüksek nöral plastisite kapasitesi; güvenli bir çevre, uygun beslenme örüntüsü ve destekleyici yetişkin ilişkileriyle birleştiğinde sağlıklı nörogelişimi desteklerken; koruyucu bir bakımveren tamponundan yoksun biçimde süregelen toksik stres, hassas beyin devrelerinin gelişimini doğrudan sekteye uğratır. Süreğen stres aksı uyarımına bağlı olarak hipokampus ve

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

prefrontal kortekste gözlenen nöronal kayıplar ile nörogenezis inhibisyonu; amigdalanın hiperaktivasyonuyla birleştiğinde yönetici işlevler, duygu regülasyonu, dil ve bilişsel süreçlerde ömür boyu devam edebilecek nörokognitif ve davranışsal bozulmalara yol açmaktadır (Shonkoff vd., 2012).

3.2. İlk 1000 Günde Beslenmenin Epigenetik ve Metabolik Programlama Rolü

Bu süreçte karşılaşılan beslenme koşulları, epigenetik mekanizmalar aracılığıyla fetal gen ekspresyonunu kalıcı olarak etkilemekte; yetersiz veya dengesiz beslenme erişkinlik döneminde tip 2 diyabet ve hipertansiyon gibi metabolik bozukluklara zemin hazırlayabilmektedir. Erken dönem metabolik programlamanın en güçlü biyolojik bileşeni olan anne sütü ise içerdiği ideal makro ve mikro besin ögelerinin yanı sıra yüksek biyoaktif ve immünolojik faktörler sayesinde hücresel gelişimi optimize eder. Doğumdan hemen sonra kolostrum ile başlayan ve ilk altı ay yalnızca anne sütüyle devam edip iki yaş ve ötesine dek sürdürülen emzirme süreci; ilerleyen yaşlarda gelişebilecek obezite, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalık riskini anlamlı ölçüde azaltarak uzun vadeli koruyucu bir kalkan oluşturmaktadır (Akdeniz-Kudubeş & Zengin, 2023).

3.3. Zamanlama Perspektifi: İlk 6 Ay Sadece Anne Sütü ve 6–24 Ay ve Sonrası Tamamlayıcı Beslenme Entegrasyonu

Dünya Sağlık Örgütü altıncı ay itibarıyla başlanan tamamlayıcı beslenme uygulamalarıyla eş zamanlı olarak emzirmenin en az iki yaş veya daha ileri döneme kadar sürdürülmesi gerektiğini kuvvetli bir kanıt düzeyiyle vurgulamaktadır. İkinci yaşam yılında anne sütü tüketimi sıradan bir beslenme tercihi olmanın ötesinde, nörokognitif olgunlaşma ve metabolik denge açısından vazgeçilmez bir fizyolojik destektir. Beslenme modellemelerinden elde edilen veriler; 12–23 aylık evrede anne sütünün günlük kalori ihtiyacının yaklaşık %44'ünü tek başına tedarik ettiğini; bununla birlikte A vitamini gereksiniminin %70'lik, kalsiyum ve riboflavin ihtiyacının ise yaklaşık %40'lık bölümünü karşılamayı sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Beyin morfolojisinin yapılanması, sinaptik plastisite ve aksonal miyelinizasyon basamaklarında kilit rol üstlenen DHA gibi elzem yağ asitleri ile kolin fraksiyonları, ikinci yaşta da yüksek biyoyararlanım profiliyle çocuk organizmasına kazandırılmaktadır. İçeriğindeki immünoglobulinler, biyoaktif oligosakkaritler (HMO) ve koruyucu peptit dizilimleri; erken çocukluk döneminde ortaya çıkan solunum sistemi ve sindirim kanalı enfeksiyonlarına karşı pasif immün bariyeri devam ettirirken, akut hastalık durumlarında görülen iştahsızlık tablosuna rağmen kritik hücresel metabolizmayı ve nöral enerji arzını korumaktadır. Söz konusu biyokimyasal faydaların yanı sıra laktasyonun ikinci yılda da korunması; annede nöroendokrin stres regülasyonunu optimize ederek maternal obezite olasılığını geriletmekte, karşılıklı duygusal uyum ile güvenli bağlanma mekanizmasını kuvvetlendirerek çocuk gelişimini biyopsikososyal bir eksende bütünlemektedir (World Health Organization [WHO], 2023).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. ANNE SÜTÜNÜN TEMEL BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE NÖROGELİŞİME ETKİLERİ

4.1. Uzun Zincirli Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (LC-PUFA)

Anne sütü ve erken çocukluk beslenmesinde kritik öneme sahip olan uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin (*LC-PUFA*) en temel bileşenlerini omega-3 serisinden dokosaheksaenoik asit (DHA; 22:6n-3) ile omega-6 serisinden araşidonik asit (ARA/AA; 20:4n-6) oluşturmaktadır. Anne sütünde her zaman bir arada ve dengeli bir oranda bulunan bu iki biyoaktif yağ asidi; özellikle erken infantil dönemde beyin dokusunun, görme fonksiyonlarının ve bağışıklık sisteminin sağlıklı gelişimi için vazgeçilmez birer yapı taşı niteliğindedir (Koletzko vd., 2020). Perinatal evreden erken çocukluğa uzanan hassas gelişim sürecinde uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (LC-PUFA), nöronal farklılaşma, aksonal/dendritik dallanma ve sinaptik ağ oluşumunu teşvik ederek serebral korteksin yapısal ve fonksiyonel maturasyonuna zemin hazırlar. Başta prefrontal korteks, hipokampal formasyon ve striatum olmak üzere kritik beyin bölgelerinde hücresel membran esnekliğini ve nörotransmisyon dengesini koruyarak bebeklik dönemindeki görsel ve kognitif becerilerin gelişimini doğrudan destekler (Martinat vd., 2021).

4.2. Kompleks Lipitler, Doymuş Yağ Asitleri ve Kolesterol

Anne sütü lipidleri, yenidoğanın günlük kalori ihtiyacının neredeyse yarısını sağlamanın ötesinde; hücresel zar mimarisi, nörolojik gelişim ve metabolik süreçlerin düzenlenmesinde hayati işlevler üstlenen dinamik bileşenlerden oluşur. Süt lipid matrisinin %98–99'luk büyük bir kısmını triaçilgliseroller meydana getirirken; süt yağ küreciği zarını çevreleyen iç ve dış amfipatik katmanlarda fosfatidilkolin, sfingomiyelin, serebrozit ve gangliyozit gibi kompleks lipidlerle birlikte serbest ve esterleşmiş formda kolesterol bulunur. Litre başına 30–150 mg düzeyinde seyreden anne sütü kolesterolü; hızlı beyin büyümesi evresinde miyelin kılıfın entegrasyonunda temel yapı taşı işlevi görür, steroid hormonlar, safra asitleri ve D vitamini biyosentezine zemin hazırlar ve bebekteki endojen kolesterol üretimini baskılayarak sterol dengesini şekillendirir. Doymuş yağ asitleri özelinde incelendiğinde ise anne sütündeki temel doymuş yağ asitleri, sindirim esnasında çözünmeyen kalsiyum sabunlarının çökmesini önler ve böylece hem lipit hem de kalsiyumun bağırsaktan emilim verimini en üst seviyeye çıkarır. Bu doğrultuda süt yağ küreciği zarını membranındaki biyoaktif kompleks lipidler, palmitik asidin özgün stereospesifik konumlanması ve zengin kolesterol içeriği, sinerjik bir etki yaratarak infantın nörolojik, immünolojik ve metabolik olgunlaşmasını doğrudan desteklemektedir (Koletzko, 2016).

4.3. İnsan Sütü Oligosakkaritleri (HMO) ve Mikrobiyota Etkileşimi

İnsan sütü oligosakkaritleri (HMO), yenidoğan tarafından doğrudan sindirilemeyen ancak kalın bağırsağa ulaşarak faydalı bağırsak bakterileri, özellikle de *Bifidobacterium* türleri için seçici bir besin kaynağı (prebiyotik) oluşturan karmaşık yapılı şekerlerdir. Anne sütüyle beslenen bebeklerin bağırsak florasında baskın olan bu yararlı bakteriler, bünyelerinde barındırdıkları özel taşıyıcılar ve enzimler sayesinde HMO'ları hücre içine alarak veya hücre dışında

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

parçalayarak metabolize ederler. Bu fermantasyon süreci sonucunda ortaya çıkan asetat ve laktat gibi kısa zincirli yağ asitleri (SCFA), bağırsak pH'ını düşürerek patojen mikroorganizmaların çoğalmasını engeller. Bunun yanı sıra HMO'lar, yararlı bakterilerin bağırsak epiteline tutunma kabiliyetini artırarak ve patojen bakterilerin hücre yüzeyindeki reseptörlere bağlanmasını yalancı reseptör görevi görüp engelleyerek bebek bağırsak mikrobiyotasının sağlıklı bir şekilde şekillenmesinde kilit bir rol oynarlar (Walsh vd., 2020). HMO'lar metabolik yararlarının ötesinde, mukozal glikanları taklit eden serbest "tuzak reseptörler" şeklinde işlev görerek *Rotavirüs*, *Norovirüs*, *Escherichia coli* ve *Candida albicans* gibi geniş spektrumlu patojenlerin epitele kolonize olmasını mekanik olarak engeller. Eş zamanlı olarak doğal öldürücü hücreler, lökosit göçünü ve mezenterik lenfoid dokuları uyarır; pro-inflamatuvar yanıtları baskılayıp IL-10 üretimini ve mast hücresi dengesini destekleyerek bebeği sistemik inflamasyon ile atopiye karşı korur (Açar & Yassıbaş, 2021). Sütün oligosakkarit profili annenin sekretör genotipine göre değişkenlik göstermektedir. Sekretör pozitif annelerin sütüyle beslenen bebeklerde koruyucu mikrobiyom kolonizasyonu çok daha belirgin seyretmekte, bu biyokimyasal üstünlük sezaryen doğum kaynaklı disbiyozisin dengelenmesine ve erken evre gastrointestinal enfeksiyonların önlenmesine doğrudan katkı sunmaktadır (Sánchez vd., 2021).

4.4. Emzirme Sürecinin Psiko-Sosyal ve Biyodavranışsal Dinamikleri

Emzirme, yenidoğanın temel besin ihtiyacını karşılamanın ötesinde; anne ve bebek arasındaki biyodavranışsal örüntüleri karşılıklı olarak şekillendiren çok katmanlı bir süreçtir. Bu etkileşimin merkezinde, emzirme esnasındaki ten teması, fiziksel sıcaklık ve göz teması gibi uyaranlarla aktive olan endojen oksitosin mekanizması bulunur. Bahse konu nörokimyasal uyarım, bebeklerde stres ve anksiyete tepkilerini yatıştırarak olumlu duygulanımı ve sosyal yaklaşma davranışlarını desteklerken; sevinç gibi pozitif yüz ifadelerine yönelik dikkat yanlılığını da pekiştirmektedir. Annelerde ise emzirme deneyimi, kortizol salınımını ve otonomik stres tepkilerini hafifleterek doğum sonrası depresyon ve kaygı riskini azaltmakta, bebeğin ipuçlarına yönelik duyarlılığı artırarak anne-bebek arasındaki güvenli bağlanma zeminini sağlamlaştırmaktadır. Ayrıca anne sütünde bulunan DHA ve ARA gibi uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin beyindeki miyelinizasyon süreçlerine sunduğu yapısal katkı, bahsi geçen sosyo-duygusal mekanizmalarla bütünleşerek çocuğun uzun dönem bilişsel performansını ve prososyal adaptasyonunu destekleyen bütüncül bir nörogelişimsel zemin sunmaktadır (Krol & Grossmann, 2018). İnsan sütünde yer alan spesifik biyoaktif bileşenler ile emzirme sürecinin sunduğu bütüncül psiko-sosyal dinamikler, bebeklerin hem erken dönem nöral hacim genişlemesini hem de uzun vadede sergiledikleri bilişsel yetkinliği önemli ölçüde desteklemektedir (Kanmaz Kutman, 2017).

5. BİLİŞSEL VE NÖROGELİŞİMSEL MEKANİZMALAR (IQ, DİL, MOTOR GELİŞİM)

5.1. Miyelinizasyon ve Nöral Ağ Gelişimi

Erken çocukluk evresinde kortikal şebekelerin fonksiyonel uyumu ve nöral ileti hızının en üst düzeye ulaşması, aksonları çevreleyen miyelin kılıfın olgunlaşma dinamiklerine bağlıdır. Anne

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sütü içeriğindeki kolesterol ile uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin (özellikle DHA ve ARA) miyelin sentezini teşvik ederek yapısal bütünlüğü koruduğu ve nöronal olgunlaşmaya katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Çok bileşenli dengeli tek darbe gözlem (mcDESPOT) MRI gibi gelişmiş nörogörüntüleme teknikleriyle yürütülen incelemeler; yalnızca anne sütüyle büyütülen çocukların santral sinir sisteminde, bilhassa frontal ve temporal beyaz madde yollarında, belirgin biçimde daha hızlı, yoğun ve hiyerarşik bir miyelinasyon profili sergilediğini ortaya koymaktadır. Beyaz maddede gözlenen bu yapısal olgunlaşma; çocukların çevresel girdileri çözümleme hızlarını artırmakta, ayrıca dil edinimi, görsel işleme ve motor becerileri kapsayan bilişsel denetim mekanizmalarına temel oluşturmaktadır (Deoni vd., 2013).

5.2. Bilişsel Kapasite ve Yürütücü İşlev Dinamikleri

Deoni ve arkadaşlarının (2018) yürüttüğü boylamsal kohort çalışmasının verileri, anne sütüyle beslenen çocukların genel bilişsel performans, sözel ve sözel olmayan yetenek katsayılarının formül süt alan akranlarına kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı oranda üstün olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçları, anne sütü tüketen çocukların erken öğrenme skorlarındaki gelişim seyrinin daha avantajlı olduğunu ve bu kazanımların en az 5.5 yaşa kadar erken çocukluk evresi boyunca korunduğunu doğrulamaktadır. Öte yandan, formül mamayla beslenen alt gruplar kendi aralarında kıyaslandığında; DHA, ARA ve sfingomiyelin gibi nöroaktif bileşenler yönünden zenginleştirilmiş formülasyonları alan çocukların bilişsel gelişim eğrilerinin anne sütü grubuna daha yakın bir trend izlediği saptanmıştır (Deoni vd., 2018).

5.3. Nöromotor Gelişim ve Dil Edinimi Süreçleri

İnfantların gelişimsel izleminde kullanılan Mullen Erken Öğrenme Ölçekleri (MSEL); ince ve kaba motor koordinasyonu ile alıcı ve ifade edici dil yeteneklerini normatif standartlar temelinde yapılandırılmış biçimde incelemektedir. Elde edilen bulgular, erken evrede optimal besin ögeleriyle desteklenen nöral organizasyonun, çocukların sözel ve sözel olmayan gelişim katsayılarını erken çocukluk döneminde yüksek tuttuğunu ya da ivmelendirdiğini ortaya koymaktadır. Beynin motor ve işitsel-lisan işlevleriyle ilişkili kortikal bölgelerindeki miyelin matürasyonu; çocukların hem motor kilometre taşlarını (hareket serbestliği ve koordinasyon) hem de lisan edinimi basamaklarını biyolojik ve yapısal olarak destekleyen kritik bir belirleyici konumundadır (Deoni vd., 2013).

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

6.1. Güvenli Bağlanma ve Sosyo-Duygusal Gelişim

Anne ile bebek arasındaki biyopsikososyal etkileşimin temelini oluşturan emzirme süreci, yalnızca nutrisyonel bir gereksinimi karşılamakla kalmayıp, nöronal ve nöroendokrin mekanizmalar aracılığıyla hem gelişimsel hem de ebeveynlik süreçlerini şekillendirmektedir. Nitekim emzirme esnasında hipotalamus ve hipofiz eksenli salgılanan oksitosin ve prolaktin hormonları, annede kortizol reseptör duyarlılığını baskılayarak stres düzeyini düşürmekte ve analık içgüdüleri ile bakım verme davranışlarını pekiştirmektedir. Bu nörohormonal ortam, annenin bebeğin sözsüz uyaranlarını, açlık ve huzursuzluk sinyallerini daha çabuk fark edip

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

zamanında ve tutarlı yanıtlar vermesini kapsayan duyarlı besleme yaklaşımını desteklemektedir. Karşılıklı göz teması, fiziksel temas ve emme eyleminin sağladığı duyusal uyarımlar ise bebeğin henüz olgunlaşmamış otonom sinir sistemini yatıştırarak öz-düzenleme kapasitesini geliştirmekte; böylece anne-bebek ikilisinde güvenli bağlanmanın ve uzun vadeli sosyo-duygusal gelişimin nörobiyolojik zeminini hazırlamaktadır (Modak vd., 2023).

6.2. Riskli ve Prematüre Bebeklerde Koruyucu Rol

Prematüre ve klinik açıdan hassas yenidoğanlarda immün sistemin henüz olgunlaşmamış olması, bu bebekleri mukozal yolla gelişebilecek invaziv enfeksiyonlara açık hale getirmektedir. Anne sütü, bünyesinde barındırdığı bioaktif ve immünolojik bileşenler sayesinde bu zayıflığı telafi eden kritik bir koruma mekanizması sunar. Özellikle içeriğindeki salgısal IgA (sIgA) antikorları, Grup B Streptokok (GBS) gibi etkenlerin nasofarenks ile bağırsak mukozasına tutunmasını engeller ve böylece bakteriyel kolonizasyonu önemli ölçüde baskılar. Eşzamanlı olarak, İnsan sütü oligosakkaritleri (HMO) patojenler için yalancı reseptör işlevi görerek bakterileri bağlar ve doku invazyonunu sınırlar. Laktoferrin, antimikrobiyal özellikli lipidler ve anti-inflamatuar sitokinler ise henüz geçirgenliği yüksek olan yenidoğan bağırsak bariyerinin bütünlüğünü destekler, patojenlerin sistemik dolaşıma sızmasını zorlaştırır. Enfekte süt üzerinden teorik bir bulaş olasılığı mevcut olsada, anne sütü sunduğu hücresel ve hümoral koruma bileşimiyle prematüre bebeklerde invaziv GBS tablosuna karşı en etkili doğal savunma hattını oluşturmaktadır (Le Doare & Kampmann, 2014).

6.3. Erken Müdahale ve Gelişimsel İzlem

Erken çocukluk döneminde gelişimsel izlem ve erken müdahale uygulamaları, bakım veren ile bebek arasındaki etkileşim sürecinin niteliğine dayalı olarak yürütülmektedir. Anne veya bakım verenin çocuğun sinyallerini fark edip bunlara zamanında ve uygun tepkiler vermesi şeklinde tanımlanan duyarlılık, çocuğun bağlanma güvenliği, sosyo-duygusal gelişimi ve bilişsel becerilerinin şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreçte gelişimsel izlemin başarısı, etkileşimin yalnızca genel hatlarıyla değil, davranışların zamanlama ve ardışıklığını kapsayan dinamik bir perspektifle mikro düzeyde değerlendirilmesine bağlıdır. Bebeklerin gösterdiği sosyal yaklaşım veya oyun davranışlarına bakım veren tarafından verilen zamanında ve duyarlı tepkilerin, ilerleyen dönemdeki güvenli bağlanma ve sağlıklı gelişim örüntülerini öngörmede belirleyici olduğunu göstermektedir (Cerezo vd., 2021).

Erken çocukluk döneminde anne sütü ile beslenme süreci, yalnızca nörogelişimsel ve fizyolojik gereksinimleri karşılayan biyokimyasal bir girdi değil; aynı zamanda bakımveren ile bebek arasındaki dyadik (ikili) ilişkinin temelini oluşturan dinamik bir etkileşim zeminidir. Bütüncül bir gelişimsel perspektiften değerlendirildiğinde, beslenme anları annenin bebeğin açlık, tokluk ve rahatlama gibi mikrososyal sinyallerini zamanında fark edip uygun tepkiler verdiği bir duyarlılık alanı oluşturur. Nitekim bakımveren-bebek etkileşimini doğrusal olmayan dinamik sistemler çerçevesinde ele alan çalışmalar, etkileşimin zamansal akışının ve karşılıklı uyumunun bebeğin kendi davranışlarını organize etmesinde ve güvenli bağlanma yapısının şekillenmesinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla anne sütü uygulamalarının gelişime olan katkısı değerlendirilirken; sütün biyoaktif bileşenlerinin getirdiği somatik

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

avantajların yanı sıra, bu sürecin sunduğu duygusal regülasyon, karşılıklı tepkisellik ve ilişkisel duyarlılık gibi psiko-sosyal boyutların da entegre edildiği çok boyutlu bir analitik çerçevenin benimsenmesi gerekmektedir (Cerezo vd., 2021).

Anne sütü; içerdiği biyoaktif lipidler, insan sütü oligosakkaritleri, büyüme faktörleri ve immünolojik koruyucular sayesinde erken çocuklukta beyin gelişimini, bilişsel fonksiyonları ve motor becerileri şekillendiren yeri doldurulamaz bir besindir. Yaşamın ilk 1000 gününde optimal beslenmenin sağlanması, yalnızca bireysel sağlığı değil, toplumun gelecekteki bilişsel ve sosyal sermayesini de doğrudan etkilemektedir. Anne sütü, sunduğu nöroprotektif bileşenlerle aksonal miyelinizasyonu ve kortikal ağ organizasyonunu desteklerken; emzirme etkileşimi yoluyla da güvenli bağlanmayı pekiştirmekte ve biyopsikososyal gelişimi bir bütün olarak inşa etmektedir.

6.4. Çocuk Gelişimi Uzmanları ve Uygulayıcılar için Öneriler:

- Multidisipliner İşbirliği: Çocuk sağlığı izlemlerinde yalnızca somatik büyüme (boy, kilo, baş çevresi) değil; nöromotor, bilişsel, dil ve sosyo-duygusal basamaklar rutin gelişimsel tarama araçlarıyla (örn. MSEL, DENVER II, AGTE) eş zamanlı olarak değerlendirilmelidir.
- Çocuk gelişimcileri, çocuk hekimleri, diyetisyenler, hemşireler ve ruh sağlığı profesyonelleri arasında sistematik bir sevk ve koordinasyon ağı kurulmalıdır.
- Prematüre, düşük doğum ağırlıklı veya nörogelişimsel risk taşıyan bebeklerin takibinde beslenme protokolleri gelişimsel erken müdahale programlarıyla entegre edilmeli; biyolojik risklerin yol açabileceği fonksiyonel izolasyonun önüne geçilmelidir.
- Gelişimsel Danışmanlık ve Anne Desteği: Anneler, emzirmenin yalnızca biyolojik bir besleme eylemi olmadığı; göz teması, ten tene temas ve duyusal senkronizasyon ile bebeğin öz-düzenleme (regülasyon) ve güvenli bağlanma kapasitesini yapılandıran psikososyal bir etkileşim olduğu konusunda bilgilendirilmelidir. Maternal anksiyete, depresyon ve tükenmişlik semptomları taranarak annelere yönelik psiko-sosyal ve emzirme danışmanlığı destekleri erişilebilir kılınmalıdır.
- Tamamlayıcı beslenmeye geçiş sürecinde 6. aydan itibaren "Duyarlı Besleme" ilkeleri ebeveynlere aktarılmalı; bebeğin açlık/tokluk ipuçlarına saygı gösteren, özerklik ve ayrılma-bireyselleşme adımlarını destekleyen beslenme ortamları teşvik edilmelidir.

6.5. Gelecek Araştırmalara Öneriler

- Anne sütünün spesifik biyoaktif bileşenlerinin beyin plastisitesi, yürütücü işlevler ve dikkat mekanizmaları üzerindeki uzun vadeli etkilerini inceleyen çok merkezli, ileri nörogörüntüleme destekli boylamsal kohort çalışmalarına ağırlık verilmelidir.
- Farklı sosyoekonomik, maternal stres ve çevresel risk düzeylerine sahip gruplarda beslenme-nörogelişim etkileşimini haritalandıran epigenetik ve mikrobiyota-bağırsak-beyin ekseni odaklı disiplinlerarası araştırmalar planlanmalıdır.
- Riskli bebek gruplarında erken dönem beslenme müdahaleleri ile zenginleştirilmiş gelişimsel uyaran ortamlarının birleşik etkinliğini ölçen kanıta dayalı modeller geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[1] Açar, Y., & Yassıbaş, E. (2021). Anne sütü oligosakkaritleri ve sağlık üzerine etkileri. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *6*(1), 22-33.

[2] Akdeniz-Kudubeş, A., & Zengin, H. (2023). Yaşamın ilk 1000 gününde beslenmenin önemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, *1*(1), 19–26.

[3] Baysal, A. (2020). *Beslenme* (20. b.). Hatiboğlu Yayınları.

[4] Cerezo, M. A., Abdelmaseh, M., Trenado, R. M., Pons-Salvador, G., & Bohr, Y. (2021). The temporal dimension in the understanding of maternal sensitivity in caregiver-infant interactions: The 'Early Mother-Child Interaction Coding System'. Infant Behavior and Development, 63, Makale 101563. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2021.101563

[5] Chiurazzi, M., Cozzolino, M., Reinelt, T., Nguyen, T. D., Elke Chie, S., Natalucci, G., & Miletta, M. C. (2021). Human milk and brain development in infants. Reproductive Medicine, 2(2), 107–117. https://doi.org/10.3390/reprodmed2020011

[6] Cusick, S. E., & Georgieff, M. K. (2016). The role of nutrition in brain development: The golden opportunity of the "first 1000 days". The Journal of Pediatrics, 175, 16–21. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.05.013

[7] De Weerth, C., Aatsinki, A.-K., Azad, M. B., Bartol, F. F., Bode, L., Collado, M. C., Dettmer, A. M., Field, C. J., Guilfoyle, M., Hinde, K., Korosi, A., Lustermans, H., Mohd Shukri, N. H., Moore, S. E., Pundir, S., Rodriguez, J. M., Slupsky, C. M., Turner, S., van Goudoever, J. B., … Beijers, R. (2023). Human milk: From complex tailored nutrition to bioactive impact on child cognition and behavior. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(26), 7945–7982. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2053058

[8] Deoni, S. C. L., Dean, D. C., III, Piryatinsky, I., O'Muircheartaigh, J., Waskiewicz, N., Lehman, K., Han, M., & Dirks, H. (2013). Breastfeeding and early white matter development: A cross-sectional study. NeuroImage, 82, 77–86. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.090

[9] Deoni, S., Dean, D., III, Joelson, S., O'Regan, J., & Schneider, N. (2018). Early nutrition influences developmental myelination and cognition in infants and young children. NeuroImage, 178, 649–659. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.000

[10] Kanmaz Kutman, H. G. (2017). Anne sütünün beyin gelişimine etkisi. Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Yenidoğan Dergisi, 6(4), 196–208.

[11] Koletzko, B. (2016). Human milk lipids. Annals of Nutrition and Metabolism, 69(Suppl. 2), 28–40. https://doi.org/10.1159/000452819

[12] Koletzko, B., Bergmann, K., Brenna, J. T., Calder, P. C., Campoy, C., Clandinin, M. T., Colombo, J., Daly, M., Decsi, T., Demmelmair, H., Domellöf, M., Fidler Mis, N., Gonzalez-Casanova, I., van Goudoever, J. B., Hadjipanayis, A., Hernell, O., Lapillonne, A., Mader, S., Martin, C. R., … Carlson, S. E. (2020).

[13] Should formula for infants provide arachidonic acid along with DHA? A position paper of the European Academy of Paediatrics and the Child Health Foundation. The American Journal of Clinical Nutrition, 111(1), 10–16. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz252

[14] Krol, K. M., & Grossmann, T. (2018). Psychological effects of breastfeeding on children and mothers. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 61(8), 977–985. https://doi.org/10.1007/s00103-018-2769-0

[15] Le Doare, K., & Kampmann, B. (2014). Breast milk and Group B streptococcal infection: Vector of transmission or vehicle for protection? Vaccine, 32(26), 3128–3132. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.04.020

[16] Martinat, M., Rossitto, M., Di Miceli, M., & Layé, S. (2021). Perinatal dietary polyunsaturated fatty acids in brain development, role in neurodevelopmental disorders. Nutrients, 13(4), Makale 1185. https://doi.org/10.3390/nu13041185

[17] Modak, A., Ronghe, V., & Gomase, K. P. (2023). The psychological benefits of breastfeeding: Fostering maternal well-being and child development. Cureus, 15(10), Makale e46730. https://doi.org/10.7759/cureus.46730

[18] Sánchez, C., Fente, C., Regal, P., Lamas, A., & Lorenzo, M. P. (2021). Human milk oligosaccharides (HMOs) and infant microbiota: A scoping review. Foods, 10(6), Makale 1429. https://doi.org/10.3390/foods10061429

[19] Shonkoff, J. P., Garner, A. S., Committee on Psychosocial Aspects of Child and Family Health, Committee on Early Childhood, Adoption, and Dependent Care, Section on Developmental and Behavioral Pediatrics, Siegel, B. S., Dobbins, M. I., Earls, M. F., McGuinn, L., Pascoe, J., & Wood, D. L. (2012). The lifelong effects of early childhood adversity and toxic stress. Pediatrics, 129(1), e232–e246. https://doi.org/10.1542/peds.2011-2663

[20] World Health Organization. (2023). WHO guideline for complementary feeding of infants and young children 6–23 months of age. https://iris.who.int/handle/10665/373338

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANININ FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ VE PSİKOLOJİK DURUM ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. UMUT CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Fiziksel inaktivite, bireylerin fiziksel işlevselliğini ve psikolojik iyi oluşunu olumsuz etkileyebilen önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bu çalışmanın amacı, 12 haftalık direnç egzersizine dayalı bir fiziksel aktivite programının fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde fonksiyonel hareket kapasitesi ile depresyon, anksiyete ve stres düzeyleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmaya fiziksel olarak inaktif 32 yetişkin (ortalama yaş = 46,61 ± 7,33 yıl) dahil edildi. Katılımcılar rastgele olarak egzersiz grubu (EG, n = 15) veya kontrol grubuna (KG, n = 17) atandı. EG, 12 hafta boyunca haftada 3 gün, yaklaşık 55–60 dakika süren gözetimli direnç egzersizi programına katılırken, KG yapılandırılmış herhangi bir egzersiz programına katılmadı. Fonksiyonel hareket kapasitesi Functional Movement Screen (FMS), depresyon, anksiyete ve stres düzeyleri ise Depression, Anxiety and Stress Scale-21 (DASS-21) kullanılarak başlangıçta ve 12 haftanın sonunda değerlendirildi. Grup × zaman etkileşimi sonucunda toplam FMS puanındaki artışın EG'de KG'ye kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi ($F(1,30) = 7,258$, $p = 0,011$, $\eta p^2 = 0,195$). EG'nin toplam FMS puanı 12,73 ± 2,96'dan 15,33 ± 2,96'ya yükselirken, KG'de 12,47 ± 2,78'den 12,88 ± 3,51'e yükseldi. Depresyon, anksiyete, stres ve toplam psikolojik puanlarda EG lehine azalmalar gözlenmesine karşın grup × zaman etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p > 0,05$). Sonuç olarak, 12 haftalık direnç egzersizi programının fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde fonksiyonel hareket kapasitesini geliştirdiği, ancak depresyon, anksiyete ve stres düzeylerinde kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir değişim oluşturmadığı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Direnç antrenmanı, fonksiyonel hareket kapasitesi, FMS, depresyon, anksiyete, stres

1. GİRİŞ

Düzenli fiziksel aktivite, kronik hastalıkların önlenmesi ve yönetilmesinin yanı sıra yetişkinlerin fiziksel ve psikolojik sağlığının korunmasında önemli bir role sahiptir [1,2]. Buna karşılık fiziksel inaktivite, bulaşıcı olmayan hastalıklar ve erken mortalite açısından önemli bir risk faktörü olmasının yanında fiziksel işlev kayıpları ve psikolojik sağlık sorunlarıyla da ilişkilidir [2,3]. Fiziksel aktivitenin ruh sağlığı, uyku ve genel iyi oluş üzerinde olumlu etkileri bulunduğu; egzersizin depresif belirtiler ve anksiyete üzerinde yararlı olabileceği bildirilmektedir [4,5].

Orta yaş dönemi, yaşlanmayla ilişkili fonksiyonel değişimlerin giderek belirginleştiği ve koruyucu egzersiz uygulamalarının önem kazandığı bir yaşam evresidir. Direnç antrenmanı kas kuvveti ve fonksiyonel kapasitenin korunması veya geliştirilmesi amacıyla yaygın olarak

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kullanılmaktadır [6,7]. Bununla birlikte direnç egzersizinin katkısı yalnızca kas kuvvetiyle sınırlı değildir. Temel hareket örüntülerinin kalitesi, mobilite, stabilite ve nöromüsküler kontrol gibi bileşenleri birlikte yansıtan fonksiyonel hareket kapasitesi de günlük yaşam bağımsızlığı ve fiziksel işlev açısından önem taşımaktadır. Functional Movement Screen (FMS), yedi temel hareket örüntüsünü değerlendirerek hareket kalitesindeki sınırlılık ve asimetrileri belirlemeyi amaçlayan bir tarama aracıdır [8].

Direnç egzersizinin psikolojik sonuçları da giderek daha fazla ilgi görmektedir. Meta-analitik bulgular direnç egzersizinin depresif belirtileri azaltabileceğini göstermekte [9], anksiyete belirtileri üzerinde de olumlu etkiler bildiren kontrollü çalışmalar bulunmaktadır [10,11]. Bununla birlikte egzersizin psikolojik etkisi; başlangıçtaki semptom düzeyi, program süresi, sıklığı, şiddeti ve örneklemin özellikleri gibi etmenlerden etkilenebilir. Fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde fonksiyonel hareket kapasitesi ile depresyon, anksiyete ve stres göstergelerini aynı müdahale kapsamında değerlendiren çalışmaların sınırlı olması, bu iki sonuç alanının birlikte incelenmesini önemli kılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, 12 haftalık gözetimli direnç antrenmanı programının fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerin FMS toplam puanı ile depresyon, anksiyete ve stres düzeyleri üzerindeki etkilerini belirlemektir.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı ve Katılımcılar

Araştırma, ön test-son test kontrol gruplu randomize kontrollü bir çalışma olarak yürütüldü. Katılımcılar üniversitenin resmî iletişim kanalları ve medya duyuruları aracılığıyla gönüllülük esasına göre çalışmaya davet edildi. Dahil edilme ölçütleri; 40–60 yaş arasında olmak, fiziksel olarak bağımsız olmak, kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi hastalığı bulunmamak ve çalışmadan önceki beş ay içinde haftada birden fazla düzenli egzersize katılmamış olmaktı. Kronik ayak bileği instabilitesi, son altı ay içinde alt ekstremite kas-iskelet sistemi yaralanması, hormon replasman tedavisi kullanımı ile kontrol altında olmayan diyabet veya hipertansiyon dışlanma ölçütleri olarak belirlendi.

Uygunluk ölçütlerini karşılayan katılımcılar bilgisayar tarafından oluşturulan randomizasyon tablosu kullanılarak egzersiz grubu (EG) ve kontrol grubu (KG) olmak üzere iki gruba ayrıldı. Başlangıçta çalışmaya 50 kişi dahil edildi; araştırma sürecini ve son ölçümleri tamamlayan 32 katılımcının verileri analiz edildi. Örneklemin 25'i kadın (%78), 7'si erkekti (%22) ve yaş ortalaması 46,61 ± 7,33 yıldı. EG 15, KG ise 17 katılımcıdan oluştu.

Araştırma için Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan onay alındı (Karar No: 2023.135.06.21). Tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş gönüllü olur alındı ve çalışma Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütüldü [12]. Araştırma ClinicalTrials.gov sistemine NCT06708325 numarasıyla kaydedildi.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri

Değişken	Kontrol grubu (n = 17)	Egzersiz grubu (n = 15)
Kadın, n (%)	13 (52)	12 (48)
Erkek, n (%)	4 (57,15)	3 (42,85)
Yaş (yıl)	45,88 ± 6,87	47,44 ± 7,97
Boy (cm)	168,34 ± 6,84	165,82 ± 10,49
Vücut ağırlığı (kg)	70,86 ± 14,50	71,34 ± 13,94
BKİ (kg/m²)	25,14 ± 5,02	26,07 ± 4,40
Vücut yağ oranı (%)	29,28 ± 7,90	29,82 ± 7,04
Kas kütlesi (kg)	46,94 ± 7,21	47,40 ± 10,30

Değerler ortalama ± standart sapma veya n (%) olarak verilmiştir. BKİ: Beden kütle indeksi.

2.2. Veri Toplama Araçları

2.2.1. Fonksiyonel Hareket Taraması (FMS)

Fonksiyonel hareket kapasitesi Functional Movement Screen (FMS) ile değerlendirildi. FMS; derin çömelme, engel adımı, çizgi üzerinde hamle, omuz mobilitesi, aktif düz bacak kaldırma, gövde stabilite şınavı ve rotasyon stabilitesi olmak üzere yedi temel hareket örüntüsünden oluşmaktadır [8]. Her hareket 0 ile 3 arasında puanlanmakta ve toplam puan 0–21 arasında değişmektedir. Üç puan hareketin kompansasyon olmaksızın doğru biçimde tamamlanmasını, iki puan hareketin kompansasyonla tamamlanmasını, bir puan hareketin gerçekleştirilememesini ve sıfır puan test sırasında ağrı oluşmasını ifade etmektedir. Bu çalışmada analiz için FMS toplam puanı kullanıldı.

2.2.2. Depresyon, Anksiyete ve Stres Değerlendirmesi

Katılımcıların depresyon, anksiyete ve stres düzeyleri Depression, Anxiety and Stress Scale-21 (DASS-21) ile değerlendirildi. Ölçek 21 maddeden ve depresyon, anksiyete ve stres olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Türkçe formun geçerlik ve güvenirlik özellikleri Sarıçam tarafından incelenmiş; klinik örneklemde depresyon, anksiyete ve stres alt boyutları için Cronbach alfa katsayıları sırasıyla 0,87, 0,85 ve 0,81 olarak bildirilmiştir [13]. Bu çalışmada alt boyut puanları ile toplam psikolojik puan analiz edildi.

2.3. Uygulama Süreci

Ön ölçümlerde katılımcılar ilk olarak psikolojik ölçeği tamamladı; ardından antropometrik ve fiziksel değerlendirmeler gerçekleştirildi. Fiziksel testlerden önce beş dakika dinamik germe ve beş dakika düşük tempolu koşudan oluşan standart ısınma uygulandı. Sirkadiyen değişkenliği azaltmak amacıyla tüm ölçümler 17.30–19.30 saatleri arasında ve üniversitenin spor tesislerinde gerçekleştirildi. Son testler 12 haftalık müdahalenin ardından ön testlerle aynı sıra ve koşullarda tekrarlandı.

2.4. Direnç Antrenmanı Programı

Egzersiz grubu, 12 hafta boyunca haftada üç gün gözetimli direnç antrenmanına katıldı. Her seans 5–7 dakikalık düşük şiddetli yürüme/koşu ve dinamik hareketlilik egzersizleriyle başladı;

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4–5 dakikalık germe ve gevşeme uygulamalarıyla tamamlandı. Isınma ve soğuma dahil toplam seans süresi yaklaşık 55–60 dakikaydı. Program bireyselleştirme ve kademeli yüklenme ilkelerine göre düzenlendi. Egzersiz şiddeti katılımcıların bir tekrar maksimumlarına (1TM) göre belirlendi. Alt ekstremite, kor bölgesi ve üst ekstremite kas gruplarını sırasıyla çalıştıran hareketler dairesel antrenman yöntemiyle uygulandı. İlk dört haftada iki set kullanılan program, ilerleyen haftalarda iki veya üç set olarak sürdürüldü. Egzersizler 8–20 tekrar aralığında ve setler arasında 1–2 dakika dinlenmeyle gerçekleştirildi [14]. Tüm seanslar deneyimli bir antrenör ve araştırmacı gözetiminde gerçekleştirildi. Kontrol grubundan olağan fiziksel aktivite düzeyini ve günlük yaşam alışkanlıklarını sürdürmesi, yapılandırılmış herhangi bir egzersiz programına katılmaması istendi.

2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler SPSS 18.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, ABD) programında analiz edildi ve anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Normallik ve varyans homojenliği sırasıyla Shapiro-Wilk ve Levene testleriyle değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama ve standart sapma olarak sunuldu. Grupların sosyodemografik özellikleri bağımsız örneklem t testi ve ki-kare testiyle karşılaştırıldı. FMS ve psikolojik değişkenlerdeki grup × zaman ortak etkisini değerlendirmek için 2 × 2 tekrarlı ölçümler varyans analizi kullanıldı. Etki büyüklüğü kısmi eta kare (ηp^2) ile ifade edildi [15]. Analizden önce Box'ın Kovaryans Matrislerinin Eşitliği Testi ile ilgili varsayım kontrol edildi.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Grupların başlangıçtaki yaş ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı bulgular Çizelge 1'de sunulmuştur. FMS toplam puanı ve psikolojik değişkenlerin ön test-son test değerleri ile grup × zaman etkileşim sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. FMS ve psikolojik değişkenlerin antrenman öncesi ve sonrası değerleri

Değişken	Grup	Ön test	Son test	F	p	ηp^2
Toplam FMS	KG	12,47 ± 2,78	12,88 ± 3,51	7,258	0,011*	0,195
	EG	12,73 ± 2,96	15,33 ± 2,96			
Depresyon	KG	3,64 ± 3,25	3,23 ± 3,09	1,106	0,30	0,036
	EG	3,53 ± 3,56	2,00 ± 2,36			
Anksiyete	KG	4,17 ± 3,97	4,23 ± 3,17	2,268	0,14	0,070
	EG	2,40 ± 1,40	1,06 ± 1,33			
Stres	KG	6,88 ± 4,71	5,41 ± 2,91	0,467	0,49	0,015
	EG	5,73 ± 3,95	3,33 ± 2,74			
Toplam psikolojik puan	KG	14,70 ± 10,46	12,88 ± 8,22	1,422	0,24	0,045
	EG	11,66 ± 7,64	6,40 ± 5,01			

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KG: Kontrol grubu; EG: Egzersiz grubu; FMS: Functional Movement Screen. *$p < 0,05$.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FMS toplam puanında anlamlı bir grup × zaman ortak etkisi saptandı, $F(1,30) = 7,258$, $p = 0,011$, $\eta p^2 = 0,195$. EG'de toplam FMS puanı 12,73 ± 2,96'dan 15,33 ± 2,96'ya yükselirken, KG'de 12,47 ± 2,78'den 12,88 ± 3,51'e yükseldi. Her iki grubun başlangıç FMS ortalamaları 14 puanın altındayken, müdahale sonrasında EG ortalaması 15,33'e ulaştı. Bu bulgu, 12 haftalık direnç antrenmanı programının fonksiyonel hareket kapasitesinde kontrol grubundan farklı bir gelişim oluşturduğunu göstermektedir.

Psikolojik değişkenlerde EG'nin depresyon, anksiyete, stres ve toplam puan ortalamalarında ön testten son teste düşüşler gözlendi. Bununla birlikte grup × zaman ortak etkisi depresyon ($F = 1,106$, $p = 0,30$, $\eta p^2 = 0,036$), anksiyete ($F = 2,268$, $p = 0,14$, $\eta p^2 = 0,070$), stres ($F = 0,467$, $p = 0,49$, $\eta p^2 = 0,015$) ve toplam psikolojik puan ($F = 1,422$, $p = 0,24$, $\eta p^2 = 0,045$) için anlamlı değildi. Dolayısıyla gözlenen sayısal iyileşmeler, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak farklı bir değişim olarak değerlendirilemez.

Direnç antrenmanı sonrasında FMS toplam puanında elde edilen anlamlı gelişme, programın temel hareket örüntülerini oluşturan mobilite, stabilite ve nöromüsküler kontrol bileşenlerini olumlu yönde etkilemiş olabileceğini düşündürmektedir. Direnç egzersizlerinin yaşlanmayla ilişkili fonksiyonel gerilemeyi azaltmada ve fonksiyonel kapasiteyi desteklemede etkili olduğu daha önce bildirilmiştir [6,7]. Bu çalışmada EG'nin başlangıçta 14 puanın altında olan ortalama FMS puanının müdahale sonunda 15 puanın üzerine çıkması da hareket kalitesindeki gelişmenin pratik açıdan dikkate değer olabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte FMS için 14 puan eşiğinin farklı popülasyonlarda risk sınıflaması amacıyla kullanımının bağlama göre değerlendirilmesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Psikolojik sonuçlarda ise direnç antrenmanı lehine sayısal azalmalar görülmesine rağmen gruplar arası değişim anlamlı değildir. Bu sonuç, direnç egzersizinin depresif belirtileri azaltabileceğini bildiren meta-analiz [9] ve anksiyete belirtileri üzerinde yararlı etkiler gösteren kontrollü çalışmalarla [10,11] tam olarak örtüşmemektedir. Farklılığın olası nedenlerinden biri, mevcut örneklemin klinik depresyon veya anksiyete tanısı temelinde seçilmemiş olması ve başlangıç psikolojik puanlarının görece düşük düzeyde bulunması olabilir. Ayrıca müdahale süresi, toplam egzersiz hacmi ve örneklem büyüklüğü psikolojik değişkenlerde istatistiksel olarak ayırt edilebilir bir etki ortaya çıkmasını sınırlandırmış olabilir. Bu nedenle mevcut bulgular, direnç antrenmanının psikolojik yarar sağlamadığı şeklinde değil, bu örneklem ve program koşullarında kontrol grubundan anlamlı biçimde farklı bir değişim gösterilemediği şeklinde yorumlanmalıdır.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması özellikle psikolojik değişkenlerde küçük veya orta büyüklükteki etkilerin saptanmasını güçleştirmiş olabilir. Katılımcıların düzenli egzersiz programına katılmamaları bir dahil edilme ölçütü olmasına karşın günlük fiziksel aktivite düzeyleri nesnel olarak izlenmemiş ve analizlere dahil edilmemiştir. Ayrıca psikolojik sonuçlar öz-bildirim ölçeğine dayanmaktadır. Gelecek çalışmalarda daha büyük örneklemler, daha uzun müdahale süreleri ve başlangıç psikolojik semptom düzeyine göre tabakalandırılmış analizler kullanılabilir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

On iki haftalık gözetimli direnç antrenmanı programı, fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde FMS ile değerlendirilen fonksiyonel hareket kapasitesini kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde geliştirmiştir. Buna karşılık depresyon, anksiyete, stres ve toplam psikolojik puanlarda egzersiz grubu lehine sayısal azalmalar görülmesine rağmen bu değişimler gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bulgular, direnç antrenmanının bu popülasyonda fonksiyonel hareket kapasitesini geliştirmek için yararlı bir müdahale olabileceğini; psikolojik sonuçlar bakımından ise daha büyük örneklemli ve farklı doz özelliklerine sahip çalışmalara gereksinim bulunduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1] Warburton, D. E., Nicol, C. W. ve Bredin, S. S., Health Benefits of Physical Activity: The Evidence, CMAJ, 174, 801–809, 2006.

[2] World Health Organization, WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour, World Health Organization, Geneva, 2020.

[3] Cunningham, C., O'Sullivan, R., Caserotti, P. ve Tully, M. A., Consequences of Physical Inactivity in Older Adults: A Systematic Review of Reviews and Meta-Analyses, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 30, 816–827, 2020.

[4] Schuch, F. B., Vancampfort, D., Richards, J., Rosenbaum, S., Ward, P. B. ve Stubbs, B., Exercise as a Treatment for Depression: A Meta-Analysis Adjusting for Publication Bias, Journal of Psychiatric Research, 77, 42–51, 2016.

[5] Morgan, W. P., Physical Activity and Mental Health, Taylor & Francis, 2013.

[6] Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D. ve Ryan, E. D., Resistance Training for Older Adults: Position Statement from the National Strength and Conditioning Association, Journal of Strength & Conditioning Research, 33, 2019–2052, 2019.

[7] Marques, D. L., Neiva, H. P., Marinho, D. A. ve Marques, M. C., Manipulating the Resistance Training Volume in Middle-Aged and Older Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis of the Effects on Muscle Strength and Size, Muscle Quality, and Functional Capacity, Sports Medicine, 53, 503–518, 2023.

[8] Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. J. ve Voight, M., Functional Movement Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function—Part 1, International Journal of Sports Physical Therapy, 9, 396, 2014.

[9] Gordon, B. R., McDowell, C. P., Hallgren, M., Meyer, J. D., Lyons, M. ve Herring, M. P., Association of Efficacy of Resistance Exercise Training with Depressive Symptoms: Meta-Analysis and Meta-Regression Analysis of Randomized Clinical Trials, JAMA Psychiatry, 75, 566–576, 2018.

[10] Gordon, B. R., McDowell, C. P., Lyons, M. ve Herring, M. P., Resistance Exercise Training for Anxiety and Worry Symptoms Among Young Adults: A Randomized Controlled Trial, Scientific Reports, 10, 17548, 2020.

[11] Gordon, B. R., McDowell, C. P., Lyons, M. ve Herring, M. P., Resistance Exercise Training Among Young Adults with Analogue Generalized Anxiety Disorder, Journal of Affective Disorders, 281, 153–159, 2021.

[12] Shrestha, B. ve Dunn, L., The Declaration of Helsinki on Medical Research Involving Human Subjects: A Review of Seventh Revision, Journal of Nepal Health Research Council, 17, 548–552, 2019.

[13] Sarıçam, H., The Psychometric Properties of Turkish Version of Depression Anxiety Stress Scale-21 (DASS-21) in Health Control and Clinical Samples, Journal of Cognitive Behavioral Psychotherapies and Research, 7, 19, 2018.

[14] Thompson, W. R., Worldwide Survey of Fitness Trends for 2023, ACSM's Health & Fitness Journal, 27, 9, 2023.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[15] Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A. ve Stark, R., Outcome Effects and Effect Sizes in Sport Sciences, International Journal of Sports Science and Engineering, 3, 175–179, 2009.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FİZİKSEL OLARAK İNAKTİF ORTA YAŞLI YETİŞKİNLERDE 12 HAFTALIK DİRENÇ ANTRENMANI PROGRAMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. UMUT CANLI
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Fiziksel inaktivite, kardiyovasküler ve metabolik hastalıklar açısından önemli bir risk faktörüdür. Bu çalışmanın amacı, direnç egzersizine dayalı bir fiziksel aktivite programının fiziksel faktörler üzerindeki etkisini fiziksel olarak inaktif yetişkinlerde belirlemektir. Çalışmaya, uygun örnekleme yöntemiyle fiziksel olarak inaktif 32 yetişkin (ortalama yaş = 46,61 ± 7,33 yıl) dahil edildi. Katılımcılar rastgele olarak egzersiz grubu (EG, n = 15) veya kontrol grubuna (KG, n = 17) atandı. Fiziksel ölçümler başlangıçta ve 12 haftanın sonunda gerçekleştirildi. EG, 12 hafta boyunca haftada 3 gün gözetimli bir direnç egzersizi programına katıldı. Her egzersiz seansı yaklaşık 55–60 dakika sürdü. KG, 12 haftalık çalışma süresince yapılandırılmış herhangi bir egzersiz programına katılmadı. Katılımcılardan günlük yaşam alışkanlıklarını sürdürmeleri istendi. Diz fleksörleri, diz ekstansörleri, ayak bileği dorsifleksörleri ve plantar fleksörlerinin kas kuvveti ile izometrik kor kas kuvveti ölçüldü. Statik denge, dinamik denge ve propriyosepsiyon değerlendirildi. Çalışmanın bulguları, egzersiz grubunda kontrol grubuna kıyasla denge, kor kuvveti puanlarında anlamlı iyileşmeler olduğunu ortaya koydu. İstatistiksel sonuçlar sırasıyla şu şekildeydi: denge, $F(1,30) = 12,554$, $p = 0,001$; kor kuvveti, $F(1,30) = 9,402$, $p = 0,005$. Direnç egzersizine dayalı fiziksel aktivite programları, özellikle propriyoseptif dengenin, kor kuvvetinin geliştirilmesinde kullanılabilecek önemli bir müdahale yöntemi olarak kabul edilebilir.

Anahtar kelimeler: Kuvvet, denge, propriyosepsiyon

1. GİRİŞ

Düzenli fiziksel aktivite, birçok kronik hastalığın önlenmesi ve yönetilmesinde önemli bir role sahiptir; yetişkinlerde sağlık ve yaşam kalitesinin geliştirilmesine katkı sağlar [1,2]. Buna karşılık güncel fiziksel aktivite önerilerini karşılamayacak düzeyde hareket etme olarak tanımlanan fiziksel inaktivite, bulaşıcı olmayan hastalıkların ve erken ölümlerin yükünü artıran önemli bir halk sağlığı sorunudur [2,3]. Dünya Sağlık Örgütü, yetişkin nüfusun önemli bir bölümünün önerilen fiziksel aktivite düzeyine ulaşamadığını bildirmektedir [2]. Fiziksel inaktivite; kardiyovasküler ve metabolik hastalıkların yanı sıra kas kuvvetinde azalma, sarkopeni ve denge bozuklukları gibi fiziksel işlev kayıplarıyla da ilişkilidir [3,4].

Orta yaş dönemi, yaşlanmayla ilişkili kas-iskelet sistemi değişikliklerinin giderek belirginleşmeye başladığı ve koruyucu egzersiz uygulamalarının önem kazandığı bir yaşam evresidir. Direnç egzersizi, kas kuvveti ve kas kütlesinin korunması ya da geliştirilmesinde etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir [5,6]. Ayrıca direnç egzersizlerinin nöromüsküler kontrolü destekleyerek denge yeteneğinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği bildirilmektedir [7]. Bu yönüyle direnç antrenmanları, fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde hem kuvvet hem de denge bileşenlerini birlikte geliştirme potansiyeline sahiptir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Literatürde direnç egzersizlerinin orta yaşlı ve ileri yaştaki bireylerin vücut kompozisyonu, kas kuvveti ve fiziksel uygunluğu üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır [8–10]. Bununla birlikte, fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde alt ekstremite izometrik kuvveti, kor kuvveti, statik denge, dinamik denge ve propriyoseptif dengeyi birlikte değerlendiren kontrollü çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, 12 haftalık gözetimli direnç antrenmanı programının fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemektir.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı ve Katılımcılar

Araştırma, ön test-son test kontrol gruplu randomize kontrollü bir çalışma olarak yürütüldü. Katılımcılar uygun örnekleme yöntemiyle üniversitenin resmî iletişim kanalları ve medya duyuruları aracılığıyla gönüllülük esasına göre çalışmaya davet edildi. Dahil edilme ölçütleri; 40–60 yaş arasında olmak, fiziksel olarak bağımsız olmak, kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi hastalığı bulunmamak ve çalışmadan önceki beş ay içinde haftada birden fazla düzenli egzersize katılmamış olmaktı. Kronik ayak bileği instabilitesi, son altı ay içinde alt ekstremite kas-iskelet sistemi yaralanması, hormon replasman tedavisi kullanımı ile kontrol altında olmayan diyabet veya hipertansiyon dışlanma ölçütleri olarak belirlendi.

Uygunluk ölçütlerini karşılayan katılımcılar bilgisayar tarafından oluşturulan randomizasyon tablosu kullanılarak egzersiz grubu (EG) ve kontrol grubu (KG) olmak üzere iki gruba ayrıldı. Başlangıçta çalışmaya 50 kişi dahil edildi; araştırma sürecini ve son ölçümleri tamamlayan 32 katılımcının verileri analiz edildi. Örneklemin 25'i kadın (%78), 7'si erkekti (%22) ve yaş ortalaması 46,61 ± 7,33 yıldı. EG 15, KG ise 17 katılımcıdan oluştu.

Araştırma için Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan onay alındı (Karar No: 2023.135.06.21). Tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş gönüllü olur alındı ve çalışma Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütüldü [11]. Araştırma ClinicalTrials.gov sistemine NCT06708325 numarasıyla kaydedildi.

Çizelge 1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri

Değişken	Kontrol grubu (n = 17)	Egzersiz grubu (n = 15)
Kadın, n (%)	13 (52)	12 (48)
Erkek, n (%)	4 (57,15)	3 (42,85)
Yaş (yıl)	45,88 ± 6,87	47,44 ± 7,97
Boy (cm)	168,34 ± 6,84	165,82 ± 10,49
Vücut ağırlığı (kg)	70,86 ± 14,50	71,34 ± 13,94
BKİ (kg/m²)	25,14 ± 5,02	26,07 ± 4,40
Vücut yağ oranı (%)	29,28 ± 7,90	29,82 ± 7,04
Kas kütlesi (kg)	46,94 ± 7,21	47,40 ± 10,30

Değerler ortalama ± standart sapma veya n (%) olarak verilmiştir. BKİ: Beden kütle indeksi.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.2. Veri Toplama Araçları

2.2.1. Antropometrik Ölçümler

Boy uzunluğu taşınabilir stadiyometre ile ölçüldü. Vücut kompozisyonu; kas kütlesi, yağsız vücut kütlesi ve vücut yağ oranını belirleyen, 50 kHz sabit akımla çalışan sekiz elektrotlu biyoelektrik impedans analiz cihazıyla değerlendirildi. Güncel biyoelektrik impedans cihazlarının vücut kompozisyonu değerlendirmelerinde kabul edilebilir geçerlik ve güvenirlik sağladığı bildirilmiştir [12].

2.2.2. Kas Kuvveti Ölçümleri

Diz fleksörleri, diz ekstansörleri, ayak bileği dorsifleksörleri ve plantar fleksörlerinin izometrik kuvveti Lafayette Manuel Kas Testi Sistemi (Model 01165) ile değerlendirildi. Diz fleksör kuvveti yüzüstü pozisyonda ve diz eklemi 90° fleksiyondayken; diz ekstansör kuvveti oturur pozisyonda ve diz eklemi 90° açıdayken ölçüldü. Katılımcıdan dinamometre aracılığıyla uygulanan kuvvete karşı maksimum düzeyde direnç göstermesi istendi [13]. Ayak bileği dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon ölçümleri sırtüstü pozisyonda yapıldı. Katılımcılar sağ ve sol ayakla üçer kez beş saniyelik istemli kasılma gerçekleştirdi ve denemeler arasında bir dakika dinlendirildi. Üç denemeden elde edilen değerler aynı araştırmacı tarafından kaydedilerek analizde kullanıldı [14].

Kor kuvveti ve dayanıklılığı, spora özgü plank testiyle değerlendirildi [15]. Toplam 180 saniye süren testte katılımcı ilk 60 saniye standart plank pozisyonunu korudu. Sonraki 90 saniyede 15 saniyelik bölümler hâlinde kollarını ve bacaklarını dönüşümlü olarak kaldırdı; son 30 saniyede yeniden başlangıç plank pozisyonunu sürdürdü. Doğru pozisyonun korunabildiği toplam süre saniye olarak kaydedildi.

2.2.3. Denge Ölçümleri

Statik, dinamik ve propriyoseptif denge performansları SensBalance MiniBoard (Sensamove®, Utrecht, Hollanda) kullanılarak değerlendirildi. Katılımcılar, 30 saniyelik görevler sırasında ekrandaki topu belirtilen konumda tutmaya veya önceden belirlenen hedefe taşımaya çalıştı. Statik denge görevinde topun belirli bir noktada sabit tutulması; dinamik denge görevlerinde topun sağ-sol ve ön-arka doğrultularda hedefe yönlendirilmesi istendi. Propriyoseptif denge görevinde katılımcının platform hareketini algılayarak hedef konuma ulaşması değerlendirildi. Cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanan performans puanları yüzde olarak kaydedildi [16].

2.3. Uygulama Süreci

Ön ölçümlerden önce araştırmacılar, uygulamalar arasında tutarlılık sağlamak amacıyla ölçüm protokolleri konusunda eğitim aldı. Antropometrik ölçümlerin ardından kas kuvveti ve denge testleri uygulandı. Fiziksel testlerden önce katılımcılar beş dakika dinamik germe ve beş dakika düşük tempolu koşudan oluşan standart ısınmayı tamamladı. Sirkadiyen değişkenliği azaltmak amacıyla tüm ölçümler 17.30–19.30 saatleri arasında ve üniversitenin spor tesislerinde gerçekleştirildi. Son testler, 12 haftalık müdahalenin ardından ön testlerle aynı sıra ve koşullarda tekrarlandı.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.4. Direnç Antrenmanı Programı

Egzersiz grubu, 12 hafta boyunca haftada üç gün gözetimli direnç antrenmanına katıldı. Her seans, 5–7 dakikalık düşük şiddetli yürüme/koşu ve dinamik hareketlilik egzersizleriyle başladı; 4–5 dakikalık germe ve gevşeme uygulamalarıyla tamamlandı. Isınma ve soğuma dahil toplam seans süresi yaklaşık 55–60 dakikaydı.

Program bireyselleştirme ve kademeli yüklenme ilkelerine göre düzenlendi. Egzersiz şiddeti katılımcıların bir tekrar maksimumlarına (1TM) göre belirlendi. Alt ekstremite, kor bölgesi ve üst ekstremite kas gruplarını sırasıyla çalıştıran hareketler dairesel antrenman yöntemiyle uygulandı. İlk dört haftada iki set kullanılan program, ilerleyen haftalarda iki veya üç set olarak sürdürüldü. Egzersizler 8–20 tekrar aralığında ve setler arasında 1–2 dakika dinlenmeyle gerçekleştirildi [17]. Katılımcıların gelişimleri haftalık olarak izlenerek şiddet, set ve tekrar sayıları yeniden düzenlendi. Tüm seanslar deneyimli bir antrenör ve araştırmacı gözetiminde gerçekleştirildi. Kontrol grubundan ise çalışma boyunca olağan fiziksel aktivite düzeyini ve günlük yaşam alışkanlıklarını sürdürmesi, yapılandırılmış herhangi bir egzersiz programına katılmaması istendi.

2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler SPSS 18.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, ABD) programında analiz edildi ve anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Normallik ve varyans homojenliği sırasıyla Shapiro-Wilk ve Levene testleriyle değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama ve standart sapma olarak sunuldu. Grupların sosyodemografik özellikleri bağımsız örneklem t testi ve ki-kare testiyle karşılaştırıldı. Fiziksel performans değişkenlerindeki grup × zaman ortak etkisini değerlendirmek için 2 × 2 tekrarlı ölçümler varyans analizi kullanıldı. Etki büyüklüğü kısmi eta kare (ηp^2) ile ifade edildi [18]. Analizden önce Box'ın Kovaryans Matrislerinin Eşitliği Testi ile ilgili varsayım kontrol edildi.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Grupların başlangıçtaki yaş ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı bulgular Çizelge 1'de sunulmuştur. Katılımcıların ortalama yaş, boy, vücut ağırlığı, beden kütle indeksi, vücut yağ oranı ve kas kütlesi değerleri gruplar arasında benzer dağılım göstermiştir.

Çizelge 2. Denge performansının antrenman öncesi ve sonrası değerleri

Değişken	Grup	Ön test	Son test
Statik denge (%)	KG	28,76 ± 18,15	40,76 ± 17,58
	EG	31,86 ± 21,14	46,46 ± 15,04
Propriyoseptif denge (%)	KG	34,52 ± 16,80	37,70 ± 19,07
	EG	30,26 ± 19,19	53,33 ± 20,57
Dinamik denge, sağ-sol (%)	KG	39,82 ± 15,50	54,82 ± 15,78
	EG	38,46 ± 19,75	54,33 ± 16,58
Dinamik denge, ön-arka (%)	KG	39,23 ± 14,24	45,00 ± 18,85
	EG	49,00 ± 21,85	50,60 ± 19,11

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KG: Kontrol grubu; EG: Egzersiz grubu.

Denge değişkenlerinde grup × zaman ortak etkisi incelendiğinde, propriyoseptif dengedeki gelişimin EG'de KG'ye göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğu belirlendi, $F(1,30) = 12,554$, $p = 0,001$, $\eta p^2 = 0,295$. Statik denge, sağ-sol dinamik denge ve ön-arka dinamik denge değişkenlerinde ise anlamlı grup × zaman ortak etkisi bulunmadı (sırasıyla $p = 0,68$; $p = 0,90$; $p = 0,54$). Bu sonuçlar, direnç antrenmanı programının genel denge performansından çok propriyoseptif denge üzerinde belirgin bir etki oluşturduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Kuvvet performansının antrenman öncesi ve sonrası değerleri

Değişken	Grup	Ön test	Son test
Diz fleksiyonu	KG	11,19 ± 4,41	12,44 ± 3,39
	EG	11,49 ± 4,30	13,53 ± 3,96
Diz ekstansiyonu	KG	20,61 ± 5,61	18,06 ± 3,12
	EG	20,39 ± 10,65	18,10 ± 4,80
Dorsifleksiyon	KG	14,93 ± 4,92	14,79 ± 3,54
	EG	14,40 ± 5,31	15,34 ± 4,87
Plantar fleksiyon	KG	16,33 ± 4,23	19,16 ± 10,42
	EG	16,57 ± 6,04	19,26 ± 11,87
Kor kuvveti (sn)	KG	82,58 ± 53,40	75,09 ± 54,66
	EG	80,09 ± 51,92	110,20 ± 41,91

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KG: Kontrol grubu; EG: Egzersiz grubu; sn: saniye.

Kuvvet değişkenleri incelendiğinde kor kuvvetindeki grup × zaman ortak etkisinin anlamlı olduğu ve EG'deki gelişimin KG'ye göre daha yüksek olduğu belirlendi, $F(1,30) = 9,402$, $p = 0,005$, $\eta p^2 = 0,239$. Buna karşılık diz fleksiyonu, diz ekstansiyonu, dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon kuvvetlerinde anlamlı grup × zaman ortak etkisi saptanmadı (sırasıyla $p = 0,48$; $p = 0,90$; $p = 0,48$; $p = 0,96$). Dolayısıyla program, ölçülen alt ekstremite izometrik kuvvet değişkenlerinde gruplar arası farklı bir gelişim oluşturmazken kor kuvvetinde anlamlı bir katkı sağlamıştır.

Propriyosepsiyon, eklemin konumu ve hareketine ilişkin duyusal bilginin algılanması ile nöromüsküler kontrolü kapsayan önemli bir bileşendir [19,20]. Bu çalışmada propriyoseptif dengede elde edilen anlamlı gelişme, çok eklemli direnç egzersizlerinin postüral kontrol sırasında gerekli olan duyusal-motor bütünleşmeyi desteklemiş olabileceğini düşündürmektedir. Önceki araştırmalar, direnç egzersizlerinin yetişkinlerde denge becerilerini geliştirebildiğini ve özellikle diğer egzersiz türlerine katılamayan bireyler için zaman açısından verimli bir seçenek oluşturabileceğini göstermektedir [7]. Bununla birlikte statik ve dinamik denge değişkenlerinde anlamlı grup × zaman etkisinin görülmemesi; programdaki hareket

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

örüntülerinin bu denge görevlerine özgüllüğünün sınırlı olması ve uygulanan yüklenme özellikleriyle açıklanabilir.

Alt ekstremite izometrik kuvvet değişkenlerinde anlamlı gelişim elde edilememesi, antrenmanın yoğunluğu, set sayısı, hareket seçimi ve ölçümün izometrik niteliğiyle ilişkili olabilir. Direnç antrenmanına yanıtın antrenman hacmi ve sıklığı gibi program değişkenlerinden etkilendiği bilinmektedir [6]. Buna karşın kor kuvvetinin EG'de anlamlı düzeyde artması, dairesel antrenman içeriğinde kor bölgesini etkinleştiren hareketlere düzenli biçimde yer verilmesiyle açıklanabilir. Bu bulgu, program içeriği ile değerlendirilen performans özelliği arasındaki özgüllüğün önemini desteklemektedir.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması bulguların genellenebilirliğini azaltmaktadır. Katılımcıların düzenli egzersiz programına katılmamaları bir dahil edilme ölçütü olmasına karşın günlük fiziksel aktivite düzeyleri nesnel olarak izlenmemiş ve analizlere dahil edilmemiştir. Ayrıca üst ekstremite kas kuvvetinin değerlendirilmemiş olması, direnç antrenmanı programının tüm vücut kuvveti üzerindeki etkilerinin kapsamlı biçimde yorumlanmasını sınırlandırmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

On iki haftalık gözetimli direnç antrenmanı programı, fiziksel olarak inaktif orta yaşlı yetişkinlerde propriyoseptif denge ve kor kuvvetini anlamlı düzeyde geliştirmiştir. Buna karşılık statik denge, dinamik denge ve alt ekstremite izometrik kuvvet değişkenlerinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir gelişim ortaya çıkmamıştır. Bulgular, direnç egzersizine dayalı fiziksel aktivite programlarının özellikle propriyoseptif denge ve kor kuvvetini geliştirmek amacıyla uygulanabilecek önemli bir müdahale seçeneği olduğunu göstermektedir. Gelecek araştırmalarda daha büyük örneklemler kullanılmalı, günlük fiziksel aktivite düzeyi nesnel yöntemlerle izlenmeli ve üst ekstremite kuvveti de değerlendirme kapsamına alınmalıdır. Ayrıca farklı antrenman şiddeti, hacmi ve hareket örüntülerinin denge ve kuvvet bileşenleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] Warburton, D. E., Nicol, C. W. ve Bredin, S. S., Health Benefits of Physical Activity: The Evidence, CMAJ, 174, 801–809, 2006.

[2] World Health Organization, WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour, World Health Organization, Geneva, 2020.

[3] Silva, D. A. S., Tremblay, M. S., Marinho, F., Ribeiro, A. L. P., Cousin, E., Nascimento, B. R. ve ark., Physical Inactivity as a Risk Factor for All-Cause Mortality in Brazil (1990–2017), Population Health Metrics, 18, 13, 2020.

[4] Cunningham, C., O'Sullivan, R., Caserotti, P. ve Tully, M. A., Consequences of Physical Inactivity in Older Adults: A Systematic Review of Reviews and Meta-Analyses, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 30, 816–827, 2020.

[5] Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D. ve Ryan, E. D., Resistance Training for Older Adults: Position Statement from the National Strength and Conditioning Association, Journal of Strength & Conditioning Research, 33, 2019–2052, 2019.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[6] Hagstrom, A. D., Marshall, P. W., Halaki, M. ve Hackett, D. A., The Effect of Resistance Training in Women on Dynamic Strength and Muscular Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-Analysis, Sports Medicine, 50, 1075–1093, 2020.

[7] Šarabon, N. ve Kozinc, Ž., Effects of Resistance Exercise on Balance Ability: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials, Life, 10, 284, 2020.

[8] Kikuchi, N., Ohta, T., Hashimoto, Y., Mochizuki, Y., Saito, M., Kozuma, A. ve ark., Effect of Online Home-Based Resistance Exercise Training on Physical Fitness, Depression, Stress, and Well-Being in Middle-Aged Persons: A Pilot Study, International Journal of Environmental Research and Public Health, 20, 1769, 2023.

[9] Marcos-Pardo, P. J., Espeso-García, A., Vaquero-Cristóbal, R., Abelleira-Lamela, T. ve González-Gálvez, N., The Effect of Resistance Training with Outdoor Fitness Equipment on the Body Composition, Physical Fitness, and Physical Health of Middle-Aged and Older Adults: A Randomized Controlled Trial, Healthcare, 12, 726, 2024.

[10] Marques, D. L., Neiva, H. P., Marinho, D. A. ve Marques, M. C., Manipulating the Resistance Training Volume in Middle-Aged and Older Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis of the Effects on Muscle Strength and Size, Muscle Quality, and Functional Capacity, Sports Medicine, 53, 503–518, 2023.

[11] Shrestha, B. ve Dunn, L., The Declaration of Helsinki on Medical Research Involving Human Subjects: A Review of Seventh Revision, Journal of Nepal Health Research Council, 17, 548–552, 2019.

[12] Merrigan, J. J., Stute, N. L., Eckerle, J. J., Mackowski, N. S., Walters, J. R., O'Connor, M. L. ve ark., Reliability and Validity of Contemporary Bioelectrical Impedance Analysis Devices for Body Composition Assessment, Journal of Exercise and Nutrition, 5(4), 2022.

[13] Drummond, F. A. ve Soares, D. S., Muscle Strength Evaluation with a Digital Manual Dynamometer, British Journal of Sports Medicine, 50(Suppl. 1), A61.2, 2016.

[14] Mentiplay, B. F., Perraton, L. G., Bower, K. J., Adair, B., Pua, Y.-H., Williams, G. P. ve ark., Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study, PLOS ONE, 10, e0140822, 2015.

[15] Tong, T. K., Wu, S. ve Nie, J., Sport-Specific Endurance Plank Test for Evaluation of Global Core Muscle Function, Physical Therapy in Sport, 15, 58–63, 2014.

[16] Mihăilescu, L., Mihai, I. ve Georgescu, F., Determination of Balance Parameters as Physical Training Factors in Athletics, Journal of Physical Education and Sport, 18(Suppl. 5), 2054–2057, 2018.

[17] Thompson, W. R., Worldwide Survey of Fitness Trends for 2023, ACSM's Health & Fitness Journal, 27, 9, 2023.

[18] Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A. ve Stark, R., Outcome Effects and Effect Sizes in Sport Sciences, International Journal of Sports Science and Engineering, 3, 175–179, 2009.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[19] Ergen, E., Ülkar, B. ve Eraslan, A., Proprioception and Coordination, Turkish Journal of Sports Medicine, 42, 57–83, 2007.

[20] Lephart, S. M., Pincivero, D. M., Giraido, J. L. ve Fu, F. H., The Role of Proprioception in the Management and Rehabilitation of Athletic Injuries, American Journal of Sports Medicine, 25, 130–137, 1997.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

GLİOBLASTOMA MULTİFORME TANILI HASTALARDA NORMAL BEYİN DOKUSUNUN ALDIĞI RADYASYON DOZLARININ SAĞKALIM, PROGNOZ ÜZERİNE ETKİSİ

Uzman Dr. Eylem ALİŞ ODABAŞI
Samsun Medical Park Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü,

Samsun, Türkiye

Email: eylemkayramail.com orcid.org/0000-0002-1531-4622

Prof. Dr. SemaYILMAZ RAKICI

Recep Tayyip Erdoğan üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı,

Rize, Türkiye.

Email: sema.rakici@erdogan.edu.tr orcid id: 0000-0002-5543-9761

ÖZET

Amaç: Glioblastoma multiforme (GBM) tanısıyla adjuvan kranial radyoterapi (RT) uygulanan hastalarda genel sağkalım (OS) sürelerini değerlendirmek; sağlıklı beyin dokusunun maruz kaldığı doz-hacim parametrelerinin (V5–V60) ve klinik faktörlerin genel sağkalım üzerindeki bağımsız etkilerini ortaya koymaktır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmaya Ocak 2015 – Ocak 2025 tarihleri arasında histopatolojik olarak GBM (DSÖ Derece 4) tanısı alıp adjuvan RT uygulanan 45 hasta dahil edildi. Demografik ve klinik veriler ile Tedavi Planlama Sisteminden (TPS) elde edilen hedef hacim dışı sağlıklı beyin dokusu (Brain − PTV) doz-hacim parametreleri geriye dönük kaydedildi. Sağkalım süreleri Kaplan–Meier analizi ile belirlendi. Eşik değerler (cut-off) ROC analizi ile hesaplandı. Bağımsız risk faktörleri geriye doğru eleme yöntemi kullanılarak çok değişkenli Cox regresyon analizi ile değerlendirildi.

Bulgular: Hastaların yaş ortancası 59.0 yıl, ortanca OS süresi 12.7 ay (%95 GA: 5.6–25.7) olarak saptandı. Kumülatif 1, 3 ve 5 yıllık sağkalım oranları sırasıyla %46.7, %8.9 ve %2.2 olarak gerçekleşti. ROC analizinde 3 yıllık sağkalımı öngörmede V10 ≤ %64.0 (AUC = 0.837; p = 0.027) ve V20 ≤ %46.3 (AUC = 0.837; p = 0.027) kritik eşik değerler olarak bulundu. Çok değişkenli Cox regresyon analizinde ileri yaş (HR = 1.049; p = 0.019) ve artan V10 hacmi (HR = 1.150; p = 0.042) sağkalımı olumsuz etkileyen bağımsız kötü prognostik faktörler olarak saptandı. Hedef hacimdeki V60 yüksek doz kapsayıcılığı ise koruyucu yönde bağımsız varlığını korudu (HR = 0.913; p = 0.039).

Sonuç: İleri yaşın yanı sıra sağlıklı beyin dokusunun maruz kaldığı düşük doz radyasyon banyosu (V10), GBM hastalarında genel sağkalımı kısaltan ana bağımsız dozimetrik risk faktörüdür. Modern RT planlamalarında (IMRT/VMAT) hedef hacimdeki V60

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kapsayıcılığından ödün vermeden, emniyet marjinlerini (CTV–PTV) optimize ederek V10 ve V20 hacimlerini kritik eşik sınırlarının altında tutmak uzun dönem sağkalımı iyileştirebilir.

Anahtar Kelimeler: Glioblastoma Multiforme, Radyoterapi, Dozimetri, Genel Sağkalım, Düşük Doz Banyosu (V10), Cox Regresyon Analizi, ROC Analizi.

IMPACT OF RADİATİON DOSE TO NORMAL BRAİN TİSSUE ON SURVİVAL AND PROGNOSTİC FACTORS İN PATİENTS WİTH GLİOBLASTOMA

ABSTRACT

Objective: To evaluate overall survival (OS) rates in patients receiving cranial radiotherapy (RT) for Glioblastoma Multiforme (GBM) and to determine the independent effects of dosimetric parameters of healthy brain tissue (V5–V60) and clinical factors on overall survival.

Materials and Methods: Forty-five patients histopathologically diagnosed with GBM (WHO Grade 4) between January 2015 and January 2025 who underwent adjuvant RT were included in this retrospective study. Demographic, clinical data, and dose-volume parameters (V5, V10, V20, V30, V40, V50, V60) of the healthy brain tissue outside the target volume (Brain−PTV) obtained from the Treatment Planning System (TPS) were recorded. Survival durations were determined using the Kaplan–Meier method. Critical threshold values (cut-offs) for dosimetric parameters predicting 3-year OS were calculated via ROC curve analysis. Independent risk factors were evaluated using multivariate Cox proportional hazards regression analysis with a backward elimination approach.

Results: The median age of the patients was 59.0 years, and the median OS time was 12.7 months (95% CI: 5.6–25.7). The cumulative 1-, 3-, and 5-year survival rates were 46.7%, 8.9%, and 2.2%, respectively. In ROC analysis, V10 ≤ 64.0% (AUC = 0.837; p = 0.027) and V20 ≤ 46.3% (AUC = 0.837; p = 0.027) were identified as critical cutoff thresholds for predicting 3-year survival. In multivariate Cox regression analysis, advanced age (HR = 1.049; 95% CI: 1.008–1.091; p = 0.019) and increased V10 volume (HR = 1.150; 95% CI: 1.005–1.315; p = 0.042) were determined to be independent adverse prognostic factors negatively impacting survival. Conversely, the V60 high-dose target coverage parameter maintained an independent protective effect (HR = 0.913; 95% CI: 0.838–0.996; p = 0.039).

Conclusion: In addition to advanced age, the low-dose radiation bath (V10) received by healthy brain tissue is the primary independent dosimetric risk factor shortening overall survival in GBM patients. Restricting V10 and V20 volumes below their critical threshold limits during RT planning via target margin optimization may improve long-term survival outcomes.

Keywords: Glioblastoma Multiforme, Radiotherapy, Dosimetry, Overall Survival, Low-Dose Bath (V10), Cox Regression Analysis, ROC Analysis.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. GİRİŞ

Glioblastoma Multiforme (GBM), erişkinlerde görülen en sık ve en agresif primer beyin tümörüdür. Standart tedavi yaklaşımı; maksimal güvenli cerrahi rezeksiyonu takiben uygulanan eşzamanlı ve adjuvan Temozolomid (TMZ) kemoradyoterapisidir. Ancak bu multimodal tedaviye rağmen hastaların büyük çoğunluğunda lokal nüks veya tümör ilerlemesi gelişmekte, genel sağkalım süreleri oldukça kısıtlı kalmaktadır.

Radyoterapi (RT) tedavinin temel bir bileşeni olmakla birlikte, tümör çevresindeki sağlıklı beyin dokusunun ışınlanması önemli klinik yan etkilere yol açmaktadır. Yüksek radyasyon dozları nöro-bilişsel kayıplara ve radyasyon nekrozuna neden olurken; geniş beyin hacimlerinin düşük dozlara maruz kalması dolaşımdaki olgun lenfositleri apoptoza uğratarak radyasyona bağlı şiddetli sistemik lenfopeniyi indüklemekte ve antitümoral immün yanıtı baskılamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; kranial RT uygulanan GBM olgularında genel sağkalım sürelerini değerlendirmek, sağlıklı beyin dokusuna ait dozimetrik parametrelerin (V5–V60) bağımsız etkilerini saptamak ve uzun dönem sağkalımı öngören kritik doz-hacim eşik değerlerini belirlemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmamız retrospektif, tek merkezli bir klinik araştırma olarak tasarlanmıştır (RTEÜ Etik Kurul Onay No: 2025/248). Ocak 2015 – Ocak 2025 tarihleri arasında histopatolojik olarak GBM (DSÖ Derece 4) tanısı alan ve adjuvan RT uygulanan 45 hasta dahil edilmiştir.

Tedavi Planlama Sisteminden (TPS) GTV, CTV, PTV hacimleri, toplam beyin hacmi ve hedef hacim dışında kalan korunan sağlıklı beyin dokusuna (Brain − PTV) ait doz-hacim parametreleri (V5, V10, V20, V30, V40, V50, V60) elde edilmiştir. Sağkalım analizleri Kaplan–Meier yöntemi ile yapılmış, optimal eşik değerler ROC analizi (Youden İndeksi) ile hesaplanmıştır. Bağımsız risk faktörleri ise geriye doğru eleme yöntemi ile çok değişkenli Cox regresyon modeli kullanılarak analiz edilmiştir ($p < 0.05$ anlamlı kabul edilmiştir).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Hastaların yaş ortancası 59.0 yıl (IQR: 50.0–70.0) olup, %37.8'i (n=17) kadındır. Hastaların %66.7'sine IMRT, %17.8'ine 3D-CRT ve %15.6'sına VMAT uygulanmıştır. Ortanca toplam RT dozu 60.0 Gy, ortanca PTV hacmi 322.0 cm^3, korunan sağlıklı beyin dokusu hacmi (Brain − PTV) ortanca 1030.6 cm^3'tür. Hastaların %95.6'sı (n=43) eşzamanlı/adjuvan Temozolomid almıştır.

Takip süresi sonunda hastaların %71.1'i (n=32) vefat etmiştir. Ortanca genel sağkalım süresi 12.7 ay (%95 GA: 5.6–25.7 ay) olarak bulunmuştur. Kumülatif 1, 3 ve 5 yıllık sağkalım oranları sırasıyla %46.7, %8.9 ve %2.2'dir.

3 yıllık genel sağkalımı öngörmede yapılan ROC analizinde V10 ≤ %64.0 (AUC = 0.837, p = 0.027) ve V20 ≤ %46.3 (AUC = 0.837, p = 0.027) kritik eşik değerler olarak saptanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çok değişkenli Cox regresyon analizinde ileri yaş (HR = 1.049; %95 GA: 1.008–1.091; p = 0.019) ve artan V10 hacmi (HR = 1.150; %95 GA: 1.005–1.315; p = 0.042) bağımsız kötü prognostik faktörler olarak bulunmuştur. V10 değerindeki her %1'lik artış ölüm riskini %15.0 oranında artırmaktadır. Hedef hacimdeki V60 yüksek doz kapsayıcılığı ise koruyucu bir etki göstermiştir (HR = 0.913; %95 GA: 0.838–0.996; p = 0.039).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmamız, sağlıklı beyin dokusunun maruz kaldığı dozimetrik parametrelerin genel sağkalım üzerindeki belirleyici rolünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. İleri yaş ölüm riskini bağımsız olarak artıran ana klinik prognostik faktördür (HR = 1.049).

Dozimetrik açıdan, sağlıklı beyin dokusunun maruz kaldığı düşük doz banyosunu temsil eden V10 hacmindeki artış sağkalımı kısıtlayan en güçlü bağımsız risk faktörüdür (HR = 1.150). Geniş sağlıklı beyin hacimlerinin düşük dozlara maruz kalması mikrovasküler hasardır, nöral kök hücre kaybına ve radyasyona bağlı şiddetli sistemik lenfopeniye yol açarak antitümoral bağışıklığı baskılamaktadır. ROC analizinde saptanan V10 ≤ %64.0 ve V20 ≤ %46.3 eşik değerlerinin aşılması 3 yıllık genel sağkalımı düşürmektedir.

Buna karşın, hedef hacimdeki V60 yüksek doz kapsayıcılığı lokal tümör kontrolünü sağlayarak sağkalım üzerinde bağımsız bir koruyucu etki sunmaktadır (HR = 0.913).

Klinik Sonuç: IMRT ve VMAT gibi modern radyoterapi tekniklerinde temel strateji; hedef hacimdeki V60 yüksek doz kapsayıcılığından ödün vermeden, emniyet marjinlerini (CTV–PTV) optimize ederek sağlıklı beyin dokusunun maruz kaldığı düşük doz banyosunu (V10, V20) kısıtlamak ve böylece normal doku toksisitesini azaltarak genel sağkalım sürelerini artırmak olmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Ostrom QT, Price M, Neff C, Cioffi G, Waite KA, Kruchko C, Barnholtz-Sloan JS: **CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2015-2019**. *Neuro-oncology* 2022, **24**(Suppl 5):v1-v95.
2. Stupp R, Mason WP, van den Bent MJ, Weller M, Fisher B, Taphoorn MJ, Belanger K, Brandes AA, Marosi C, Bogdahn U *et al*: **Radiotherapy plus concomitant and adjuvant temozolomide for glioblastoma**. *The New England journal of medicine* 2005, **352**(10):987-996.
3. Wen PY, Weller M, Lee EQ, Alexander BM, Barnholtz-Sloan JS, Barthel FP, Batchelor TT, Bindra RS, Chang SM, Chiocca EA *et al*: **Glioblastoma in adults: a Society for Neuro-Oncology (SNO) and European Society of Neuro-Oncology (EANO) consensus review on current management and future directions**. *Neuro-oncology* 2020, **22**(8):1073-1113.
4. Greene-Schloesser D, Robbins ME, Peiffer AM, Shaw EG, Wheeler KT, Chan MD: **Radiation-induced brain injury: A review**. *Frontiers in oncology* 2012, **2**:73.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

5. Marks LB, Yorke ED, Jackson A, Ten Haken RK, Constine LS, Eisbruch A, Bentzen SM, Nam J, Deasy JO: **Use of normal tissue complication probability models in the clinic**. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2010, **76**(3 Suppl):S10-19.
6. Kim N, Lee J, Shin H, Shin J, Nam DH, Lee JI, Seol HJ, Kong DS, Choi JW, Chong K *et al*: **Nomogram for radiation-induced lymphopenia in patients receiving intensity-modulated radiotherapy based-chemoradiation therapy for newly diagnosed glioblastoma: A multi-institutional study**. *Clinical and translational radiation oncology* 2024, **47**:100799.
7. Yovino S, Kleinberg L, Grossman SA, Narayanan M, Ford E: **The etiology of treatment-related lymphopenia in patients with malignant gliomas: modeling radiation dose to circulating lymphocytes explains clinical observations and suggests methods of modifying the impact of radiation on immune cells**. *Cancer investigation* 2013, **31**(2):140-144.
8. Horsman MR, Overgaard J: **The impact of hypoxia and its modification of the outcome of radiotherapy**. *Journal of radiation research* 2016, **57 Suppl 1**(Suppl 1):i90-i98.
9. Kumar N, Kumar R, Sharma SC, Mukherjee A, Khandelwal N, Tripathi M, Miriyala R, Oinam AS, Madan R, Yadav BS *et al*: **Impact of volume of irradiation on survival and quality of life in glioblastoma: a prospective, phase 2, randomized comparison of RTOG and MDACC protocols**. *Neuro-oncology practice* 2020, **7**(1):86-93.
11. Niyazi M, Brada M, Chalmers AJ, Combs SE, Erridge SC, Fiorentino A, Grosu AL, Lagerwaard FJ, Minniti G, Mirimanoff RO *et al*: **ESTRO-ACROP guideline "target delineation of glioblastomas"**. *Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* 2016, **118**(1):35-42.
12. Louis DN, Perry A, Wesseling P, Brat DJ, Cree IA, Figarella-Branger D, Hawkins C, Ng HK, Pfister SM, Reifenberger G *et al*: **The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary**. *Neuro-oncology* 2021, **23**(8):1231-1251.
14. Zhang Y, Chen S, Chen H, Chen S, Li Z, Feng E, Li WJFiN: **Prognostic value and risk factors of treatment-related lymphopenia in malignant glioma patients treated with chemoradiotherapy: a systematic review and meta-analysis**. 2022, **12**:726561.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KÜÇÜK HÜCRELİ DIŞI AKCİĞER KANSERLİ HASTALARDA RADYOTERAPİNİN SERUM VEGF VE GM-CSF DÜZEYLERİNE ETKİSİ VE KLİNİKOPATOLOJİK PARAMETRELERLE İLİŞKİSİ

Uzman Dr. Eylem ALİŞ ODABASI

Department of Radiation Oncology, Medical Park Samsun Hospital, Samsun, Turkiye.

Email: eylemkayra@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-1531-4622

ÖZET

Amaç: Tümör anjiyojenezi ve immün yanıt, küçük hücreli dışı akciğer kanseri (KHDAK) patojenezinde kritik role sahiptir. Bu çalışmada, radyoterapi (RT) uygulanan KHDAK'li hastalarda serum VEGF (sVEGF) ve serum GM-CSF (sGM-CSF) düzeylerinin RT öncesi, RT sonrası ve RT sonrası 3. aydaki değişimlerini incelemek, birbirleriyle ve klinikopatolojik parametrelerle ilişkisini değerlendirmek amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Kliniğine başvuran, histopatolojik olarak KHDAK tanısı konulmuş, evre IA-IIIB 30 hasta dâhil edildi. Hastalara 3B konformal RT uygulandı. Kan örnekleri RT öncesinde, RT bitiminde ve RT sonrası 3. ayda (20 hasta) toplandı. sVEGF ve sGM-CSF seviyeleri ELISA yöntemiyle ölçüldü. İstatistiksel değerlendirmelerde Wilcoxon, Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U, Spearman korelasyon ve Kaplan-Meier testleri kullanıldı.

Bulgular: RT öncesi median sVEGF düzeyi 401,96 pg/mL iken, RT sonrası anlamlı bir düşüş göstererek 368,64 pg/mL'ye geriledi ($p = 0{,}02$). RT sonrası 3. ayda ise minimal bir artış (372,04 pg/mL) gözlendi ($p = 0{,}85$). sGM-CSF düzeylerinde ise RT öncesi (95,56 pg/mL), RT sonrası (96,50 pg/mL) ve 3. ay (93,44 pg/mL) ölçümleri arasında anlamlı bir değişim saptanmadı. Karnofsky Performans Skoru (KPS) düşük (%70-80) olan hastalarda sVEGF düzeyleri, KPS yüksek (%90-100) olanlara göre RT öncesi ve 3. ayda anlamlı derecede yüksek bulundu ($p = 0{,}01$). RT dozu <50 Gy olan grupta RT öncesi sVEGF seviyeleri daha yüksekken ($p = 0{,}01$), ≥ 50 Gy doz alan grupta RT öncesi sGM-CSF seviyeleri yüksek saptandı ($p = 0{,}02$). Sağkalım üzerine biyobelirteçlerin doğrudan etkisi gösterilemedi.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Sonuç: RT, KHDAK'li hastalarda sVEGF düzeylerinde anlamlı bir azalmaya yol açmaktadır; kötü performans durumunun yüksek sVEGF ile ilişkisi bu molekülün prognostik değerini desteklemektedir. sGM-CSF düzeyleri RT'den belirgin etkilenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: KHDAK, Radyoterapi, VEGF, GM-CSF, Anjiyojenez.

THE EFFECT OF RADIOTHERAPY ON SERUM VEGF AND GM-CSF LEVELS IN PATIENTS WITH NON-SMALL CELL LUNG CANCER AND ITS RELATIONSHIP WITH CLINICOPATHOLOGICAL PARAMETERS

ABSTRACT

Objective: Tumor angiogenesis and immune response play a critical role in the pathogenesis of non-small cell lung cancer (NSCLC). This study aimed to evaluate the changes in serum VEGF (sVEGF) and serum GM-CSF (sGM-CSF) levels before radiotherapy (RT), immediately after RT, and at the 3rd month post-RT in patients with NSCLC undergoing RT, and to assess their relationships with each other and various clinicopathological parameters.

Materials and Methods: Thirty patients diagnosed histopathologically with stage IA-IIIB NSCLC who presented to the Ondokuz Mayıs University Radiation Oncology Clinic were enrolled in the study. Patients received 3D conformal RT. Blood samples were collected prior to RT, at the end of RT, and at the 3rd month post-RT (20 patients). sVEGF and sGM-CSF levels were measured using the ELISA method. Statistical analyses were performed using Wilcoxon, Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U, Spearman correlation, and Kaplan-Meier tests.

Results: The median pre-RT sVEGF level was 401.96 pg/mL, which significantly decreased to 368.64 pg/mL post-RT ($p = 0.02$). At the 3rd month post-RT, a minimal increase (372.04 pg/mL) was observed ($p = 0.85$). No statistically significant changes were detected in sGM-CSF levels between pre-RT (95.56 pg/mL), post-RT (96.50 pg/mL), and 3rd-month (93.44 pg/mL) measurements. In patients with a lower Karnofsky Performance Score (KPS 70-80%), sVEGF levels were significantly higher before RT and at the 3rd month compared to those with a higher KPS (90-100%) ($p = 0.01$). While pre-RT sVEGF levels were higher in the group receiving a radiation dose of <50 Gy ($p = 0.01$), pre-RT sGM-CSF levels were significantly

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

higher in the group receiving ≥ 50 Gy ($p = 0.02$). No direct effect of these biomarkers on overall survival was demonstrated.

Conclusion: RT leads to a significant decrease in sVEGF levels in patients with NSCLC; the association of poor performance status with high sVEGF levels supports the potential prognostic value of this molecule. sGM-CSF levels were not significantly affected by RT.

Keywords: NSCLC, Radiotherapy, VEGF, GM-CSF, Angiogenesis.

1. GİRİŞ

Tümör anjiyojenezi, KHDAK gelişimi, büyümesi ve metastaz süreçleriyle doğrudan ilişkilidir. Anjiyojenezi regüle eden en potent molekül Vasküler Endoteliyel Gelişim Faktörüdür (VEGF). Yüksek tümör VEGF ekspresyonunun ileri tümör evresi ve kötü sağkalımla ilişkili olduğu bilinmektedir.

Granülosit-makrofaj koloni uyarıcı faktör (GM-CSF) ise inflamasyon ve immün sistem regülasyonunda görev alan bir sitokindir. Radyoterapi (RT), doku inflamasyonunu ve hücresel stresi tetikleyen lokal sitotoksik bir tedavidir. İyonizan radyasyonun tümör mikroçevresinde VEGF ve GM-CSF düzeylerini ne yönde etkilediği ve bu iki biyobelirtecin birbiriyle olan hümoral etkileşimi henüz tam olarak netleştirilememiştir.

Bu çalışmanın amacı, RT uygulanan KHDAK'li hastalarda sVEGF ve sGM-CSF düzeylerinin zamana bağlı değişimlerini incelemek ve bu değişimlerin klinikopatolojik parametrelerle ilişkisini ortaya koymaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (GEREÇ VE YÖNTEM)

- **Hasta Popülasyonu:** Çalışmaya histopatolojik olarak KHDAK tanısı konulmuş, KPS $\geq \%70$, daha önce RT almamış, Evre IA-IIIB 30 hasta (medikal inoperabl, rezeke edilemeyen veya evre IIIB) dâhil edildi.
- **Tedavi ve Kan Örneklemesi:** Hastalara BT simülatör eşliğinde Lineer Hızlandırıcı cihazı ile 3 boyutlu konformal RT (3B-KRT) uygulandı. Kan örnekleri RT öncesinde (1. gün), RT bitiminde ve RT sonrası 3. ayda (20 hasta) toplandı. Serumlar $-70°C$'de saklandı.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

- **Laboratuvar ve İstatistiksel Analiz:** Serum VEGF ve GM-CSF düzeyleri ELISA yöntemiyle ölçüldü. Verilerin analizinde Wilcoxon, Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U, Spearman korelasyon analizi ve Kaplan-Meier sağkalım testleri kullanıldı ($p < 0,05$ anlamlı kabul edildi).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- **sVEGF Değişimi:** RT öncesi median sVEGF düzeyi 401,96 pg/mL iken, RT sonrasında istatistiksel olarak anlamlı bir düşüşle 368,64 pg/mL'ye gerilemiştir ($p = 0,02$). 3. aydaki median sVEGF düzeyi ise 372,04 pg/mL olarak ölçülmüş olup RT sonrası değerlerle arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p = 0,85$).
- **sGM-CSF Değişimi:** Serum GM-CSF düzeyleri RT öncesi 95,56 pg/mL, RT sonrası 96,50 pg/mL ve 3. ayda 93,44 pg/mL olarak ölçülmüştür. Ölçüm zamanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir değişim izlenmemiştir ($p > 0,05$).
- **Klinikopatolojik İlişkiler:**

  Performans Skoru (KPS): Düşük performanslı (KPS %70-80) grupta sVEGF düzeyleri, yüksek performanslı (KPS %90-100) gruba göre RT öncesi ve 3. ayda anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p = 0,01$).

  RT Dozu: RT öncesi sVEGF düzeyleri < 50 Gy doz alan grupta anlamlı olarak yüksekken ($p = 0,01$), ≥ 50 Gy alan grupta sGM-CSF düzeyleri anlamlı olarak yüksek saptanmıştır ($p = 0,02$). ≥ 50 Gy grupta sVEGF düşüşünün takipte stabil kaldığı izlenmiştir.

  Tedavi Yanıtı ve Evre: Evre IIIB hastalarında RT sonrası sVEGF düşüşü anlamlı bulunmuştur ($p = 0,03$). Tam yanıt alınan grupta sVEGF düşüş eğilimi 3. ayda da devam etmiştir ($p = 0,09$).
- **Sağkalım:** sVEGF veya sGM-CSF seviyeleri ile genel sağkalım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon gösterilememiştir. sVEGF ve sGM-CSF arasında zamana bağlı ters yönlü bir eğilim görülmüş ancak korelasyon tespit edilememiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmamız, torasik RT uygulamasının KHDAK'li hastalarda sVEGF düzeylerinde belirgin ve anlamlı bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Bu durum, RT'nin tümör kitlesini küçültmesi ve anjiyojenik uyarımı baskılaması ile açıklanabilir. Kötü performans skoruna sahip hastalarda sVEGF seviyelerinin yüksek seyretmesi, sVEGF'in hastalığın biyolojik yükünü yansıtan potansiyel bir prognostik parametre olabileceğini düşündürmektedir.

sGM-CSF düzeylerinin RT ile anlamlı bir değişim göstermemesi, lokalize iyonizan radyasyonun sistemik GM-CSF havuzunu belirgin etkilemediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sVEGF ve sGM-CSF arasındaki zamansal ters yönlü eğilim, literatürdeki GM-CSF'in VEGF'i baskılayabileceğine dair deneysel verileri akla getirmektedir.

Sonuç olarak, sınırlı hasta sayısı ve heterojen evre dağılımı çalışmamızın temel kısıtlılıklarıdır. sVEGF ve sGM-CSF biyobelirteçlerinin RT ile etkileşimini, anjiyojenez ve abskopal yanıtlar üzerindeki net rolünü ortaya koyabilmek için daha geniş, homojen ve prospektif hasta serilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Jung YD, Mansfield PF, Akagi M, et al. Effects of combination anti-vascular endothelial growth factor receptor and anti-epidermal growth factor receptor therapies on the growth of gastric cancer in nude mice model. *Eur J Cancer*. 2002;38(8):1133-1140.
2. Kim ES, Serur A, Huang J, et al. Potent VEGF blockade causes regression of coopted vessels in a model of neuroblastoma. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2002;99(17):11399-11404.
3. Imoto H, Osaki T, Taga S, et al. VEGF expression in non-small cell lung cancer: prognostic significance in squamous cell carcinoma. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;115(5):1007-1014.
4. Fontanini G, Vignati S, Boldrini L, et al. Vascular endothelial growth factor is associated with neovascularization and influences progression of non-small cell lung carcinoma. *Clin Cancer Res*. 1997;3(5):861-865.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

5. Poon RT, Fan ST, Wong J. Clinical implications of circulating angiogenic factors in cancer patients. *J Clin Oncol*. 2001;19(4):1207-1225.

6. Koukourakis MI, Giatromanolaki A, Sivridis E, et al. Squamous cell head and neck cancer: evidence of angiogenic regeneration during radiotherapy. *Anticancer Res*. 2001;21(6A):4301-4309.

7. Gorski DH, Beckett MA, Jaskowiak NT, et al. Blockade of the vascular endothelial growth factor stress response increases the antitumor effects of ionizing radiation. *Cancer Res*. 1999;59(14):3374-3378.

8. Wachsberger P, Burd R, Dicker AP. Tumor response to ionizing radiation combined with antiangiogenesis or vascular targeting agents: exploring mechanisms of interaction. *Clin Cancer Res*. 2003;9(6):1957-1971.

9. Gridley DS, Loredo LN, Slater JD, et al. Pilot evaluation of cytokine levels in patients undergoing radiotherapy for brain tumor. *Cancer Detect Prev*. 1998;22(1):20-29.

10. Ria R, Reale A, Russo F, et al. Serum levels of angiogenic cytokines decrease after antineoplastic radiotherapy. *Cancer Lett*. 2004;216(1):103-107.

11. Crohns M, Saarelainen S, Laine S, et al. Cytokines in bronchoalveolar lavage fluid and serum of lung cancer patients during radiotherapy: association of interleukin-8 and VEGF with survival. *Cytokine*. 2009;45(1):30-36.

12. Bienvenu J. Exploration of cytokines in biological fluids. *C R Seances Soc Biol Fil*. 1995;189(4):545-555.

13. Mullington JM, Hinze-Selch D, Pollmächer T. Mediators of inflammation and their interaction with sleep: relevance for cytokine-based therapeutics and disease states. *Ann N Y Acad Sci*. 2001;933:201-210.

14. Fedorocko P, Egyed A, Vacek A. Irradiation induces increased production of haemopoietic and proinflammatory cytokines in the mouse lung. *Int J Radiat Biol*. 2002;78(4):305-313.

15. Eubank TD, Roberts R, Galloway M, et al. GM-CSF induces expression of soluble VEGF receptor-1 from human monocytes and inhibits angiogenesis in mice. *Immunity*. 2004;21(6):831-842.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

CLINICAL DECISION-MAKING FOR THE RESTORATION OF ENDODONTICALLY TREATED POSTERIOR TEETH: A CROSS-SECTIONAL SURVEY AMONG DENTISTS

Mehmet Kutluhan UÇUK[1], Didar Dilan HARTAVİ[2]

[1]Assistant Professor, Biruni University, Faculty of Dentistry, Department of Endodontics, Istanbul, Türkiye
E-mail: mkucuk@biruni.edu.tr – ORCID ID: 0000-0001-6719-9286

[2]Assistant Professor, Biruni University, Faculty of Dentistry, Department of Restorative Dentistry, Istanbul, Türkiye
E-mail: dhartavi@biruni.edu.tr – ORCID ID: 0009-0008-0451-8735

ABSTRACT

Objective: Restoring endodontically treated posterior teeth can be challenging because treatment decisions depend on the amount of remaining tooth structure and the need to provide adequate retention and cuspal protection. This study aimed to examine dentists' preferences in different restorative scenarios and to explore whether these preferences were associated with demographic and professional characteristics.

Materials and Methods: This cross-sectional web-based survey included 134 dentists who participated voluntarily after providing electronic informed consent. The questionnaire included demographic and professional questions, 10 standardized clinical scenarios, and five statements addressing remaining coronal structure, cuspal coverage, ferrule, post placement, suspected cracks, timing of definitive restoration, and rubber dam isolation. Responses were summarized as frequencies and percentages. Associations between demographic or professional characteristics and categorical responses were assessed using Pearson's chi-square tests. The Benjamini–Hochberg procedure was applied to control the false discovery rate, and Cramer's V was used to estimate effect size.

Results: Restorative preferences varied with the extent of remaining tooth structure. For a mandibular molar with four largely preserved axial walls, direct restoration without cuspal coverage was the most common choice (n=96, 72.2%). With loss of marginal ridges, extensive coronal tissue loss, MOD involvement in premolars, or limited ferrule, preferences shifted toward partial cuspal-coverage restorations or full crowns. The most frequently reported indication for post placement was insufficient remaining coronal structure to retain the definitive restoration (n=91, 68.9%). Age was significantly associated with the timing of definitive restoration (χ^2=29.73, df=9, p<0.001, adjusted p=0.018, Cramer's V=0.274), as was professional experience (χ^2=36.66, df=9, p<0.001, adjusted p=0.002, Cramer's V=0.307).

Conclusion: Dentists primarily based restorative decisions on remaining tooth structure, ferrule, cuspal protection, and coronal sealing. However, differences in post placement, crack management, timing of definitive restoration, and rubber dam use suggest that clinical

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

approaches remain variable. Scenario-based and interdisciplinary education may support more consistent decision-making by integrating endodontic prognosis with contemporary adhesive restorative principles.

Keywords: Endodontically Treated Teeth; Posterior Teeth; Dental Restoration; Clinical Decision-Making; Dental Surveys

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

HASTANE TEMİZLİK SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU

Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
sersoz@kku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-7534-6837

Arş. Gör. Semra TEBRİZCİK
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
semra.tebrizcik@kku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-2984-7403

ÖZET

Sağlık kurumlarında hizmet kalitesinin ve hasta güvenliğinin sürdürülebilirliği, temizlik ve hijyen süreçlerinin etkinliğine bağlıdır. Özellikle sağlık hizmetiyle ilişkili enfeksiyonların (SHİE) önlenmesinde temizlik faaliyetleri kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, hastanelerde temizlik personelinin birimler arasında adil, uygulanabilir ve izlenebilir biçimde çizelgelenmesi problemine odaklanılmıştır. Çalışmada, önceden bilinen planlı temizlik işleri matematiksel optimizasyon yaklaşımıyla çizelgelenmekte olup taburcu ve talep gibi olay tetikli işler ise gerçek zamanlı bir karar mekanizmasıyla ele alınmaktadır. Personelin birimler arasında dönüşümünü sağlayan rotasyon ile yetkinlik ve kapasite gereksinimleri, çizelgeleme yaklaşımının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Önerilen yaklaşım, temizlik personeli çizelgelemesinde sıklıkla göz ardı edilen rotasyon ve planlı/olay tetikli işleri bir arada ele alan bütünleşik planlama boyutlarını bir araya getirmesi açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hastane Temizliği, Personel Çizelgeleme, Optimizasyon, Hizmet Kalitesi, Sağlık Hizmetiyle İlişkili Enfeksiyon

1. GİRİŞ

Sağlık kurumlarında hizmet kalitesinin sürdürülebilirliği, yalnızca tanı ve tedavi süreçleriyle değil, aynı zamanda temizlik ve hijyen uygulamalarının etkinliğiyle de yakından ilişkilidir. Hastane ortamındaki temizlik faaliyetleri, enfeksiyonların önlenmesi, hasta güvenliğinin sağlanması ve kurum imajının korunması açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle temizlik süreçlerinin sistematik biçimde planlanması ve etkin biçimde yürütülmesi, sağlık işletmelerinin bütüncül hizmet kalitesini artıran temel unsurlardan biridir.

Temizlik hizmetinin niteliği, doğrudan hasta güvenliğini etkileyen bir faktör olduğundan, bu hizmeti yürüten personelin doğru ve dengeli biçimde planlanması önem taşımaktadır. Bir hastanede tüm birimler aynı temizlik yükünü taşımaz, yoğun bakım gibi ağır birimler daha sık, riskli ve titiz temizlik gerektirirken, poliklinik ve bazı servisler görece daha hafiftir. Bu farklılıklar dikkate alınmadan yapılan atamalarda, ağır birimler sürekli aynı personele kalabilmekte ve personel arasında iş dağılımı açısından dengesizlikler ortaya çıkabilmektedir.

Nitekim ilgili literatürde, temizlik yöntemi ve sıklığının birimin enfeksiyon riskine ve yüzeylerin hasta ile temas yoğunluğuna göre bir risk değerlendirmesiyle belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır; hastaya en yakın ve en sık dokunulan (yüksek temaslı) yüzeyler en yüksek bulaş riskini taşımakta, hedefe yönelik ve sık temizlik ise SHİE riskini azaltmaktadır (Dancer ve Kramer, 2019; CDC ve ICAN, 2019). Ayrıca bir hastanın, patojen taşıyan bir önceki hastadan boşalan odaya yatırılması o patojeni

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

edinme riskini belirgin biçimde artırmakta olup bu durum taburculuk sonrası derin temizliğin önemini ortaya koymaktadır (Carling ve Bartley, 2010).

Bu ilkeler, farklı birimlerin temizlik yüklerinin ve odak noktalarının birbirinden ayrıştığını göstermektedir. Örneğin, ortopedi servisinde açık yaralar, cerrahi dren ve alçı uygulamaları nedeniyle daha yüksek bir kirlilik yükü ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yakın-hasta yüzeylerinin sık temizliği, kan ve vücut sıvısı dökülmelerinin yönetimi ile taburculuk sonrası derin temizlik ön plana çıkar. Göz biriminde ise zemin ve yüzey kirliliği görece daha düşüktür. Dolayısıyla temizlik süresi, sıklığı, yöntemi ve gereken personel yetkinliği birimden birime değişmekte olup, bu da tüm birimlere eşdeğer kaynak ayrılması varsayımını geçersiz kılarak yetkinlik ve kapasiteyi gözeten bütünleşik bir çizelgeleme ihtiyacını güçlendirmektedir.

1.1. Sağlık Hizmetiyle İlişkili Enfeksiyonlar (SHİE)

SHİE bir hastanın sağlık kuruluşunda bakım aldığı sırada gelişen, kuruma başvuru anında var olmayan ve kuluçka döneminde de bulunmayan enfeksiyonlar olarak tanımlanır (Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2026). Sürveyans ölçütlerine göre bu enfeksiyonlar, taburculuk sonrasında da görülebilen ve cerrahi alan enfeksiyonlarında girişimden sonra 30 güne kadar uzanabilen enfeksiyonları kapsamaktadır (Horan vd., 2008).

SHİE, dünya genelinde hasta güvenliğini tehdit eden en yaygın istenmeyen olaylardan biri olup yatan hastaların önemli bir bölümünü etkilemekte, yatış süresini ve tedavi maliyetlerini artırmakta ve mortaliteye sebep olmaktadır (WHO, 2024). Temizlik ve hijyen süreçleri, bu enfeksiyonlara karşı ilk savunma hattını oluşturur. Dolayısıyla temizlik faaliyetlerinin standartlara uygun, zamanında ve izlenebilir biçimde yürütülmesi, enfeksiyon kontrolünün ayrılmaz bir parçasıdır.

Temizlik hizmetlerinin bu kritik rolü, söz konusu hizmeti yürüten personelin planlanmasını da önemli bir karar problemi hâline getirmektedir. Personel çizelgeleme, sınırlı iş gücünün görevlere, vardiyalara ve çalışma alanlarına çeşitli kısıtlar altında atanması problemidir ve sağlık alanında, özellikle hemşire çizelgelemesi bağlamında yoğun biçimde çalışılmıştır (Burke vd., 2004; Ernst vd., 2004). Buna karşın, temizlik personelinin çizelgelenmesine ve bu personelin birimler arasında dönüşümünü (rotasyonunu) gözeten yaklaşımlara yönelik çalışmalar sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, temizlik personelinin birimler arasında adil, uygulanabilir ve takip edilebilir biçimde çizelgelenmesine yönelik bütünleşik bir yaklaşım önermektir. Bu kapsamda, önceden bilinen planlı temizlik işleri matematiksel optimizasyon yaklaşımıyla çizelgelenmekte, taburcu veya talep gibi önceden öngörülemeyen olay tetikli işler ise gerçek zamanlı bir karar mekanizmasıyla ele alınmaktadır. Yaklaşımın teknik ayrıntıları ve matematiksel modelin biçimsel yapısı bu bildirinin kapsamı dışında tutularak çalışmanın genel çerçevesi, gerekçesi ve ilgili literatürdeki konumu ön plana çıkarılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çizelgeleme ve optimizasyon literatüründe, sağlık kurumlarındaki personel planlamasına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar farklı yöntemler ve amaçlar benimsemekle birlikte, temizlik personelinin çizelgelenmesini ve birimler arası rotasyonu bütünleşik biçimde ele alan yaklaşımlar açısından sınırlı kalmaktadır. Aşağıda konuyla en yakından ilişkili çalışmalar ele alınmaktadır.

Ongenae ve arkadaşları (2017), hastane ortamında hasta bakımından sorumlu personelin görevlerini otomatik olarak önceliklendirip atayan kural tabanlı akıllı bir görev yönetim platformu geliştirmiştir. Çalışmada, uygun ve o an müsait adaylar arasından en uygun görevliyi belirleyen ağırlıklı bir seçim algoritması kullanılmış; uzman bir panel tarafından belirlenen ağırlıklarla hasta ile görevli arasındaki

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

mesafe, görevlinin hastayla ilişkisi ve iş yükü dağılımı değerlendirilmiştir. Yaklaşım, görevleri temel olarak sayısal bir dağılım üzerinden ele almaktadır.

Ünlüsoy ve Eren (2016), kamu binalarında temizlik çizelgeleme problemini ele almış ve problemi paralel makineli çizelgeleme problemine benzeterek tamsayılı programlama ile modellemiştir. Çalışmada, bina belirli alanlara ayrılmış ve alanların işlem süreleri ölçülen metrekare bilgilerine göre farklılaştırılmıştır. Model, günlük toplam tamamlanma zamanını enküçükleyerek personelin boşta bekleme süresini azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışma, tüm personeli özdeş varsaymaktadır.

Özder, Varlı ve Eren (2017), yirmi dört saat hizmet veren bir üniversite hastanesinde temizlik personelinin bir aylık çizelgesini kurmak için bir hedef programlama modeli önermiştir. Önerilen model kıdem derecesi, vardiya, izin ve ardışık çalışma gibi kısıtları içermekte ve deneyimli personelin gece vardiyalarına atanması gibi hedefleri gözetmektedir. Sonuçlar, elle hazırlanan mevcut çizelgeye kıyasla daha dengeli atamalar sağlamıştır.

Parıldar, Akyürek ve Akay (2024), bir yoğun bakım ünitesinde yetkinlik tabanlı hemşire çizelgeleme problemini üç aşamalı bir karar destek sistemiyle ele almıştır. Bu sistemde yatak doluluk oranı tahmin edilerek her vardiya için gereken hemşire sayısı belirlenmiş, hemşirelerin yetkinlik düzeyi çok kriterli karar verme yöntemleriyle puanlanmış ve çizelge bu puanları kısıt olarak içeren bir hedef programlama modeliyle oluşturulmuştur. Çalışma yetkinliği modele dâhil etmesi bakımından değerli olmakla birlikte, birimler arası rotasyonu kapsamamaktadır.

Li ve arkadaşları (2025), tıp asistanlarının yıllık rotasyon çizelgelemesi için adaleti gözeten tamsayılı programlama yaklaşımları önermiştir. Çalışmada adalet, izin taleplerinin karşılanma düzeyi üzerinden tanımlanmakta ve aynı sınıftaki personelin zorunlu rotasyonlar nedeniyle benzer koşullara sahip olduğu varsayılmaktadır.

Eren ve arkadaşları (2016), sağlık hizmetlerinde ameliyathane odası çizelgeleme problemini ele almış ve problemi tamsayılı programlama ile modelleyerek GAMS paket programında çözmüştür. Çalışmada her hasta için ameliyathane, zaman dilimi ve doktor belirlenmiş; ayrıca C# ve MSSQL tabanlı bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Böylece hastaların bekleme süreleri ile ameliyathanelerin boş kalma süreleri enküçüklenmiş, kaynaklar daha verimli kullanılmıştır.

Şahiner ve arkadaşları (2018), hemşire çizelgeleme problemini 0-1 hedef programlama yöntemiyle modelleyerek Kırıkkale'de bir devlet hastanesinde uygulamıştır. Çalışmada, sorumlu hemşire tarafından elle yürütülen ve yaklaşık on saat sürebilen çizelgeleme işlemi otomatikleştirilmiş; hemşire talepleri gözetilerek hemşireler arasındaki iş yükü dağılımı dengelenmiştir. Model personel memnuniyeti ve iş yükü dengesini iyileştirmekle birlikte, birimler arası rotasyonu ele almamaktadır.

Guo, Pozehl ve Cohn (2023), tıp asistanlarının yıllık blok rotasyon çizelgelerini oluşturmak için iki aşamalı bir kısmi sabitleme yaklaşımı önermiştir. Yöntem, servislerin personel gereksinimlerini (kapsama) ve asistanların eğitim gereksinimlerini birlikte sağlamayı amaçlayan tamsayılı bir modeli, gerçek verilerde geleneksel tekniklere kıyasla çok daha hızlı çözebilmektedir.

Çizelgeleme yöntemleri açısından, temizlik gibi atama-yoğun problemlerin sıklıkla benzetildiği paralel makine çizelgelemesi de ilgili bir yöntemsel temel oluşturmaktadır. Eren ve Güner (2006), iki ölçütlü özdeş paralel makineli çizelgeleme problemini incelemiş; toplam tamamlanma zamanı ile maksimum gecikmenin ağırlıklı toplamını enküçükleyen bir tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. NP-zor yapıdaki problemin büyük boyutlu çözümleri için tabu arama ve rassal arama temelli sezgisel yöntemler önerilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Ünlü ve Alakaş (2022), sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini bir oluklu mukavva fabrikasında uygulamalı olarak ele almıştır. Çalışmada işlem süreleri ile ürün geçişlerindeki hazırlık sürelerinin üretim hızı ve kapasitesi üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır. İmalat bağlamında geliştirilen bu yaklaşım, görev/alan atamalarının paralel makine mantığıyla çizelgelenmesi açısından ilgili yöntemsel literatüre örnek oluşturmaktadır.

Kılıç (2021), bir tekstil firmasının boyahane bölümündeki sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi için bir matematiksel model önermiş ve farklı çizelgeleme kurallarını karşılaştırmıştır. Çalışmada kumaşların teslim zamanları ile cins ve renge bağlı değişen işlem ve hazırlık süreleri dikkate alınmıştır. Bu tez, paralel makine çizelgelemesinde model ve çizelgeleme kuralı seçiminin başarımı nasıl etkilediğini göstermesi bakımından yöntemsel açıdan ilişkilidir.

Aksakal ve Dağdeviren (2015), yetenek yönetimi temelli bir personel atama modeli önermiş; işgücünün yetkinlik düzeyini AHP ve DEMATEL yöntemleriyle bulanık biçimde değerlendirmiş ve atama problemini 0-1 hedef programlama ile kurmuştur. Yaklaşım, 'doğru zamanda doğru kişinin doğru yerde olması' ilkesini çok ölçütlü karar verme ile optimizasyonu birleştirerek ele almaktadır. Bu çalışma, çizelgelemede yetkinlik/yetenek boyutunun modele katılması açısından ilgilidir.

Bedir, Eren ve Düzdar (2017), ergonomik risk faktörlerini dikkate alan bir vardiya çizelgeleme problemini ele almış ve uygulamayı bir hazır giyim firmasının mağazasında gerçekleştirmiştir. Çalışmada AHP ile ağırlıklandırılan ergonomik ölçütler hedef programlama modeline dâhil edilerek çalışma saatlerinin dengelenmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşım, çizelgelemede personel memnuniyeti ve iş yükü dengesi gibi insan merkezli ölçütlerin gözetilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmaların değerlendirilmesi, sağlık kurumlarında personel çizelgelemesinin farklı yönleriyle ele alındığını; ancak temizlik personelinin çizelgelenmesinde birimler arası rotasyon ile planlı ve olay tetikli işlerin bir arada ele alındığı bütünleşik yaklaşımların sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğa yönelmekte; planlı işlerin optimizasyonla çizelgelenmesini, olay tetikli işlerin gerçek zamanlı dağıtımını ve personel rotasyonunu tek bir çerçevede bütünleştirmektedir.

3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Önerilen yaklaşımda hastane temizlik işleri, planlama açısından üç temel türe ayrılmaktadır. Rutin temizlik, günlük ve vardiya planına göre yürütülen, önceden bilinen standart işleri kapsar. Derin (detaylı) temizlik hem periyodik olarak planlı biçimde hem de taburcu/transfer sonrasında olay tetikli biçimde ortaya çıkabilir. İsteğe bağlı (talebe bağlı) temizlik ise hasta veya refakatçi talebiyle plansız olarak ortaya çıkar.

Bu ayrıma dayalı olarak, önceden bilinen planlı işler (rutin temizlik ve periyodik derin temizlik) bir matematiksel optimizasyon yaklaşımıyla çizelgelenmektedir. Çizelgeleme sürecinde personelin birimler arasında dönüşümünü sağlayan rotasyon ile yetkinlik ve kapasite gereksinimleri gözetilmektedir. Önceden öngörülemeyen olay tetikli işler (taburcu sonrası derin temizlik ve isteğe bağlı temizlik) ise gerçek zamanlı, kural tabanlı bir karar mekanizmasıyla uygun ve müsait personele dağıtılmaktadır. Bu bildiride yaklaşımın genel çerçevesi ele alınmış olup matematiksel modelin biçimsel yapısı, karar değişkenleri ve kısıtların ayrıntıları kapsam dışında tutulmuştur.

Önerilen yaklaşım, servis ve yoğun bakım gibi farklı risk ve iş yükü düzeylerine sahip birimleri kapsayacak biçimde tasarlanmıştır; planlı işler için bir aylık ve dönemsel çizelgelerin üretilmesi, olay tetikli işler için ise gerçek zamanlı bir dağıtım kuralının işletilmesi öngörülmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bu çalışmada, hastane temizlik süreçlerinin optimizasyonu kapsamında, temizlik personelinin birimler arasında adil ve uygulanabilir biçimde çizelgelenmesine yönelik bütünleşik bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Yaklaşımın temel katkısı, temizlik personeli çizelgelemesinde sıklıkla göz ardı edilen rotasyon boyutunu, planlı ve olay tetikli işlerin bir arada ele alındığı bütünleşik bir çerçeveyle birleştirmesidir. Böylece hem öngörülebilir işler önceden çizelgelenmekte hem de öngörülemeyen işler gerçek zamanlı olarak yönetilebilmektedir.

Sağlık kurumlarında temizlik ve hijyen, sağlık hizmetiyle ilişkili enfeksiyonlara karşı ilk savunma hattını oluşturduğundan, bu süreçleri yürüten personelin planlanması yalnızca operasyonel bir ayrıntı değil, doğrudan hasta güvenliğini ilgilendiren stratejik bir karar problemidir. Bir hastanede birimlerin temizlik yükü türdeş değildir; yoğun bakım gibi yüksek riskli birimler daha sık ve titiz temizlik gerektirirken poliklinik ve bazı servisler görece daha hafiftir. Bu farklılıklar sistematik biçimde gözetilmediğinde, iş yükü fazla olan birimler sürekli aynı personele kalabilmekte; personel arasında iş yükü dengesizlikleri ve tükenmişlik riski ortaya çıkabilmekte, bu durum hizmet kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla temizlik personelinin adil, yetkinliğe uygun ve izlenebilir biçimde çizelgelenmesine yönelik bütünleşik yaklaşımlara belirgin bir ihtiyaç bulunmaktadır.

Önerilen çizelgeleme yaklaşımının sağlayabileceği başlıca faydalar birbirini tamamlayan birkaç boyutta değerlendirilebilir. İlk olarak, planlı işlerin matematiksel optimizasyonla çizelgelenmesi, iş yükünün personel arasında daha dengeli dağıtılmasına ve elle planlamada sıklıkla görülen adaletsizliklerin azaltılmasına imkân tanır; nitekim literatürde elle yürütülen çizelgelemenin uzun zaman alabildiği ve dengesiz iş yüklerine yol açabildiği belirtilmektedir. İkinci olarak, personelin birimler arasında dönüşümünü sağlayan rotasyon boyutu, aynı ağır birimlerin sürekli belirli kişilere yüklenmesini önleyerek hem adaleti hem de personel motivasyonunu desteklemektedir.

Üçüncü olarak, yetkinlik ve kapasite gereksinimlerinin gözetilmesi, her görevin uygun niteliklere sahip personele atanmasını sağlayarak hizmet kalitesini ve güvenliğini güçlendirir. Dördüncü olarak, önceden bilinen planlı işlerin önceden çizelgelenmesi ile öngörülemeyen olay tetikli işlerin (taburcu sonrası derin temizlik ve isteğe bağlı temizlik) gerçek zamanlı bir kararla dağıtılması, planlama disiplinini operasyonel esneklikle bir arada sunar. Önerilen yaklaşımın, farklı risk ve yük düzeyindeki birimleri kapsayacak biçimde tasarlanması, personel arasında dengeli çizelgeler üretebilme ve sahada kullanılabilme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bu faydalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, sistematik çizelgeleme yalnızca kaynak verimliliğini artırmakla kalmamakta, temizlik faaliyetlerinin standartlara uygun, zamanında ve izlenebilir biçimde yürütülmesine katkı sağlayarak enfeksiyon kontrolü ve genel hizmet kalitesi hedeflerini de desteklemektedir. Böylece temizlik yönetimi, kuruma ve kişilere özgü sezgisel kararlara bağlı bir uygulama olmaktan çıkıp, ölçülebilir ve tekrarlanabilir bir karar sürecine dönüşmektedir.

KAYNAKÇA

Aksakal, E., & Dağdeviren, M. (2015). Yetenek yönetimi temelli personel atama modeli ve çözüm önerisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 249-262.

Bedir, N., Eren, T., & Düzdar, E. N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(3), 657-674.

Burke, E. K., De Causmaecker, P., Vanden Berghe, G., & Van Landeghem, H. (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling, 7*(6), 441-499.

Carling, P. C., & Bartley, J. M. (2010). Evaluating hygienic cleaning in health care settings: What you do not know can harm your patients. American Journal of Infection Control, 38(5 Suppl 1), S41-S50.

CDC, & ICAN. (2019). Best practices for environmental cleaning in healthcare facilities in resource-limited settings (Version 2). Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; Cape Town: Infection Control Africa Network.

Dancer, S. J., & Kramer, A. (2019). Four steps to clean hospitals: LOOK, PLAN, CLEAN and DRY. Journal of Hospital Infection, 103(1), e1-e8.

Eren, T., & Güner, E. (2006). Paralel makineli çizelgelemede toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikmenin enküçüklenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1-2), 21-32.

Eren, T., Kodanlı, E., Altundağ, B., Malkoç, S. K., Ünlüsoy, S., Biçer, İ., & Tutuk, K. (2016). Ameliyathane çizelgeleme ve örnek uygulama. Journal of Economics, Business, Politics and International Relations (JEBPIR), 2(1), 71-85.

Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research, 153*(1), 3-27.

Guo, J., Pozehl, W., & Cohn, A. (2023). A two-stage partial fixing approach for solving the residency block scheduling problem. Health Care Management Science, 26(2), 363-393. https://doi.org/10.1007/s10729-023-09631-w

Horan, T. C., Andrus, M., & Dudeck, M. A. (2008). CDC/NHSN surveillance definition of health care-associated infection and criteria for specific types of infections in the acute care setting. *American Journal of Infection Control, 36*(5), 309-332.

Kılıç, M. (2021). Bir tekstil firmasının boyahane bölümünde paralel makine çizelgeleme problemi için bir matematiksel model önerisi ve farklı çizelgeleme kurallarının karşılaştırması (Yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Li, S., Shehadeh, K. S., Curtis, F. E., & Hochman, B. R. (2025). Equity-promoting integer programming approaches for medical resident rotation scheduling. *Health Care Management Science, 28*(4), 890-929.

Ongenae, F., Vanhove, T., De Backere, F., & De Turck, F. (2017). Intelligent task management platform for health care workers. *Informatics for Health and Social Care, 42*(2), 122-134.

Özder, E. H., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hedef programlama yaklaşımı ile temizlik personeli çizelgeleme problemi için bir model önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 7*(2), 114-127.

Parıldar, O., Akyürek, C. E., & Akay, D. (2024). A decision support system for skill-based nurse scheduling in an intensive care unit. *Gazi University Journal of Science, 37*(1), 284-308.

Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2026). Ulusal sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyonlar sürveyans tanı rehberi. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.

Şahiner, M., Aktürk, M. S., Ünlüsoy, S., Bedir, N., Varlı, E., & Eren, T. (2018). Hemşire çizelgeleme için model önerisi: Örnek uygulama. Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi, 6(2), 62-77.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Ünlü, S., & Alakaş, H. M. (2022). Sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi: Oluklu mukavva fabrikasında bir uygulama. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(2), 552-560.

Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2016). Kamusal binalarda temizlik çizelgeleme ve örnek uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4*(3), 149-155.

World Health Organization. (2024). Global report on infection prevention and control 2024. Geneva: World Health Organization.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

HASTANE TEMİZLİK SÜREÇLERİNİN DİJİTALLEŞTİRİLMESİ

Arş. Gör. Semra TEBRİZCİK
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, semra.tebrizcik@kku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-2984-7403

Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, sersoz@kku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-7534-6837

Prof. Dr. Adnan AKTEPE
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, aaktepe@kku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3340-244X

Arş. Gör. Merve ASİLOĞULLARI AYAN
Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, masilogullari@kho.msu.edu.tr - ORCID: 0000-0001-7522-0911

ÖZET

Sağlık kurumlarında hizmet kalitesinin ve hasta güvenliğinin sürdürülebilirliği, temizlik ve hijyen süreçlerinin etkin biçimde yürütülmesine bağlıdır. Buna karşın bu süreçlere ilişkin kayıtlar birçok kurumda hâlâ kâğıt tabanlı formlar ve elle yürütülen denetimlerle tutulmakta, dolayısıyla hangi işlemin kim tarafından ne zaman yapıldığı güvenilir biçimde izlenememektedir. Bu çalışmada, hastane temizlik ve hijyen süreçlerinin dijital tanımlama ve nesnelerin interneti teknolojileriyle dijitalleştirilmesine yönelik bütünleşik bir yaklaşım ele alınmaktadır. Yaklaşım iki süreci kapsamaktadır: hasta odalarında yürütülen temizlik işlemlerinin temas noktasında otomatik olarak kayda geçirilmesi ve tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca izlenmesidir. İlgili literatür incelendiğinde, dijital teknolojilerin sağlık ortamlarında ağırlıklı olarak el hijyeni uyumunun izlenmesi, personel ve ekipman konumunun takibi ya da ortam koşullarının ölçülmesi gibi tek amaçlı ve birbirinden bağımsız uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, söz konusu teknolojileri tek tek etiket okuma düzeyinde değil, temizlik süreçlerinin kendisiyle ilişkilendirilmiş, izlenebilir ve denetlenebilir bir bütün olarak ele almasıdır.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Hastane Temizliği, İzlenebilirlik, Hizmet Kalitesi, Sağlık Hizmetiyle İlişkili Enfeksiyon

1. GİRİŞ

Son yıllarda dijital dönüşüm uygulamalarının sağlık hizmetlerine aktarılması, hastane hizmet yönetimi alanında belirgin ilerlemelere yol açmıştır. Bu ilerlemeler yalnızca tanı, tedavi ve hasta bakımı süreçleriyle sınırlı kalmamakta olup sağlık kurumlarında yürütülen temizlik ve hijyen faaliyetlerinin iyileştirilmesinde de kritik bir rol üstlenmektedir. Temizlik süreçlerinin standartlaştırılmış biçimde planlanması ve bu süreçlerin dijital teknolojilerle bütünleştirilmesi, hizmet kalitesini artırmanın yanı sıra kalitenin sürdürülebilirliğini de mümkün kılmaktadır.

Dijital teknolojiler, temizlik faaliyetlerinin planlanmasını, izlenmesini ve denetlenmesini mümkün kılar. Bu kapsamda süreç boyunca üretilen verilerin güvenli biçimde kaydedilmesini ve saklanmasını da sağlarlar. Hizmet kalitesinin ölçülebilirliği ve süreçlerin optimizasyonu, büyük ölçüde bu verilere erişilebilirliğe bağlıdır. Temizlik ve hijyen süreçlerinin doğru yönetimi yalnızca operasyonel verimlilik açısından değil, doğrudan hasta güvenliğini etkileyen kritik bir faktör olması bakımından da önem taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1.1. Sağlık Hizmetiyle İlişkili Enfeksiyonlar ve Çevresel Hijyen

Sağlık hizmetiyle ilişkili enfeksiyonlar (SHİE), bir hastanın sağlık kuruluşunda bakım aldığı sırada gelişen, kuruma başvuru anında var olmayan ve kuluçka döneminde de bulunmayan enfeksiyonlar olarak tanımlanmaktadır (Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2026). Bu enfeksiyonlar taburculuk sonrasında da görülebilmektedir (World Health Organization [WHO], 2024). Sürveyans ölçütlerinde bu tanıma ek olarak, cerrahi alan enfeksiyonları için girişimden sonra 30 gün, implant varlığında ise bir yıl sınırı uygulanmaktadır (Horan vd., 2008). SHİE, dünya genelinde hasta güvenliğini tehdit eden en yaygın istenmeyen olaylardan biridir. Yatış süresini ve tedavi maliyetlerini artırmakta ve mortaliteye sebep olmaktadır (WHO, 2024).

Çevresel temizlik, bu enfeksiyonlara karşı ilk savunma hattını oluşturur. Literatürde temizlik yöntemi ve sıklığının, birimin enfeksiyon riskine ve yüzeylerin hasta ile temas yoğunluğuna göre bir risk değerlendirmesiyle belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Hastaya en yakın ve en sık dokunulan yüzeyler en yüksek bulaş riskini taşımakta, hedefe yönelik ve sık temizlik ise SHİE riskini azaltmaktadır (Dancer ve Kramer, 2019; CDC ve ICAN, 2019). Ayrıca bir hastanın, patojen taşıyan bir önceki hastadan boşalan odaya yatırılması o patojeni edinme riskini belirgin biçimde artırmakta olup bu durum taburculuk sonrası derin temizliğin önemini ortaya koymaktadır (Carling ve Bartley, 2010). Dolayısıyla temizliğin yalnızca yapılmış olması değil, standarda uygun, zamanında ve doğrulanabilir biçimde yapılmış olması da önem arz etmektedir.

1.2. Problemin Tanımı

Temizlik faaliyetlerinin bu kritik rolüne karşın, söz konusu faaliyetlere ilişkin kayıt düzeni birçok sağlık kuruluşunda hâlâ kâğıt formlara ve elle yürütülen denetimlere dayanmaktadır. Bu düzen, uygulamada birbiriyle ilişkili dört temel soruna yol açmaktadır. Birincisi izlenebilirlik sorunudur, kâğıt tabanlı takipte bir odanın ne zaman ve hangi personel tarafından temizlendiği güvenilir biçimde belirlenemediğinden sorumluluk izlenemez hâle gelmektedir. İkincisi ölçülebilirlik sorunudur, gecikme süresi, hatalı kayıt oranı ve personel iş yükü gibi veriler sistematik biçimde üretilmediğinden, süreç iyileştirmesi için gerekli nesnel temel oluşmamaktadır.

Üçüncü sorun, hasta odalarında kullanılan tekstil ürünlerinin denetimiyle ilgilidir. Çarşaf, yastık kılıfı ve yorgan gibi ürünlerin hangi odada bulunduğu, kaç kez yıkandığı ve kullanım ömrünün sonuna gelip gelmediği ürün düzeyinde izlenmediğinden hem kayıpların hem de yıkama durumuna ilişkin belirlenen parametrelerin takibi yapılamamaktadır. Dördüncü sorun ise denetim boşluğudur: standarda uygunluk ve SHİE riski değerlendirilemediğinden müdahaleler ancak olay gerçekleştikten sonra yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sağlık standartlarına uygun olarak önceden planlanmış temizlik ve hijyen süreçlerinin; etkin yönetim, izlenebilirlik ve denetlenebilirlik sağlanacak biçimde dijitalleştirilmesine yönelik bütünleşik bir yaklaşım ortaya koymaktır. Bu yolla hastaları, sağlık çalışanlarını ve ziyaretçileri etkileyen temizlik ve hijyen kaynaklı olumsuz olay riskinin en aza indirilmesi, hasta odalarındaki genel hijyen standartlarının ve güvenliğin yanı sıra operasyonel verimliliğin de artırılması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sağlık ortamlarında hijyen ve temizlik süreçlerinin dijitalleştirilmesine yönelik çalışmalar, kullanılan teknoloji ve hedeflenen amaç bakımından belirgin biçimde çeşitlilik göstermektedir. Aşağıda bu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

çalışmalar, odaklandıkları probleme göre beş başlık altında ele alınmakta ve ardından literatürdeki boşluk değerlendirilmektedir.

2.1. El Hijyeni Uyumunun Otomatik İzlenmesi

Literatürdeki en yoğun çalışma grubunu el hijyeni uyumunun otomatik izlenmesi oluşturmaktadır. Levchenko ve arkadaşları (2011), hemşirelerin el hijyeni uygulamalarını giyilebilir bir cihaz ve hatırlatıcı aracılığıyla gerçek zamanlı olarak izleyen otomatik bir sistemin uygulanabilirliğini değerlendirmiştir.

Bal ve Abrishambaf (2017), kablosuz algılayıcı ağları ile nesnelerin interneti teknolojilerini birleştirerek birbirine bağlı el hijyeni istasyonlarından oluşan ve uyum oranını izleyen bir sistem geliştirmiştir. Geilleit ve arkadaşları (2018), poliklinik ortamında makine öğrenmesi tabanlı gerçek zamanlı bir el hijyeni bildirim sisteminin uygulanabilirliğini incelemiş ve anlık uyarının davranış üzerindeki etkisini değerlendirmiştir.

Karimpour ve arkadaşları (2019), Bluetooth düşük enerji işaretçileri kullanarak personelin konumunu ve el hijyeni davranışını birlikte izleyen bir nesnelerin interneti sistemi önermiştir. Wu ve arkadaşları (2024), nesnelerin interneti tabanlı bir el hijyeni uyum izleme sistemini hastane ortamında doğrulamış; sistemin girişimsiz ortamda tam doğrulukla çalıştığını, gerçek yoğun bakım koşullarında ise doğruluğun %72'ye gerilediğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, otomatik izlemenin uyum düzeyini artırmada etkili olabildiği (Geilleit vd., 2018), ancak odaklandıkları birimin tek bir hijyen davranışı olduğu ve temizlik sürecinin tamamını kapsamadığı görülmektedir.

2.2. RFID ile Konum, Varlık ve Tekstil Takibi

İkinci çalışma grubu, radyo frekansı ile tanımlama teknolojisinin hastane içinde konum ve varlık takibi amacıyla kullanılmasına odaklanmaktadır. Cheng ve Kuo (2016), servis yönetiminde RFID verilerinden elde edilen analitiği inceleyerek hasta, personel ve ekipman konumunun gerçek zamanlı olarak izlenebileceğini göstermiştir. Çalışma, toplanan konum verisinin yalnızca takip amacıyla değil, servis işleyişinin analiz edilmesinde de kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Tekstil yönetimi bağlamında Wang (2022), hastane tekstillerinin yıkama sürecinde RFID teknolojisinin uygulanmasını ele almış ve ürün düzeyinde tanımlamanın yıkama döngüsünün izlenmesini mümkün kıldığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, hasta odalarında kullanılan tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü takibiyle doğrudan ilişkilidir ancak tekstil takibini hastane temizlik sürecinin bütünüyle değil, ağırlıklı olarak çamaşırhane operasyonuyla ilişkilendirmektedir.

2.3. Ortam Koşullarının Sensörlerle İzlenmesi

Üçüncü grup çalışmalar, hijyen riskini doğrudan davranış veya varlık üzerinden değil, ortam koşulları üzerinden değerlendirmektedir. Colella ve arkadaşları (2022), ameliyathane iç ortam hava kalitesini sensörlerle ölçerek bulanık çıkarım sistemi aracılığıyla değerlendiren bir yaklaşım geliştirmiş ve cerrahi alan enfeksiyonu riskinin önlenmesinde ortam izlemenin katkısını göstermiştir. Bu yaklaşım, ölçülen fiziksel değişkenlerin bir risk göstergesine dönüştürülebileceğini ortaya koyması bakımından önemlidir, buna karşın temizlik faaliyetinin kendisiyle ilişkilendirilmemektedir.

2.4. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Süreçlerinde İzlenebilirlik

Dördüncü grup, sterilizasyon ve dezenfeksiyon süreçlerinde izlenebilirliğin sağlanmasına yöneliktir. Hu ve arkadaşları (2025), ortak kullanılan bir dezenfeksiyon merkezinde barkod tabanlı bir kalite izlenebilirlik sisteminin etkilerini incelemiş; temizlik, dezenfeksiyon ve sterilizasyon aşamalarına ilişkin

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kayıtların işlemi gerçekleştiren personelle eşleştirilmesinin süreç kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Fayad ve arkadaşları (2025) tarafından yürütülen sistematik derleme ise cerrahi alet izlenebilirliğinin ağırlıklı olarak barkod ve RFID tabanlı çözümlerle sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, izlenebilirliğin sağlık ortamlarında kabul görmüş bir kalite aracı olduğunu göstermekle birlikte, kapsamlarını merkezî sterilizasyon ünitesi ve cerrahi alet yönetimiyle sınırlandırmaktadır.

2.5. Temizlik Süreçlerinin Form Düzeyinde Dijitalleştirilmesi

Beşinci grup, doğrudan temizlik süreçlerinin dijitalleştirilmesini ele alan sınırlı sayıdaki çalışmadan oluşmaktadır. Çetin (2024), özel bir hastanede temizlik kontrol formlarının QR kod tabanlı bir sistemle dijital olarak takip edilmesi yoluyla hasta şikâyetlerinin azaltılmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirmiştir. Çalışma, düşük maliyetli bir tanımlama teknolojisinin bile kâğıt forma kıyasla belirgin bir izlenebilirlik kazancı sağladığını göstermesi bakımından değerlidir.

Tebrizcik ve arkadaşları (2025) ise sağlık hizmetlerinde temizlik ve hijyen süreçlerinin dijital teknolojilerle optimize edilmesini ve elde edilen kayıtların blokzincir aracılığıyla kalite güvencesine bağlanmasını ele almıştır. Söz konusu çalışma, bu bildiride ele alınan dijitalleştirme yaklaşımının kalite güvencesi boyutuna ilişkin tamamlayıcı bir çerçeve sunmaktadır.

2.6. Literatürün Değerlendirilmesi ve Boşluk

İncelenen çalışmaların özeti Tablo 1'de sunulmaktadır. Tablo 1, literatürdeki çalışmaların iki belirgin özelliğini ortaya koymaktadır. Birincisi, dijital teknolojiler sağlık ortamlarında büyük ölçüde tek amaçlı biçimde kullanılmaktadır. İkincisi, teknolojiler çoğunlukla etiket okuma ve ham veri biriktirme düzeyinde kalmaktadır.

Bu iki özellik birlikte değerlendirildiğinde, hasta odasında yürütülen temizlik işlemlerinin kayıt altına alınması, bu odalarda kullanılan tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca izlenmesi ve her ikisinin nesnel kalite ölçümleriyle doğrulanmasını tek bir çerçevede birleştiren çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğa yönelmekte olup farklı tanımlama ve algılama teknolojilerinden toplanan heterojen saha verisini temizlik süreçleriyle ilişkilendirerek izlenebilir ve denetlenebilir bir bütün hâline getirmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 1. Temizlik ve hijyen süreçlerinde dijital teknoloji çalışmalarının özeti

Yazar(lar) ve Yıl	Teknoloji	Uygulama Alanı	Temel İşlev
Levchenko vd. (2011)	Giyilebilir cihaz ve hatırlatıcı	El hijyeni uygulamaları	Gerçek zamanlı izleme ve hatırlatma
Cheng ve Kuo (2016)	RFID	Hasta, personel ve ekipman konumu	Gerçek zamanlı konum takibi ve analitik
Bal ve Abrishambaf (2017)	Kablosuz algılayıcı ağı ve nesnelerin interneti	El hijyeni uyum yönetimi	İzleme ve uyum denetimi
Geilleit vd. (2018)	Makine öğrenmesi	Poliklinikte el hijyeni bildirimi	Gerçek zamanlı uyarı
Karimpour vd. (2019)	BLE işaretçileri ve nesnelerin interneti	Personel konumu ve el hijyeni	Konum kestirimi ve uyum izleme
Colella vd. (2022)	Sensör ve bulanık çıkarım sistemi	Ameliyathane iç hava kalitesi	İzleme ve risk değerlendirme
Wang (2022)	RFID	Hastane tekstillerinin yıkama süreci	Ürün düzeyinde varlık ve süreç takibi

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Wu vd. (2024)	Nesnelerin interneti	El hijyeni uyumunun izlenmesi	İzleme ve doğruluk değerlendirmesi
Çetin (2024)	QR kod tabanlı sistem	Temizlik kontrol formlarının takibi	Dijitalleştirme ve izleme
Hu vd. (2025)	Barkod tabanlı izlenebilirlik sistemi	Dezenfeksiyon ve sterilizasyon merkezi	Varlık takibi ve kalite izleme
Fayad vd. (2025)	Barkod ve RFID (sistematik derleme)	Cerrahi alet izlenebilirliği	Varlık takibi
Tebrizcik vd. (2025)	Dijital teknolojiler ve blokzincir	Temizlik ve hijyen süreçleri	Optimizasyon ve kalite güvencesi

3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Önerilen yaklaşımda hastane temizliği ve hijyen yönetimi, birbirini tamamlayan iki süreç üzerinden dijitalleştirilmektedir. Birinci süreç, hasta odalarında yürütülen temizlik işlemlerinin temas noktasında otomatik olarak kayda geçirilmesidir. İkinci süreç, bu odalarda kullanılan tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca ürün düzeyinde izlenmesidir. Her iki süreçte üretilen kayıtlar aynı veri tabanında toplanmakta ve ortak bir karar destek panosu üzerinden değerlendirilmektedir.

Saha verisinin toplanmasında tek bir teknoloji yerine, işlevi birbirinden farklı dört teknoloji birlikte kullanılmaktadır. Yakın alan iletişimi (NFC), hastaya özel kart veya bileklik ile oda etiketleri aracılığıyla temas noktasında okuma yapılmasını sağlar. RFID, tekstil ürünlerinin kapı tipi ve el terminali okuyucularla otomatik olarak izlenmesinde kullanılır. QR kod, hasta odası durumunun doğrulanması için düşük maliyetli bir tanımlama seçeneği sunar. Nesnelerin interneti sensörleri ise hareket, nem ve koku gibi ortam değişkenlerini ölçerek kayıtların doğrulanmasına katkı sağlar. Yaklaşımın ayırt edici yönü, bu teknolojilerin tek tek değil, birlikte ve temizlik süreciyle ilişkili biçimde çalıştırılmasıdır.

3.1. Temizlik Takip Süreci

Temizlik takip sürecinde, bir odaya veya hastaya yönelik her işlem dört temel bilgiyle birlikte otomatik olarak kaydedilir: işlemi kimin gerçekleştirdiği, hangi işlemin yapıldığı, işlemin ne zaman yapıldığı ve işlemin hangi türe ait olduğu. İşlem türü; rutin temizlik, derin temizlik ve talebe bağlı temizlik biçiminde ayrılmaktadır. Personel, mobil uygulama üzerinden sisteme giriş yaptıktan sonra oda etiketini okutmakta ve gerçekleştirdiği işlemi seçmektedir, kayıt zaman damgasıyla birlikte merkezî sunucuya iletilmektedir. Böylece kâğıt formda belirsiz kalan sorumluluk ilişkisi doğrulanabilir hâle gelmektedir.

Merkezî sunucuda tutulan kayıtlar üzerinde tanımlı kurallar işletilerek planlanan zamanda tamamlanmayan işler tespit edilmekte ve ilgili birime uyarı üretilmektedir. Ortam sensörlerinden alınan ölçümler ise kayıtların tutarlılığını değerlendirmede ikinci bir bilgi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Elde edilen veriler ise ortalama temizlik süresi, geciken görev sayısı ve hatalı kayıt oranı gibi göstergelere dönüştürülerek karar destek panosunda izlenmektedir. Böylece önceliklendirme, sezgisel değerlendirmeler yerine ölçülmüş verilere dayanmaktadır.

3.2. Tekstil Takip Süreci

Tekstil takip sürecinde çarşaf, yastık kılıfı ve yorgan gibi ürünlerin her biri RFID etiketiyle tanımlanmakta ve yaşam döngüsü boyunca izlenmektedir. Ürünün bulunduğu konum, kaç kez kullanıldığı, yıkama durumu ve kayıp olup olmadığı bu izleme üzerinden belirlenir. Depo, servis, kirli toplama ve çamaşırhane aşamaları arasındaki geçişler, çamaşırhane ve depo giriş çıkışlarına yerleştirilen

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

kapı tipi okuyucularla otomatik olarak kaydedilmekte olup oda bazlı sayım ve kontrol ise el terminalleri aracılığıyla yürütülmektedir.

Hasta kabulünde açılan dijital hasta dosyası, RFID ile tanımlanmış tekstil ürünleriyle ilişkilendirilmektedir. Böylece hangi ürünün hangi hastada ve ne kadar süre kullanıldığı doğrulanabilir biçimde kayda geçmektedir.

3.3. Kalite Kontrol ve Doğrulama

Dijital kayıt tek başına temizliğin niteliğini güvence altına almaya yetmediğinden, yaklaşım nesnel bir doğrulama katmanıyla tamamlanmaktadır. Temizliği tamamlanan odada öncelikle dijital kontrol listesi uygulanmaktadır, listede yer alan koşullar sağlandığında nicel ölçümlere geçilmektedir. Denetimde tüm odaların kapsanması hedeflenmekte, bunun uygulanabilir olmadığı durumlarda örnekleme yoluyla değerlendirme yapılması öngörülmektedir.

Bu katman sayesinde temizlik kaydı ile temizliğin gerçek sonucu arasındaki ilişki ölçülebilir hâle gelmekte ve yalnızca işlemin yapıldığı değil, standarda uygun biçimde yapıldığı da belgelenebilmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, hastane temizliği ve hijyen süreçlerinin dijitalleştirilmesine yönelik bütünleşik bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Yaklaşımın temel katkısı, dijital tanımlama ve algılama teknolojilerini tek tek ve bağımsız uygulamalar hâlinde değil, temizlik süreçlerinin planlanmış adımlarıyla ilişkilendirilmiş bir bütün olarak ele almasıdır. Böylece hasta odasındaki temizlik işlemlerinin kayıt altına alınması, bu odalarda kullanılan tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü takibi ve her ikisinin nesnel ölçümlerle doğrulanması tek bir çerçevede birleştirilmektedir.

Literatür incelemesi, sağlık ortamlarında dijital teknolojilerin ağırlıklı olarak el hijyeni uyumunun izlenmesi, konum ve varlık takibi ya da ortam koşullarının ölçülmesi gibi dar kapsamlı amaçlarla kullanıldığını göstermektedir. Bu çalışmalar kendi alanlarında anlamlı sonuçlar üretmiş olmakla birlikte, toplanan verinin temizlik sürecinin kendisiyle ilişkilendirilmesi ve farklı veri kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi konusunda belirgin bir boşluk bulunmaktadır. Önerilen yaklaşım, heterojen saha verisini süreçle ilişkilendirmesi bakımından bu boşluğa yönelmektedir.

Yaklaşımın sağlayabileceği faydalar birbirini tamamlayan birkaç boyutta değerlendirilebilir. İlk olarak, temizlik işlemlerinin zamanında ve doğrulanabilir biçimde yürütülmesi SHİE riskinin azaltılmasına katkı sağlar; literatürde hedefe yönelik ve sık temizliğin bulaş riskini düşürdüğü, taburculuk sonrası derin temizliğin ise ayrı bir öneme sahip olduğu açıkça belirtilmektedir. İkinci olarak, gecikmelerin ve iş yükü dağılımının görünür hâle gelmesi operasyonel verimliliği desteklemekte; önceliklendirme kararları kişisel değerlendirmeler yerine ölçülmüş göstergelere dayanmaktadır. Üçüncü olarak, üretilen metrikler hizmet kalitesinin izlenmesini ve raporlanmasını mümkün kılmakta, böylece kalite ölçülebilir bir büyüklüğe dönüşmektedir. Dördüncü olarak, otomatik ve zaman damgalı kayıtlar denetlenebilirliği güçlendirmekte; hangi işlemin kim tarafından ne zaman yapıldığı sorusu geriye dönük olarak yanıtlanabilmektedir.

Önerilen çerçeve ile birlikte temizlik yönetimi, ölçülebilir, tekrarlanabilir ve denetlenebilir bir süreç niteliği kazanmaktadır. Elde edilen veri birikimi, veri analitiği araçlarıyla desteklenerek sürekli iyileştirme döngüsünün girdisini oluşturabilir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KAYNAKÇA

Bal, M., & Abrishambaf, R. (2017). A system for monitoring hand hygiene compliance based on Internet-of-Things. 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT) içinde (ss. 1348-1353). Toronto, Kanada.

Carling, P. C., & Bartley, J. M. (2010). Evaluating hygienic cleaning in health care settings: What you do not know can harm your patients. American Journal of Infection Control, 38(5 Suppl 1), S41-S50.

CDC, & ICAN. (2019). Best practices for environmental cleaning in healthcare facilities in resource-limited settings (Version 2). Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; Cape Town: Infection Control Africa Network.

Cheng, C.-H., & Kuo, Y.-H. (2016). RFID analytics for hospital ward management. Flexible Services and Manufacturing Journal, 28(4), 593-616.

Colella, Y., Valente, A. S., Rossano, L., Trunfio, T. A., Fiorillo, A., & Improta, G. (2022). A fuzzy inference system for the assessment of indoor air quality in an operating room to prevent surgical site infection. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(6), 3533. https://doi.org/10.3390/ijerph19063533

Çetin, M. (2024). İstanbul'da bir özel hastanede temizlik kontrol formlarının dijital takibi ile hasta şikayetlerinin azaltılmasına yönelik bir uygulama. Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 11(1), 118-126.

Dancer, S. J., & Kramer, A. (2019). Four steps to clean hospitals: LOOK, PLAN, CLEAN and DRY. Journal of Hospital Infection, 103(1), e1-e8.

Fayad, M., Yahiaoui, R., Auber, F., Pidoux, H., Hild, O., Picaud, F., Herlem, G., & Chaussy, Y. (2025). Traceability of surgical instruments: A systematic review. Applied Sciences, 15(3), 1592. https://doi.org/10.3390/app15031592

Geilleit, R., Hen, Z. Q., Chong, C. Y., Loh, A. P., Pang, N. L., Peterson, G. M., vd. (2018). Feasibility of a real-time hand hygiene notification machine learning system in outpatient clinics. Journal of Hospital Infection, 100(2), 183-189.

Horan, T. C., Andrus, M., & Dudeck, M. A. (2008). CDC/NHSN surveillance definition of health care-associated infection and criteria for specific types of infections in the acute care setting. American Journal of Infection Control, 36(5), 309-332.

Hu, Y., Yu, J., Yang, H., & Chen, L. (2025). The effects of quality traceability systems on shared medical community disinfection centers. Scientific Reports, 15, 16396. https://doi.org/10.1038/s41598-025-00882-x

Karimpour, N., Karaduman, B., Ural, A., Challenger, M., & Dagdeviren, O. (2019). IoT based hand hygiene compliance monitoring. 2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC) içinde (ss. 1-6). İstanbul.

Levchenko, A. I., Boscart, V. M., & Fernie, G. R. (2011). The feasibility of an automated monitoring system to improve nurses' hand hygiene. International Journal of Medical Informatics, 80(8), 596-603.

Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2026). Ulusal sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyonlar sürveyans tanı rehberi. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Tebrizcik, S., Ersöz, S., Duman, E., Aktepe, A., & Türker, A. K. (2025). Optimization of cleaning and hygiene processes in healthcare using digital technologies and ensuring quality assurance with blockchain. Applied Sciences, 15(15), 8460. https://doi.org/10.3390/app15158460

Wang, C. (2022). On the application of RFID technology in the hospital fabric cleaning process. SHS Web of Conferences, 144, 01008. https://doi.org/10.1051/shsconf/202214401008

World Health Organization. (2024). Global report on infection prevention and control 2024. Geneva: World Health Organization.

Wu, J.-Y., Lin, Y.-C., Lee, S.-Y., Chen, C.-P., Cheng, S.-H., Cheng, C.-Y., vd. (2024). IoT-based hand hygiene compliance monitoring system and validation of its effectiveness in hospital environments. Global Challenges, 8(12), 2400124. https://doi.org/10.1002/gch2.202400124

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ZEKİ TEMİZLİK YÖNETİM SİSTEMİ: IOT, RTLS VE ATP TABANLI DİJİTAL VERİ TOPLAMA VE ANALİZİ

Prof.Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Müh.
kturker@kku.edu.tr - 0000-0001-6686-9241
Prof.Dr. Süleyman ERSÖZ
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Müh.
sersoz@kku.edu.tr - 0000-0002-7534-6837
Prof.Dr. Adnan AKTEPE
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Müh.
aaktepe@kku.edu.tr - 0000-0002-3340-244X
Merve ASİLOĞULLARI AYAN
Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü
masilogullari@kho.msu.edu.tr- 0000-0001-7522-0911

ÖZET

Konaklama alanlarının çok kullanıcılı olduğu otellerde, devre mülklerde özelliklede hastanelerde hijyen ve temizlik süreçlerinin etkin şekilde yönetilmesi; mekanları kullananların güvenliği, enfeksiyon kontrolü, hizmet kalitesi ve operasyonel verimlilik direk ilintilidir. Halihazırda bu tür alanları yönetenlerin uygulamakta olduğu geleneksel temizlik yönetim yaklaşımlarında süreçler büyük ölçüde manuel olarak yürütülmektedir. Yapılan işlemlerin doğrulanabilirliğinin sınırlı olması ve hijyen kalitesinin objektif olarak ölçülememesi önemli sorunlar ve memnuniyetsizlikler oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; hastane özelinde temizlik ve hijyen süreçlerinin dijital olarak izlenmesini, doğrulanmasını, analiz edilmesini ve optimize edilmesini amaçlayan bütünleşik bir "Zeki Temizlik Yönetim Sistemi" önerilmektedir. Geliştirilen sistem mimarisi; operasyon yönetim katmanı, gerçek zamanlı konum takip sistemi (RTLS), IoT tabanlı sensör altyapısı, ATP hijyen doğrulama sistemi, veri analitiği modülü ve yapay zekâ destekli karar destek mekanizmalarından oluşmaktadır. Bu kurgulanacak yapı rahatlıkla çok kullanıcılı mekanlara da uyarlanabilecektir.

Sistem içerisinde toplanacak tüm veriler merkezi analiz altyapısında değerlendirilecek ve yapay zekâ algoritmaları kullanımıyla risk analizi, performans değerlendirmesi, tahmine dayalı temizlik planlaması ve operasyonel optimizasyon gerçekleştirilebilecektir. Böylece yalnızca gerçekleşen işlemleri izleyen değil, aynı zamanda riskleri öngörebilen ve otomatik karar mekanizmaları oluşturabilen proaktif bir hijyen yönetim modeli hedeflenmektedir.

Önerilen sistemin; enfeksiyon risklerinin azaltılması, kalite süreçlerinin standartlaştırılması, insan kaynağı kullanımının optimize edilmesi, denetlenebilir dijital kayıt altyapısının oluşturulması ve temizlik ve hijyen operasyonlarının veri temelli yönetilmesine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Anahtar Kelimeler: Zeki hastane, hastane hijyeni, ATP ölçümü, IoT, RTLS, yapay zekâ, dijital temizlik yönetimi, sağlık bilişimi.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

BELİRSİZLİK ALTINDA GÜVENLİK STOKU BELİRLENMESİNE YÖNELİK BULANIK MANTIK TABANLI BİR MODEL ÖNERİSİ VE UYGULAMASI

Prof. Dr. Adnan AKTEPE
Kırıkkale Üniversitesi, [aaktepe@gmail.com] – [0000-0002-3340-244X]
Kübra GÖNDER
Kırıkkale Üniversitesi, [kugonder98@icloud.com] - [0009-0005-4513-7419]

ÖZET

Güvenlik stoku, talep ve tedarik süreçlerindeki belirsizliklere karşı hizmet seviyesini korumak amacıyla kullanılan temel stok yönetimi araçlarından biridir. Bununla birlikte, klasik güvenlik stoku yaklaşımlarında tüm ürünler için sabit bir servis katsayısının kullanılması; talep yapısı, tedarik riski ve ürünlerin işletme açısından taşıdığı önem arasındaki farklılıkların yeterince dikkate alınamamasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada, güvenlik stoku hesabında kullanılan katsayının ürün özelliklerine göre dinamik biçimde belirlenmesini sağlayan bulanık mantık tabanlı hiyerarşik bir karar destek modeli önerilmiştir. Model; Talep Belirsizliği İndeksi, Tedarik Riski İndeksi ve Stok Öncelik İndeksi olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Talep belirsizliği; değişkenlik katsayısı, ortalama mutlak yüzde hata, talep sıklığı ve talep yoğunlaşma göstergesi ile değerlendirilmiştir. Tedarik riskinin belirlenmesinde tedarik süresi, tedarik süresi değişkenliği ve tedarik tipi; ürün öneminin belirlenmesinde ise ABC ve XYZ sınıflandırmaları kullanılmıştır. Ayrı bulanık çıkarım sistemleriyle hesaplanan bu bileşenler birleştirilerek ürün bazında Adaptif Güvenlik Stoku Katsayısı elde edilmiş, söz konusu katsayı klasik servis katsayısı ölçeğine dönüştürülerek güvenlik stoku hesaplanmıştır. Model, seçilen bir ürün grubuna ait 12 aylık satış verileri üzerinde MATLAB ortamında uygulanmış ve sonuçlar Excel aracılığıyla analiz edilmiştir. Veri ön işleme sonrasında 181 SKU klasik yöntemle karşılaştırılmıştır. Önerilen model 108 SKU için daha yüksek, 73 SKU için ise daha düşük güvenlik stoku önermiştir. Toplam güvenlik stoku klasik yöntemde 85.601 adet, bulanık modelde 92.785 adet olarak hesaplanmıştır. Tahmin hatası yüksek ürünlerde modelin daha korumacı sonuç üretmesi, ticari ürünlerin tamamında güvenlik stokunun artması, A sınıfı ürünlerde daha yüksek, C sınıfı ürünlerde ise daha kontrollü stok seviyeleri önermesi; geliştirilen yapının talep belirsizliği, tedarik riski ve ürün önemini karar mekanizmasına yansıtabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak geliştirilen yaklaşım, güvenlik stoku kararlarını tek tip bir katsayıya bağlı olmaktan çıkararak ürün bazında farklılaştıran, uygulamaya dönük ve esnek bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik stoku, bulanık mantık, talep belirsizliği, tedarik riski, ABC-XYZ analizi

A FUZZY LOGIC-BASED MODEL PROPOSAL AND APPLICATION FOR SAFETY STOCK DETERMINATION UNDER UNCERTAINTY

ABSTRACT

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Safety stock is a fundamental inventory management instrument used to maintain service levels against uncertainties in demand and supply processes. However, using a fixed service coefficient for all products in conventional safety stock approaches may fail to reflect differences in demand patterns, supply risks, and strategic product importance. This study proposes a hierarchical fuzzy logic-based decision support model that dynamically determines the coefficient used in safety stock calculations according to product characteristics. The model consists of three main components: the Demand Uncertainty Index, Supply Risk Index, and Stock Priority Index. Demand uncertainty is assessed through the coefficient of variation, mean absolute percentage error, demand frequency, and demand concentration index. Lead time, lead-time variability, and supply type are used to evaluate supply risk, while ABC and XYZ classifications are employed to determine product importance. These components are calculated through separate fuzzy inference systems and integrated to obtain an Adaptive Safety Stock Coefficient, which is then transformed to the scale of the conventional service coefficient. The model was implemented in MATLAB using twelve months of sales data for a selected product group, and the results were analyzed in Excel. Following data preprocessing, 181 SKUs were compared with the conventional method. The proposed model recommended higher safety stock for 108 SKUs and lower safety stock for 73 SKUs. Total safety stock was calculated as 85,601 units with the conventional method and 92,785 units with the fuzzy model. The tendency to produce more protective results for products with high forecast error, the increase in safety stock for all externally supplied products, and the higher stock levels for class A products together with more controlled levels for class C products indicate that the model can reflect demand uncertainty, supply risk, and product importance in the decision mechanism. The proposed approach therefore provides a flexible and practice-oriented framework for differentiated product-level safety stock decisions.

Keywords: Safety stock, fuzzy logic, demand uncertainty, supply risk, ABC-XYZ analysis

1. GİRİŞ

Ürün çeşitliliğinin artması ve talebin daha dalgalı hale gelmesi, stok kararlarını üretim ve tedarik zinciri yönetiminin en temel konularından biri haline getirmiştir. İşletmeler bir taraftan siparişleri zamanında karşılamak isterken bir diğer taraftan gereğinden fazla stok yükü taşımamaya çalışmaktadır. Bu iki amaç arasındaki denge özellikle geniş ürün portföylerinde daha güç kurulduğu gözlemlenmektedir.

Bu dengede güvenlik stoku, talep ya da tedarik sürecinde beklenmeyen sapmalar ortaya çıktığında sistemi koruyan bir tampon görevi görmektedir. Güvenlik stokunun optimum düzeyden düşük belirlenmesi stok tükenmesi ve hizmet seviyesi kaybına, yüksek belirlenmesi ise sermayenin stokta gereksiz yere bağlanmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle temel sorun sadece güvenlik stoku bulundurmak değil, ürünün koşullarına en uygun seviyeyi belirlemektir.

Uygulamada güvenlik stoku hesabı çoğu zaman standart sapma, tedarik süresi ve önceden seçilmiş bir servis seviyesi katsayısına dayanmaktadır. Hesaplama açısından pratik olan bu yaklaşım, portföydeki tüm ürünlerin aynı risk yapısına sahip olduğu varsayımını da beraberinde getirmektedir. Oysa satış düzeni, tahmin başarısı, tedarik şekli ve işletme açısından önem düzeyi ürünler arasında belirgin biçimde değişebilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bu farklılıkların kesin eşiklerle ifade edilmesi her zaman kolay değildir. Örneğin bir ürünün talebi tek başına 'düşük' ya da 'yüksek' belirsizliğe sahip olmayabilir; değişkenlik, tahmin hatası ve satış sıklığı birlikte değerlendirildiğinde farklı bir tablo ortaya çıkabilir. Bulanık mantık bu tür ara durumların üyelik dereceleri ve kural tabanlarıyla modellenebilmesine imkân verdiği için bu çalışmada tercih edilmiştir.

Çalışmada amaçlanan, klasik formüldeki servis katsayısını tamamen ortadan kaldırmak değil, bu katsayının her ürün için aynı kabul edilmesi yerine ürünün risk ve önem yapısına göre değişebilmesini sağlamaktır. Bu amaçla talep belirsizliği, tedarik riski ve ürün önemi ayrı bileşenler halinde değerlendirilmiş, daha sonra bu bileşenler tek bir adaptif katsayı altında birleştirilmiştir.

Uygulama seçilen bir ürün grubunun gerçek işletme verileriyle yürütülmüştür. On iki aylık satış ve tahmin geçmişinden talep göstergeleri hesaplanmış; tedarik süresi, tedarik tipi ve ABC-XYZ sınıfları modele eklenmiştir. Böylece önerilen yapının yalnızca teorik olarak değil, ürün bazında gerçek stok kararları üzerinde nasıl sonuç verdiği klasik güvenlik stoku hesabıyla karşılaştırılarak incelenmiştir.

2. LİTERATÜR VE ARAŞTIRMA BOŞLUĞU

2.1. Güvenlik Stoku ve Bulanık Mantık Yaklaşımları

Güvenlik stoku literatüründe temel yaklaşım, talep ve tedarik sürecindeki belirsizliğin belirli istatistiksel varsayımlar altında sayısallaştırılmasıdır. Klasik modeller uygulamada güçlü bir temel sağlamakla birlikte, gerçek işletme verilerinde görülen kesikli talep, yüksek tahmin hatası veya ürünler arası farklı tedarik koşulları her zaman bu varsayımlara uygun davranmamaktadır. Bu nedenle özellikle belirsizliğin kesin sınırlarla tanımlanamadığı durumlarda alternatif modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir.

Bulanık mantık bu alternatifler içinde uzun süredir kullanılan yöntemlerden biridir. Björk (2009) talep ve tedarik süresindeki belirsizliği bulanık sayılarla ele alırken, Campean, Morar ve Blaga (2011) güvenlik stoku probleminde veriye dayalı üyelik fonksiyonlarının önemini vurgulamıştır. Bu çalışmalar, stok problemlerinde tek bir kesin değerin yerine belirsizlik aralıklarının kullanılabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Tanthamathee ve Phruksaphanrat (2012) ile Rahman ve diğerleri (2014) ise talep ve tedarik koşullarını birlikte değerlendiren Mamdani tipi bulanık envanter kontrol yapıları önermiştir. Bu modellerde sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası gibi kararlar sabit kurallar yerine değişen koşullara göre şekillenmektedir. Böylece bulanık mantığın yalnızca belirsizliği tanımlamak için değil, doğrudan karar üretmek için de kullanılabileceği görülmektedir.

Daha sonraki çalışmalarda model yapılarının dinamikleştirilmesi ve uzman bilgisinin sisteme alınması dikkat çekmektedir. Jamegh, Kassam ve Sabih (2018) güvenlik stokunu statik bir değer yerine talep ve servis düzeyine bağlı olarak ele almıştır; Yiğit (2023) tahmine dayalı güvenlik stoku yönetiminde Tip-2 bulanık mantık yaklaşımını kullanmıştır. Prada ve diğerleri (2025) de bulanık karar destek yapısını üretim planlama ve önceliklendirme problemine

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uygulamıştır. Bu çalışmalar, bulanık mantığın farklı stok ve planlama kararlarına uyarlanabildiğini göstermektedir.

2.2. Araştırma Boşluğu ve Çalışmanın Katkısı

Literatürdeki çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde iki önemli nokta öne çıkmaktadır. Birincisi, güvenlik stoku ya da envanter kararları çoğu çalışmada sınırlı sayıda değişken üzerinden ele alınmaktadır. İkincisi, talep belirsizliği, tedarik riski ve ürünün işletme açısından önemi çoğu zaman aynı karar yapısının içinde birlikte değerlendirilmemektedir. Bu durum özellikle geniş ürün portföylerinde tek tip güvenlik katsayısı kullanımının yarattığı sorunu tam olarak çözmemektedir.

Bu çalışmada talep tarafı yalnızca standart sapma ile temsil edilmemiş; CV, MAPE, talep sıklığı ve DCI aynı talep belirsizliği indeksi içinde değerlendirilmiştir. Tedarik tarafında tedarik süresi, tedarik süresi değişkenliği ve tedarik tipi; ürün önemi tarafında ise ABC ve XYZ sınıfları kullanılmıştır. Dolayısıyla nihai güvenlik katsayısı tek bir göstergenin değil, birbirini tamamlayan üç karar boyutunun ortak sonucudur.

Modelin bir başka yönü, bulanık sistemden elde edilen normalize ASSC çıktısının doğrudan stok miktarı olarak kullanılmamasıdır. ASSC önce klasik servis katsayısıyla karşılaştırılabilecek bir Z_fuzzy değerine dönüştürülmüş, ardından klasik güvenlik stoku formülüne yerleştirilmiştir. Böylece klasik ve önerilen yaklaşım aynı temel hesap yapısı içinde karşılaştırılmış; farkın esas olarak ürün bazında değişen katsayıdan kaynaklanması sağlanmıştır.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

3.1. Veri Seti ve Ön İşleme

Çalışmanın başlangıç veri seti, seçilen bir ürün grubunda yer alan 300 SKU'nun 12 aylık satış ve tahmin verilerinden oluşturulmuştur. Analiz kapsamında yalnızca aktif satış dönemleri dikkate alınmış, satışa kapalı dönemler veri setinden çıkarılmıştır. Ürünlerin karşılaştırılabilir bir talep geçmişine sahip olması amacıyla en az 12 aylık verisi bulunan ürünler esas alınmıştır. Çok düşük hacimli ve düzensiz veri yapısının model üzerindeki etkisini sınırlamak amacıyla veri ön işleme adımları uygulanmıştır.

Veri hazırlama sürecinde eksik değerler ve uç gözlemler kontrol edilmiş, model girişlerinin üyelik fonksiyonları içinde doğru çalışabilmesi için gerekli ölçekleme ve dönüştürme işlemleri yapılmıştır. Nihai karşılaştırma setinde 181 SKU yer almıştır. Bu sayı, başlangıç veri setinin tamamının doğrudan modele alınmadığını; ön işleme ve uygulanabilirlik kontrollerinin ardından karşılaştırılabilir gözlemlerin kullanıldığını göstermektedir.

Talep belirsizliği için dört gösterge kullanılmıştır. Değişkenlik katsayısı (CV), standart sapmanın ortalama talebe oranı olarak hesaplanmış ve ürünün göreli talep oynaklığını temsil etmiştir. Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), tahmin ile gerçekleşen satış arasındaki farkın büyüklüğünü göstermiştir. Frequency, ürünün 12 aylık dönemde kaç ay satış gördüğünü; DCI ise maksimum aylık satışın ortalama satışa oranını ifade ederek talebin belirli dönemlerde yoğunlaşıp yoğunlaşmadığını göstermiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 1. Modelde kullanılan temel değişkenler

Boyut	Değişken	Açıklama
Talep belirsizliği	CV	Talep standart sapmasının ortalamaya oranı
Talep belirsizliği	MAPE	Tahmin hatasının ortalama mutlak yüzde değeri
Talep belirsizliği	Frequency	12 aylık dönemde satış görülen ay sayısı
Talep belirsizliği	DCI	Maksimum aylık talebin ortalama talebe oranı
Tedarik riski	Lead Time	Ortalama tedarik süresi
Tedarik riski	LTVar	Tedarik süresi değişkenliği
Tedarik riski	Supply Type	Fabrika / ticari tedarik ayrımı
Ürün önemi	ABC	Satış hacmine göre ürün önemi
Ürün önemi	XYZ	Talep değişkenliğine göre ürün sınıfı

3.2. Talep Belirsizliği İndeksi (DUI)

DUI modeli, talep davranışını tek bir göstergeye indirgememek amacıyla dört farklı girdiyi birlikte değerlendirmektedir. CV, MAPE ve DCI değişkenleri beşer üyelik fonksiyonu, Frequency değişkeni ise üç üyelik fonksiyonu ile modellenmiştir. Çıkış değişkeni DUI beş farklı belirsizlik seviyesini temsil edecek biçimde tanımlanmıştır.

Kural tabanı oluşturulurken yüksek CV, yüksek MAPE, düşük Frequency ve yüksek DCI kombinasyonlarının daha yüksek talep belirsizliği üretmesi; daha stabil, sürekli ve tahmini daha başarılı ürünlerin ise daha düşük DUI değerine yönelmesi hedeflenmiştir. Uygulama testleri sırasında kural tabanının veri setindeki farklı giriş kombinasyonlarını kapsaması için destekleyici kurallar eklenmiş ve DUI modelinde toplam 65 bulanık kural kullanılmıştır.

3.3. Tedarik Riski İndeksi (SRI)

SRI modeli, güvenlik stoku kararında yalnızca talebin değil, ürünün temin koşullarının da etkili olması gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Modelin girişleri ortalama tedarik süresi, tedarik süresi değişkenliği ve tedarik tipidir. Lead Time beş, LTVar üç ve Supply Type iki üyelik fonksiyonuyla temsil edilmiştir. SRI çıkışı ise beş risk seviyesine ayrılmıştır.

Tedarik tipi fabrika kaynaklı ve ticari ürün olarak iki kategoriye ayrılmıştır. Dış tedarik ile sağlanan ticari ürünlerin daha yüksek temin belirsizliği taşıyabileceği kabul edilmiş ve kural yapısı bu farklılığı dikkate alacak şekilde kurulmuştur. SRI modelinde toplam 40 bulanık kural tanımlanmıştır. Böylece aynı talep yapısına sahip iki ürün, tedarik riskleri farklı olduğunda farklı güvenlik katsayılarına ulaşabilmektedir.

3.4. Stok Öncelik İndeksi (SI)

Ürünlerin işletme açısından önem düzeyini modellemek amacıyla ABC ve XYZ sınıflandırmaları birlikte kullanılmıştır. ABC analizi yıllık satış hacmine göre yapılmış;

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yaklaşık olarak toplam satışın ilk %80'ini oluşturan ürünler A, takip eden %15'i B ve kalan %5'i C sınıfına ayrılmıştır. XYZ analizi ise CV değerine göre talep stabilitesini temsil etmiştir.

ABC ve XYZ sınıflarının beraber kullanılması, yüksek hacimli fakat stabil bir ürün ile düşük hacimli ve düzensiz bir ürünün aynı stratejik önemle değerlendirilmesini önlemektedir. SI modeli iki giriş değişkeni ve beş seviyeli bir çıkış değişkeninden oluşmuş, toplam 13 bulanık kural ile ürün önemi puanı üretilmiştir.

3.5. ASSC Modeli ve Güvenlik Stoku Hesabı

Modelin son aşamasında DUI, SRI ve SI değerleri tek bir bulanık çıkarım sistemi içinde birleştirilerek Adaptif Güvenlik Stoku Katsayısı (ASSC) elde edilmiştir. ASSC, 0-1 aralığında normalize edilmiş bir çıktı olduğundan klasik güvenlik stoku hesabında kullanılan servis seviyesi katsayısı ile doğrudan aynı ölçekte değildir. Bu nedenle ASSC'nin güvenlik stoku hesabında kullanılabilmesi ve klasik yöntemle karşılaştırılabilmesi için Z katsayısı ölçeğine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla aşağıdaki doğrusal olmayan dönüşüm fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\mathbf{Z_fuzzy = 0{,}5 + 2{,}5 \times ASSC\text{^}1{,}5}$$

Fonksiyondaki 0,5 sabiti, düşük risk düzeylerinde dahi güvenlik katsayısının sıfıra yaklaşmasını önleyen alt sınırı; 2,5 katsayısı ise ASSC çıktısını yaklaşık 0,5-3,0 aralığına taşıyan ölçekleme bileşenini temsil etmektedir. Böylece bulanık model çıktısı, klasik güvenlik stoku yaklaşımında kullanılan servis katsayısı ile karşılaştırılabilir bir büyüklüğe dönüştürülmektedir. Dönüşümde 1,5 üssünün tercih edilmesinin temel nedeni ise risk ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişkinin tamamen doğrusal kabul edilmemesidir.

Doğrusal bir dönüşüm kullanıldığında düşük, orta ve yüksek risk profiline sahip ürünler arasındaki farkın sınırlı kaldığı; daha yüksek üs değerlerinde ise özellikle yüksek ASSC değerleri için Z katsayısının çok hızlı artarak gereğinden yüksek güvenlik stoku seviyelerine yol açabildiği görülmüştür. Alternatif dönüşüm yapıları üzerinde yapılan karşılaştırmalarda 1,5 üssü, düşük ve orta riskli ürünlerde kontrollü bir artış sağlarken yüksek riskli ürünlerde ayrım gücünü artıran daha dengeli bir yapı vermiştir. Bu nedenle 1,5 değeri operasyonel uygulanabilirlik ile risk bazlı farklılaştırma arasında ampirik bir kalibrasyon sonucu olarak tercih edilmiştir.

Dönüşümün davranışını göstermek amacıyla örnek değerler incelendiğinde, ASSC=0,50 için Z_fuzzy yaklaşık 1,38; ASSC=0,60 için yaklaşık 1,66; ASSC=0,80 için ise yaklaşık 2,29 olmaktadır. Böylece model, klasik yöntemde tüm ürünler için kullanılan 1,65 katsayısının hem altında ve hem de üzerinde değerler üretebilmekte; ürünün talep belirsizliği, tedarik riski ve stratejik önem profiline bağlı olarak güvenlik stokunu azaltıcı veya artırıcı yönde çalışabilmektedir.

Bu dönüşüm fonksiyonu literatürde standart olarak önerilmiş sabit bir formül olarak değil, bulanık model çıktısını klasik güvenlik stoku ölçeğine taşımak amacıyla oluşturulmuş ve uygulama verileri üzerinde kalibre edilmiş bir dönüşüm fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

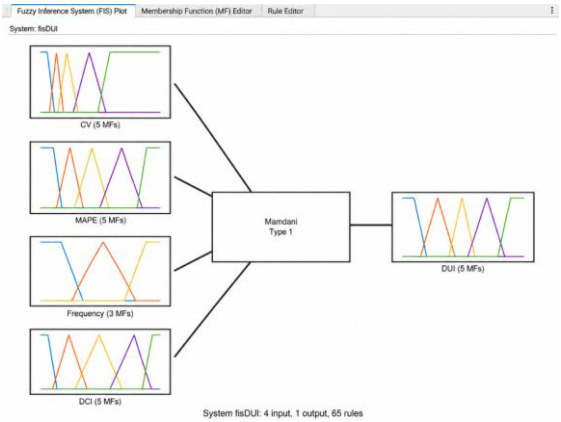
Bu yaklaşım, kullanılan katsayıların rolünü açık hale getirirken modelin sonuçlarının da klasik yöntemle aynı hesaplama çerçevesinde yorumlanabilmesini sağlamaktadır.

Bulanık ve klasik güvenlik stoku aynı temel formülle hesaplanmıştır. Farklı olan unsur yalnızca servis katsayısıdır. Önerilen modelde Z_fuzzy ürün bazında değişirken, klasik yöntemde tüm ürünler için 1,65 sabit katsayısı kullanılmıştır. Bu tasarım, modelin etkisini diğer parametrelerden izole ederek karşılaştırmayı kolaylaştırmıştır.

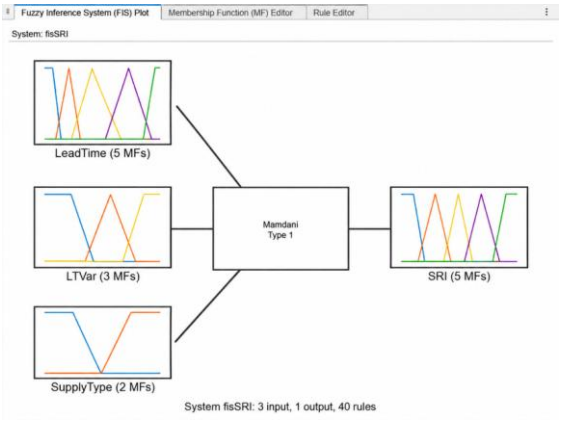
$$\mathbf{GS_fuzzy = Z_fuzzy \times \sigma \times \sqrt{LT}}$$

$$\mathbf{GS_klasik = 1{,}65 \times \sigma \times \sqrt{LT}}$$

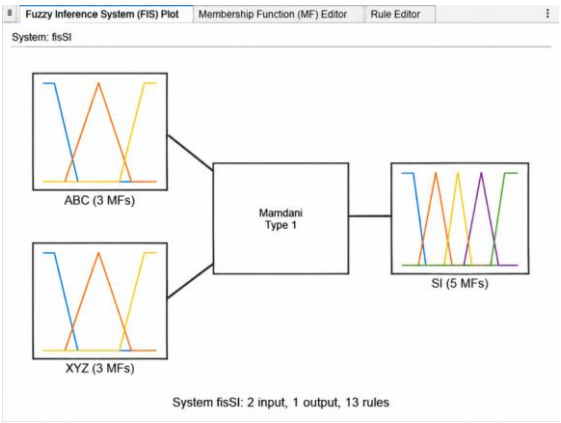
MATLAB ortamında oluşturulan bulanık modellerin temel şemaları aşağıda verilmiştir. Bu görseller, her modelin giriş ve çıkış yapısını özet biçimde göstermektedir.



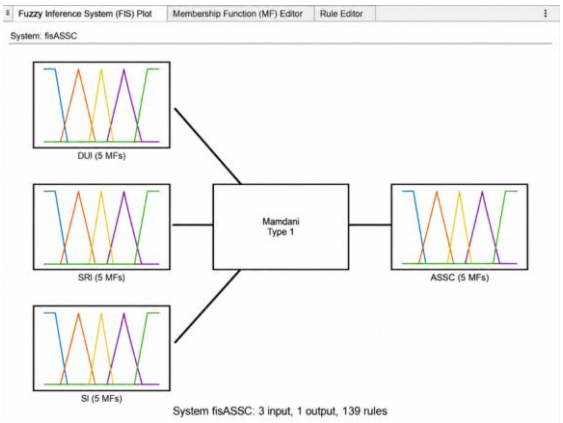
Görsel 1. DUI modeli



Görsel 2. SRI modeli



Görsel 3. SI modeli



Görsel 4. ASSC modeli

3.6. Uygulama Süreci

Uygulama iki temel yazılım ortamında yürütülmüştür. Veri hazırlama, ürün bazlı göstergelerin hesaplanması ve sonuçların karşılaştırılması Microsoft Excel üzerinde yapılmıştır. Bulanık çıkarım sistemleri MATLAB Fuzzy Logic Designer ortamında kurulmuş; DUI, SRI, SI ve ASSC modelleri ayrı ayrı tanımlandıktan sonra bütünleşik biçimde çalıştırılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Model çalıştırıldıktan sonra her SKU için DUI, SRI, SI, ASSC, Z_fuzzy, GS_fuzzy ve GS_klasik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca fuzzy ve klasik yöntem arasındaki fark adet ve yüzde bazında hesaplanmıştır. Bu yapı, sadece toplam stok değişimini değil, hangi ürün gruplarında ve hangi risk profillerinde artış veya azalış meydana geldiğini de incelemeye imkân vermiştir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Genel Model Sonuçları

Nihai analizde 181 SKU değerlendirilmiştir. Bulanık model 108 SKU'da klasik yaklaşıma göre daha yüksek, 73 SKU'da ise daha düşük güvenlik stoku önermiştir. Toplam güvenlik stoku klasik yöntemde 85.601 adet, bulanık modelde 92.785 adet olarak hesaplanmış; toplam fark 7.184 adet ve %8,39 artış olmuştur. Bu sonuç, modelin temel amacının toplam stoku sistematik olarak azaltmak olmadığını; ürünün risk ve önem düzeyine göre güvenlik stokunu iki yönde de farklılaştırdığını göstermektedir.

Çizelge 2. Genel model sonuçları

Gösterge	Sonuç
Analiz edilen SKU sayısı	181
GS_fuzzy artan SKU sayısı	108
GS_fuzzy azalan SKU sayısı	73
Toplam GS_fuzzy	92.785
Toplam GS_klasik	85.601
Toplam fark	+7.184
Toplam değişim	+%8,39

Z_fuzzy değerinin 1,65'in üzerinde olduğu 108 ürünün tamamında güvenlik stoku artmış, 1,65'in altında olduğu 73 ürünün tamamında güvenlik stoku azalmıştır. Buna göre Z_fuzzy < 1,65 olan grupta toplam fark -1.494 adet ve -%4,29; Z_fuzzy > 1,65 olan grupta ise +8.678 adet ve +%17,09 olarak gerçekleşmiştir. Model çıktısı ile güvenlik stoku hesabı arasındaki bu birebir ilişki, dönüşüm yapısının teknik olarak beklenen biçimde çalıştığını göstermektedir.

4.2. Artan ve Azalan Ürünlerin Karşılaştırılması

Artan ve azalan ürünlerin ortalama girdi ve ara çıktı değerleri karşılaştırıldığında, nihai farkın tek bir değişkenden kaynaklanmadığı görülmektedir. CV ve Frequency ortalamaları iki grupta birbirine çok yakınken, artan ürünlerde MAPE, tedarik süresi, DUI, SRI ve SI değerleri daha yüksek seviyededir. En belirgin ayrışma ASSC ve Z_fuzzy değerlerinde oluşmaktadır.

Çizelge 3. Artan ve azalan ürünlerin ortalama göstergeleri

Değişken	Artan ürünler	Azalan ürünler	Değerlendirme
CV	0,500	0,512	Tek başına ayırıcı değil
MAPE12	0,865	0,776	Artanlarda daha yüksek
Frequency	11,09	11,10	Neredeyse aynı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Değişken	Artan ürünler	Azalan ürünler	Değerlendirme
DCI	1,96	2,01	Tek başına belirleyici değil
LT	21,11	20,00	Artanlarda daha yüksek
DUI	0,518	0,428	Artanlarda daha yüksek
SRI	0,541	0,500	Artanlarda daha yüksek
SI	0,598	0,573	Artanlarda biraz daha yüksek
ASSC	0,657	0,544	Temel ayrım
Z_fuzzy	1,835	1,505	Artış/azalışı doğrudan belirler

Artan ürünlerde ortalama ASSC'nin 0,657, azalan ürünlerde 0,544 olması; Z_fuzzy ortalamasının ise sırasıyla 1,835 ve 1,505 olarak gerçekleşmesi çok kriterli karar yapısının nihai katsayıya yansıdığını göstermektedir. Bu nedenle herhangi bir tek değişkenin yüksek olması otomatik olarak yüksek güvenlik stoku anlamına gelmemektedir.

4.3. Talep Belirsizliği Açısından Bulgular

Talep belirsizliği göstergeleri incelendiğinde MAPE değişkeninin sonuçlarla daha belirgin bir ilişki gösterdiği görülmüştür. MAPE < 0,50 grubunda toplam fark yalnızca +%0,85 iken, 0,50-1,00 grubunda +%9,27 ve MAPE >= 1,00 grubunda +%15,89 olmuştur. Böylece tahmin hatası yükseldikçe modelin daha korumacı güvenlik stoku önerme eğiliminin güçlendiği görülmüştür.

Çizelge 4. MAPE gruplarına göre sonuçlar

MAPE grubu	SKU	Artan	Azalan	Toplam fark	Değişim
< 0,50	39	20	19	+139	+%0,85
0,50 <= MAPE < 1,00	93	50	43	+5.541	+%9,27
>= 1,00	49	38	11	+1.504	+%15,89

CV açısından orta ve yüksek seviyelerde genel olarak güvenlik stoku artışı görülmüş; 0,30-0,60 aralığında +%9,13, 0,60-1,00 aralığında +%9,97 değişim gerçekleşmiştir. Bununla birlikte CV >= 1,00 olan 10 ürünün tamamında güvenlik stoku azalmıştır. Bu ürünlerin tamamının C-Z-Fabrika grubunda yer alması, talep değişkenliği yüksek olsa bile düşük stratejik önem ve sınırlı tedarik riskinin nihai katsayıyı aşağı çekebildiğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 5. CV gruplarına göre sonuçlar

CV grubu	SKU	Artan	Azalan	Toplam fark	Değişim
< 0,30	36	20	16	-38	-%0,56
0,30 <= CV < 0,60	103	60	43	+6.382	+%9,13
0,60 <= CV < 1,00	32	28	4	+853	+%9,97
>= 1,00	10	0	10	-13	-%3,24

DCI gruplarında da tek yönlü bir ilişki oluşmamıştır. 1,50-2,00 ve 3,00 üzerindeki gruplarda daha yüksek artışlar görülmesine rağmen DCI tek başına karar yönünü açıklamamaktadır. Frequency değişkeninin etkisi ise mevcut veri setindeki ürünlerin büyük bölümünün 12 ay boyunca satış görmesi nedeniyle sınırlı kalmıştır. Artan ve azalan ürünlerin Frequency ortalamaları sırasıyla 11,09 ve 11,10'dur. Bu bulgu, modelde talep sürekliliği bilgisinin bulunmasına rağmen bu özel veri setinde asıl ayrıştırmanın MAPE, DUI ve diğer risk bileşenleri üzerinden oluştuğunu göstermektedir.

4.4. Tedarik Riski Açısından Bulgular

Tedarik tipi bazında elde edilmiş olan sonuçlar, SRI bileşeninin model davranışına güçlü biçimde yansıdığı alanlardan biridir. Analizde yer alan 30 ticari ürünün tamamında bulanık model klasik yönteme göre daha yüksek güvenlik stoku önermiştir. Ticari ürünlerde GS_fuzzy 27.581 adet, GS_klasik 21.249 adet olarak hesaplanmış; fark +6.332 adet ve +%29,80 olmuştur. Fabrika ürünlerinde ise artış +%1,32 ile sınırlı kalmıştır.

Çizelge 6. Tedarik tipine göre sonuçlar

Tedarik tipi	SKU	Artan	Azalan	GS_fuzzy	GS_klasik	Değişim
Fabrika	151	78	73	65.204	64.351	+%1,32
Ticari	30	30	0	27.581	21.249	+%29,80

Bu sonuç, dış tedarik yapısının modelde daha yüksek belirsizlik ve temin riski ile temsil edildiğini göstermektedir. Aynı talep davranışına sahip ürünlerde bile tedarik tipinin farklı olması SRI üzerinden ASSC'yi ve dolayısıyla Z_fuzzy katsayısını değiştirebilmektedir. Böylece model, tedarik riskini klasik formüle sonradan eklenen ayrı bir düzeltme olarak değil, güvenlik katsayısının oluşum sürecinin doğrudan bir parçası olarak değerlendirmektedir.

4.5. Ürün Önemi Açısından Bulgular

ABC sınıflandırmasına göre A ve B sınıfı ürünlerde toplam güvenlik stoku artarken, C sınıfında azalmıştır. A sınıfında toplam güvenlik stoku %9,43, B sınıfında %4,95 artmış; C sınıfında ise %3,69 azalmıştır. Yüksek satış hacmine sahip A sınıfı ürünlerde modelin daha korumacı davranması, stok tükenmesinin hizmet seviyesi ve satış kaybı açısından yaratabileceği etkinin karar yapısına yansıdığını göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 7. ABC sınıflarına göre sonuçlar

ABC	SKU	Artan	Azalan	GS_fuzzy	GS_klasik	Değişim
A	56	28	28	77.338	70.673	+%9,43
B	57	50	7	13.001	12.388	+%4,95
C	68	30	38	2.446	2.540	-%3,69

XYZ sınıflandırmasında X sınıfında %7,71 ve Y sınıfında %9,86 artış görülürken, Z sınıfındaki 10 ürünün tamamında güvenlik stoku %3,24 azalmıştır. İlk bakışta yüksek değişkenliğe sahip Z sınıfında azalış olması beklenmeyen bir sonuç gibi görünmektedir. Ancak, bu ürünlerin tamamı aynı zamanda C sınıfında ve fabrika tedarikli ürünlerdir. Dolayısıyla yüksek talep değişkenliği, düşük stratejik önem ve sınırlı tedarik riski ile birlikte değerlendirilmiş; nihai ASSC değeri 1,65'e karşılık gelen seviyenin altında kalmıştır.

Çizelge 8. XYZ sınıflarına göre sonuçlar

XYZ	SKU	Artan	Azalan	GS_fuzzy	GS_klasik	Değişim
X	115	61	54	60.111	55.810	+%7,71
Y	56	47	9	32.284	29.388	+%9,86
Z	10	0	10	390	403	-%3,24

4.6. Bulguların Bütüncül Değerlendirilmesi

Sonuçlar tek tek değişkenler yerine birlikte okunduğunda modelin neden çok kriterli kurulduğu daha açık görülmektedir. Örneğin; talep değişkenliği yüksek bir ürün, düşük stratejik öneme ve sınırlı tedarik riskine sahip ise güvenlik stoku otomatik olarak yükselmemektedir. Tersine, tahmin hatası ve tedarik riski yüksek, aynı zamanda işletme açısından önemli bir ürün daha yüksek katsayı alabilmektedir. Bu davranış, modelin tek bir göstergenin uç değerine göre karar vermediğini net şekilde göstermektedir.

Toplam güvenlik stokunun klasik yönteme göre %8,39 yüksek çıkması da bu çerçevede değerlendirilmelidir. Amaç toplam stoku her koşulda azaltmak değildir. Nitekim 73 üründe güvenlik stoku düşerken 108 üründe artmıştır. Artışın önemli bir bölümü ticari ürünler ve yüksek öneme sahip sınıflarda yoğunlaşmıştır. Bu nedenle toplam değişim, ürün bazında farklılaştırılmış kararların bir araya gelmesiyle oluşan net sonuçtur.

Bu açıdan modelin sağladığı temel fayda yalnızca yeni bir stok miktarı hesaplamak değildir. Model, hangi ürün için neden daha yüksek ya da daha düşük güvenlik stoku önerildiğinin DUI, SRI ve SI bileşenleri üzerinden izlenebilmesini de sağlamaktadır. Kararın bu şekilde açıklanabilir olması, modelin uygulamada planlama uzmanı tarafından yorumlanmasını ve gerektiğinde kural yapısının gözden geçirilmesini kolaylaştırmaktadır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tüm ürünler için aynı servis katsayısının kullanıldığı klasik güvenlik stoku yaklaşımına alternatif bir karar yapısı geliştirilmiştir. Talep belirsizliği, tedarik riski ve ürün önemi ayrı bulanık çıkarım sistemlerinde değerlendirilmiş ve bu üç bileşen Adaptif Güvenlik Stoku Katsayısı (ASSC) altında birleştirilmiştir. ASSC'nin Z_fuzzy değerine

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

dönüştürülmesiyle klasik güvenlik stoku formülü korunmuş, ancak katsayının ürün bazında değişmesi sağlanmıştır.

Uygulama sonuçlarında 181 SKU'nun 108'inde güvenlik stoku artmış, 73'ünde azalmıştır. Bu dağılım modelin yalnızca stok artıran ya da stok azaltan bir kurgu olmadığını göstermektedir. Tahmin hatası yükseldikçe daha korumacı sonuçlar oluşmuş; ticari ürünlerin tamamında güvenlik stoku artmıştır. ABC sınıflandırmasında A ve B grupları toplamda artış gösterirken C grubunda azalış görülmüştür. Bu sonuçlar modelin üç ana bileşeninin nihai karara farklı yönlerde etki edebildiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın en temel katkısı, güvenlik stoku kararını tek bir sabit katsayıdan çıkarıp ürünün özelliklerine duyarlı hale getirmesidir. Böylece düşük riskli veya düşük öneme sahip ürünlerde gereksiz stok oluşumunun sınırlandırılması ve daha kritik ürünlerde ise stok tükenmesi riskine karşı daha koruyucu bir seviye belirlenmesi mümkün hale gelmektedir. Buradaki hedef stok miktarını sistematik olarak düşürmek değil, stokun hangi üründe tutulduğunu daha rasyonel biçimde farklılaştırmaktır.

Modelin uygulama açısından avantajı, ihtiyaç duyduğu girdilerin işletmelerde yaygın olarak bulunan verilerden üretilebilmesidir. Satış ve tahmin geçmişi Excel ortamında hazırlanabilmekte; bulanık çıkarım sistemleri MATLAB üzerinde çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle yöntem, tamamen yeni bir veri altyapısı gerektiren kapalı bir yapıdan ziyade mevcut planlama süreçlerine uyarlanabilecek bir karar destek yaklaşımı olarak değerlendirilebilir.

Bununla birlikte sonuçlar kullanılan veri seti ve oluşturulan kural yapısı çerçevesinde değerlendirilmelidir. Çalışma tek bir ürün grubuna ve 12 aylık döneme dayanmaktadır. Ayrıca üyelik fonksiyonları ile bazı kural ilişkileri uzman değerlendirmesi ve mevcut veri dağılımı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu nedenle farklı sektör veya ürün gruplarında aynı parametrelerin doğrudan kullanılmasından önce yeniden ölçümleme yapılması gerekebilir.

İlerleyen çalışmalarda daha uzun zaman serileri kullanılması, farklı ürün gruplarında sonuçların karşılaştırılması ve üyelik fonksiyonlarının ANFIS gibi veri odaklı yöntemlerle optimize edilmesi modelin genellenebilirliğini artırabilir. Ayrıca servis seviyesi, stok maliyeti ve stok tükenmesi maliyetinin aynı optimizasyon çerçevesine dahil edilmesi, elde edilen katsayıların finansal etkisinin de değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak önerilen yapı, güvenlik stoku hesabında klasik formülü korurken servis katsayısını ürün bazında farklılaştırmaktadır. Elde edilen bulgular; talep belirsizliği, tedarik riski ve ürün öneminin birlikte ele alınmasının tek tip katsayı kullanımına göre daha açıklanabilir ve esnek kararlar üretebildiğini göstermektedir. Modelin farklı veri setleri üzerinde sınanması ve kalibrasyon yaklaşımının geliştirilmesi, yöntemin uygulama alanını genişletecek sonraki adımlar olarak görülmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KAYNAKÇA

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Inventory management and production planning and scheduling (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Björk, K. M. (2009). An analytical solution to a fuzzy economic order quantity problem. International Journal of Approximate Reasoning, 50(3), 485-493.

Campean, E., Morar, L., & Blaga, L. (2011). A fuzzy Weibull model with application in stocks optimization. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 24, 972-982.

Phruksaphanrat, B. (2011). Fuzzy inventory control system for uncertain demand and supply. International Journal of Fuzzy Systems, 13(3), 237-246.

Tanthamathee, K., & Phruksaphanrat, B. (2012). Fuzzy inventory control system for uncertain demand and supply. International Journal of Fuzzy Systems, 14(2), 265-275.

Rezaei, H. R. (2012). A novel approach for safety stock prediction based on clustering artificial neural networks. Proceedings of the International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT 2012), 107-109.

Khanlarpour, E., Fazlollahtabar, H., & Mahdavi, I. (2013). Designing an intelligent warehouse based on genetic algorithm and fuzzy logic for determining reorder point and order quantity. Computer Science and Information Technology, 1(1), 1-8.

Amirjabbari, B., & Bhuiyan, N. (2014). Determining supply chain safety stock level and location. Journal of Industrial Engineering and Management, 7(1), 42-71.

Rahman, M. F., Bhowmick, T., Talapatra, S., & Hossain, M. D. (2014). A fuzzy approach to control inventory for variable demand and supply. Proceedings of the 15th Annual Paper Meet, The Institution of Engineers, Bangladesh, 1-8.

Shekarian, E., Olugu, E. U., Abdul-Rashid, S. H., & Kazemi, N. (2016). Analyzing optimization techniques in inventory models: The case of fuzzy economic order quantity problems. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Kuala Lumpur, Malaysia.

Jamegh, R., Kassam, A., & Sabih, S. (2018). Dynamic fuzzy logic to identify safety stock in dairy industries: Empirical case study. Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, 983-992.

Santosa, S. H., Hidayat, A. P., & Siskandar, R. (2021). SAFEA application design on determining the optimal order quantity of chicken eggs based on fuzzy logic. IAES International Journal of Artificial Intelligence, 10(4), 858-871.

Yiğit, F. (2023). A novel type-2 hexagonal fuzzy logic approach for predictive safety stock management for a distribution business. Scientific Reports, 13, 19835.

Prada, G., Tămășan, M., Lucaciu, R., & Blaga, F. (2025). The implementation of a decision-making system based on fuzzy logic for optimizing production scheduling of plastic parts manufactured by injection molding. Acta Technica Napocensis: Applied Mathematics, Mechanics and Engineering, 68(Special Issue I), 199-206.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

tiyofen halkalı sülfamerazin schiff baz ligandı ve bazı metal komplekslerinin sentezi ve karakterizasyonları

Prof. Dr. Mehmet SÖNMEZ

Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Gaziantep, TÜRKİYE

msonmez@gantep.edu.tr- 0000-0003-3127-666X

ÖZET

20. Yüzyılın başlarından itibaren geliştirilen sülfa ilaçları, bakteriyel hastalıklara ve enfeksiyonlara karşı kullanılan ilk ilaçlar olarak kullanılmaya başlamıştır. Daha sonraki yıllarda, sülfonamid türevi bileşikler araştırmacılar tarafından önemli ölçüde ilgi görmüştür. Yapısında hem azot (N) hem de kükürt (S) taşıyan heterosiklik pirimidin halka sistemine sahip bir bileşik olan Sulfamerazin, menenjit ve grip gibi çeşitli bakteriyel enfeksiyonlara karşı önleyici ve tedavi edici bir tür sülfonamid türevi ilaç olarak bilinmektedir. Yine, kükürt içeren heterosiklik sınıfında yer alan tiyofen türevi bileşikler önemli ölçüde biyolojik ve farmakolojik özelliklere sahip çok sayıda doğal ve sentetik bileşiğe benzerlikleri nedeniyle onları tıbbi ve farmasötik kimyada kullanım için cazip adaylar haline getirmektedir.

Bu çalışmada, potansiyel biyolojik aktivitelere sahip heterosiklik halkalara sahip sulfamerazin ve tiyofen 2,5-dikarboksaldehidten türeyen yeni bir Schiff bazı ve bu Schiff bazı ligandın, Cu(II), Ni(II), Co(II) ile metal komplekslerinin sentezi ile bunların analitik ve spektral karakterizasyonu (elementel analiz, ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, UV–vis, FT-IR, LC-MS/MS) yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Sulfamerazin Schiff bazı, metal kompleksleri, spektral karakterizasyon

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

IMPROVING HEART DISEASE PREDICTION PERFORMANCE USING PSO-BASED FEATURE SELECTION

Prof. Dr. Murat LÜY

Kırıkkale University, mluy@kku.edu.tr - 0000-0002-2378-0009

Melih Alperen BİRKAYA

Kırıkkale University, melihbirkaya98@gmail.com - 0009-0005-9519-004X

Asst. Prof. Dr. Nilay AYTAŞ KORKMAZ

Kırıkkale University, nilayaytas@kku.edu.tr - 0000-0002-8305-1641

ABSTRACT

In this study, a Particle Swarm Optimization (PSO)-based feature selection method was applied to the UCI Heart Disease dataset, and the heart disease prediction performance was evaluated using a Logistic Regression classifier. The dataset used in the study consists of 303 samples and 13 clinical features. In the first stage, a baseline Logistic Regression model was trained with all features, yielding a test accuracy of 80.33%. In the second stage, the PSO algorithm was run with 30 particles and 50 iterations, selecting 7 features out of the 13. The test accuracy of the model trained with the features selected by PSO increased to 88.52%. However, 5-fold cross-validation results showed an accuracy of 83.49% for the baseline model and 77.54% for the PSO model. This difference indicates that wrapper-based feature selection methods in small datasets can overfit the test set. The obtained results reveal that PSO-based feature selection can improve test performance; however, the results should be supported by cross-validation and larger datasets.

Keywords: Particle Swarm Optimization, Feature Selection, Heart Disease Prediction, Logistic Regression, Machine Learning

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. Introduction

Cardiovascular diseases are among the most common causes of death worldwide. Early and accurate diagnosis increases the effectiveness of the treatment process and contributes to reducing disease-related risks. Therefore, generating automated decision support systems from clinical data is one of the important research areas in the healthcare field.

Machine learning methods can predict diseases by learning patterns on patient data. However, model success depends not only on the classifier used. The quality, number, and interrelationships of the features in the dataset also directly affect the results. Unnecessary, redundant, or low-discriminative features can increase model complexity, lead to overfitting, and raise computational costs.

At this point, feature selection approaches gain importance. Feature selection aims to work with a smaller number of variables while preserving or improving classification performance. In this study, it was aimed to determine the optimal feature subset in the Heart Disease dataset by using Particle Swarm Optimization (PSO), one of the heuristic optimization algorithms.

The main purpose of the study is to experimentally demonstrate the effect of PSO-based feature selection on the Logistic Regression model, compare it with the baseline model, and discuss the obtained results in terms of accuracy and cross-validation. Thus, instead of focusing solely on test accuracy, the effect of the selected features on generalization performance was also evaluated.

2. Literature Review

The PSO algorithm was proposed by Kennedy and Eberhart in 1995 and quickly began to be used in various fields such as engineering optimization, parameter tuning, and feature selection [1]. The algorithm is inspired by the collective behavior of bird flocks and fish schools. Each particle represents a potential solution in the solution space and moves by considering its own best position and the swarm's best position.

Regarding feature selection, Guyon and Elisseeff stated that variable selection is important in terms of reducing model complexity and increasing generalization performance [2]. Especially in healthcare data, the presence of a large number of clinical features corresponding to a limited sample size can increase the risk of overfitting. Therefore, wrapper-based feature selection approaches are frequently preferred.

In the field of heart disease prediction, Detrano et al. developed probabilistic approaches for the diagnosis of coronary artery disease using clinical parameters [3]. Chaurasia and Pal, on the other hand, used data mining methods for heart disease prediction and compared the performances of different classifiers [4].

The success of PSO and similar heuristic algorithms in the field of feature selection has been demonstrated in many studies. Mafarja and Mirjalili stated that heuristic optimization methods

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

can yield effective results in feature selection problems [5]. Emary et al., on the other hand, examined the applicability of binary optimization approaches in feature selection problems [6].

In line with this literature, the current study treats the PSO algorithm as a wrapper-based feature selector and measures the effect of the selected features on the performance of the Logistic Regression classifier. The distinctive aspect of the study is that it discusses how reliable the achieved improvement is in terms of generalization by reporting not only the test accuracy but also the 5-fold cross-validation result.

3. Dataset and Preprocessing

3.1 Dataset

In this study, the Cleveland version of the UCI Heart Disease dataset was used. The dataset consists of 303 patient records and 13 clinical features. The target variable has a binary classification structure: individuals without heart disease are labeled as 0, and individuals with heart disease are labeled as 1.

When the class distribution is examined, it is seen that there are 138 negative and 165 positive samples. Although this distribution is not completely balanced, it does not constitute a severe class imbalance. Therefore, the accuracy metric can be used as the primary comparison criterion; nevertheless, the cross-validation result was also evaluated separately. Table 1 summarizes the dataset, while Figure 1 shows the class distribution.

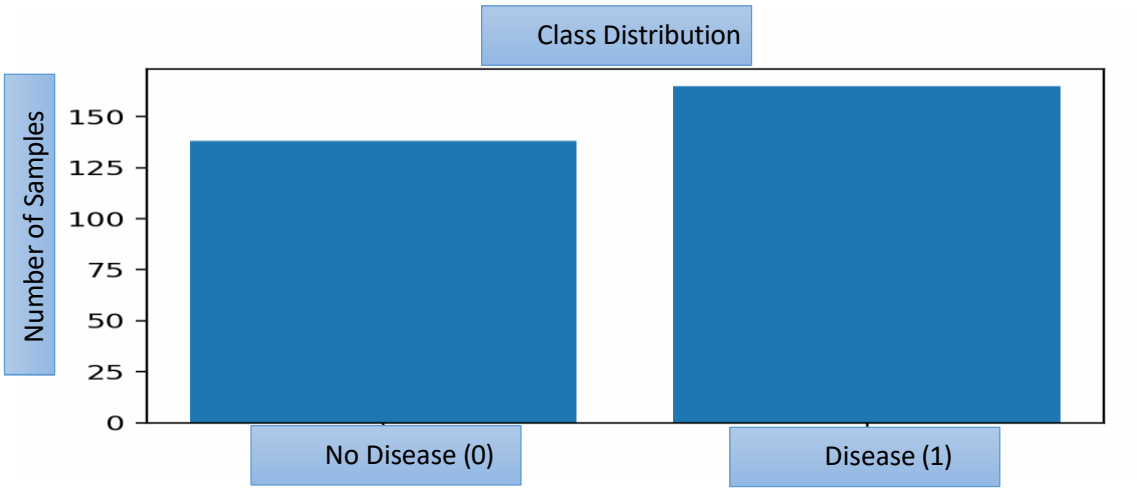


Figure 1. Class distribution in the dataset.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Table 1. Summary Information of the Dataset

Feature	**Value**
Number of Samples	303
Number of Features	13
Class Distribution ($0 / 1$)	138 / 165
Missing Value	None
Test Ratio	%20

3.2 Description of Features

The features in the dataset consist of clinical indicators related to age, gender, chest pain type, resting blood pressure, cholesterol level, electrocardiography result, maximum heart rate, and vessel structure. Some of these variables represent direct measurement results, while others represent clinical category information. Table 2 presents descriptions of the variables in the dataset.

Table 2. Features in the Dataset

Feature	**Description**
age	Patient's age
sex	Gender information
cp	Chest pain type
trestbps	Resting blood pressure
chol	Serum cholesterol value
fbs	Fasting blood sugar
restecg	Resting electrocardiography result
thalach	Maximum heart rate
exang	Exercise-induced angina status
oldpeak	ST depression value
slope	ST segment slope
ca	Number of major vessels colored by fluoroscopy
thal	Thalassemia / stress test indicator

3.3 Preprocessing

Since there are no missing values in the dataset, missing data imputation was not performed. Numerical features were normalized prior to modeling. The train-test split was performed using stratified sampling, thus preserving the proportions of the two classes in both the training and test sets. The training data was used for model learning, and the test data was used for independent evaluation of model performance.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. Material and MethodLogistic Regression

Logistic Regression was used as the primary classifier in this study. Logistic Regression is an interpretable and fast-running method for binary classification problems. The model calculates the disease probability by passing the weighted sum of input features through the sigmoid function. The disease probability is given in Equation (1).

P(y=1)=1/(1+e^(-z)) (1)

In this study, Logistic Regression was used in two different experiments. In the first experiment, the baseline model was trained with all 13 features, and in the second experiment, the model was retrained with the 7 features selected by PSO. Thus, the effect of feature selection on model success was directly compared.

4.2 Particle Swarm Optimization

In the PSO algorithm, each particle represents a potential solution in the search space. In this study, the solution space is a binary selection problem consisting of 13 features. The position vector of each particle is 13-dimensional; if the position value is above the 0.5 threshold, the corresponding feature is considered selected.

The velocity and position of each particle are updated according to Equations (2) and (3), respectively. The velocity update incorporates the particle's own best-known position and the global best position of the swarm, while the position is updated based on the newly calculated velocity.

$$v_{i,d}^{t+1} = w.v_{i,d}^{t} + c_1.r_1\left(pbest_{i,d} - x_{i,d}^{t}\right) + c_2.r_2\left(gbest_d - x_{i,d}^{t}\right) \quad (2)$$

$$x_{i,d}^{t+1} = x_{i,d}^{t} + v_{i,d}^{t+1} \quad (3)$$

Here:

$x_{i,d}^{t}$: the position of particle i in dimension d at iteration t,
$v_{i,d}^{t+1}$: the current velocity of the particle,,
$pbest_{i,d}$: the best position found by the particle so far,
$gbest_d$: the best position found by the swarm,
ω : inertia weight,
c_1 : cognitive coefficient,
c_2 : social coefficient,
r_1,r_2 : random numbers generated in the interval [0,1]

The PSO parameters are presented in Table 3.

Table 3. PSO Hyperparameters:

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Parameter	Value
Number of Particles	30
Iteration	50
Inertia Coefficient (W)	0.6
Cognitive Coefficient (c_1)	2.0
Social Coefficient (c_2)	2.0
Threshold Value	0.5
Velocity Clamping	[-4, +4]

4.3 Fitness Function and Code Snippet

In the study, the PSO algorithm was used for wrapper-based feature selection. The fitness value is based on the accuracy of the Logistic Regression model trained with the selected features.

Additionally, a small penalty term proportional to the ratio of selected features was added to prevent the selection of excessively redundant features. Thus, the objective is not only to increase accuracy but also to obtain a simpler feature subset.

```
def _fitness(self, position, X_tr, y_tr, X_te, y_te):
  selected = position > PSO["threshold"]
  if selected.sum() == 0:
  return 0.0

  model = LogisticRegression(**MODEL)
  model.fit(X_tr[:, selected], y_tr)

  acc = accuracy_score(y_te, model.predict(X_te[:, selected]))
  ratio_penalty = self.penalty * (selected.sum() / len(position))

return acc - ratio_penalty
```

This code snippet summarizes the fitness function used by the PSO algorithm to evaluate each particle. The model is trained with the selected features, test accuracy is calculated, and the fitness value is obtained by subtracting the penalty term dependent on the number of selected features.

5. Results and Discussion

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

5.1 Performance Comparison

Experimental results are given in Table 4. The baseline Logistic Regression model achieved 80.33% test accuracy with all 13 features. Following PSO-based feature selection, the model was retrained with only 7 features, and the test accuracy increased to 88.52%. This result corresponds to an improvement of 8.19 percentage points on the test set.

Table 4. Performance Comparison of Models

Method	Number of Features	Test Accuracy	5-Fold CV
Baseline Logistic Regression	13	%80.33	%83.49
PSO + Logistic Regression	7	%88.52	%77.54

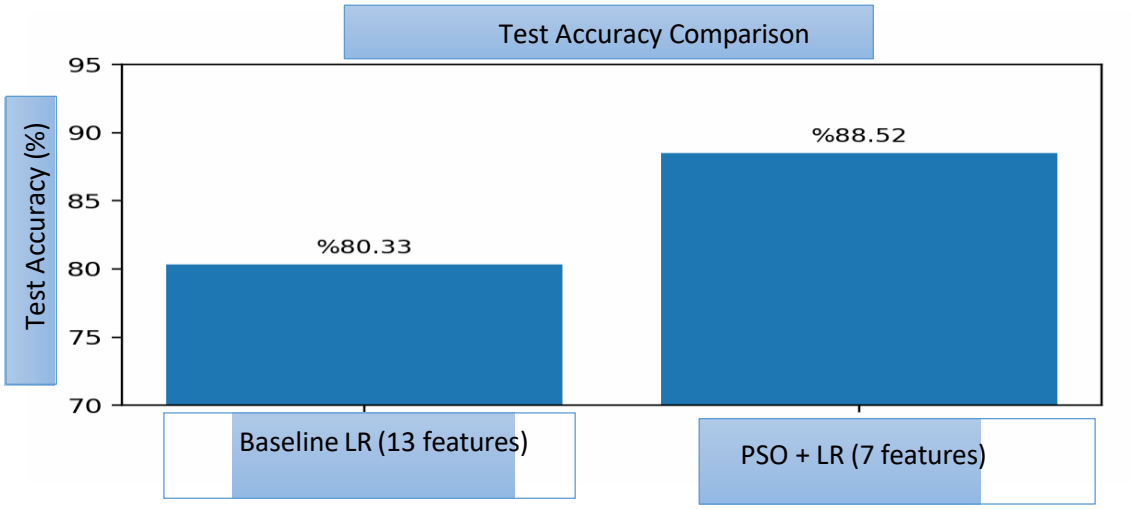


Figure 2. Baseline and Post-PSO Test Accuracy Comparison

As seen in Figure 2, the feature subset selected by PSO significantly increased test accuracy. This indicates that using all features does not always yield the best result. When the contribution of certain features to the model is low, eliminating these features can simplify the decision boundary of the model and enhance test performance.

5.2 Selected Features

The PSO algorithm selected 7 features out of 13. The selected features are: sex, restecg, thalach, oldpeak, slope, ca, and thal. The eliminated features were determined as age, cp, trestbps, chol, fbs, and exang. This statement resolves the error in the repeatedly eliminated feature list present in previous drafts.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Table 5. Selected Variables by the PSO Algorithm

Number	Value	Status
1	age	Eliminated
2	sex	**Selected**
3	cp	Eliminated
4	trestbps	Eliminated
5	chol	Eliminated
6	fbs	Eliminated
7	restecg	**Selected**
8	thalach	**Selected**
9	exang	Eliminated
10	oldpeak	**Selected**
11	slope	**Selected**
12	ca	**Selected**
13	thal	**Selected**

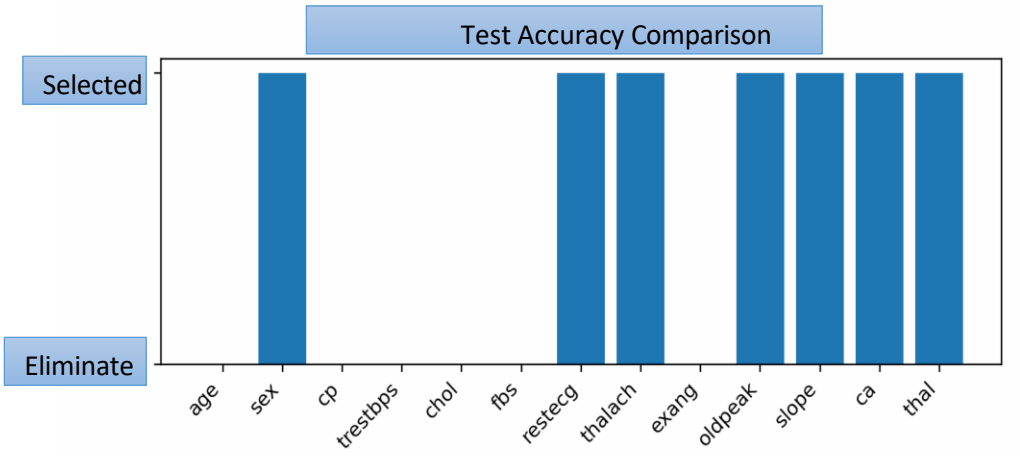


Figure 3. Feature Selection Status After PSO

As seen in Figure 3, the PSO algorithm preserved several clinically significant variables. Particularly, the selection of maximum heart rate (thalach), ST depression (oldpeak), ST slope (slope), number of vessels (ca), and thalassemia indicator (thal) variables demonstrates that physiological measurements can be decisive in heart disease diagnosis. At this point, the values used were not interpreted as Logistic Regression coefficients, but were presented as features selected or eliminated by PSO.

5.3 Difference Between Test Result and Cross-Validation

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Although the PSO model produced higher accuracy on the test set, it remained below the baseline model in terms of the 5-fold cross-validation result. While the 5-fold CV accuracy for the baseline model was 83.49%, this value was obtained as 77.54% for the PSO model. This is illustrated in Figure 4. This situation indicates that PSO might have overfit the small test set.

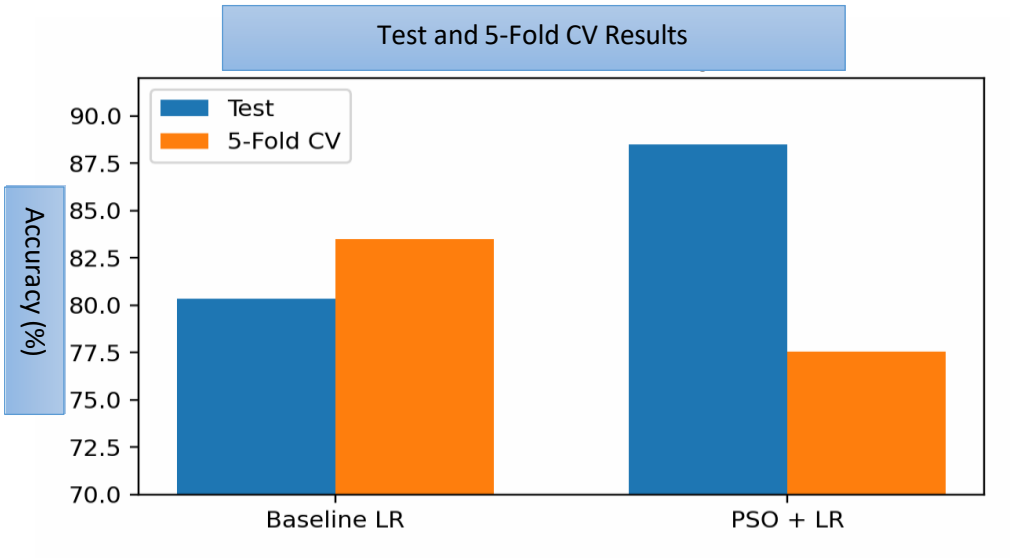


Figure 4. Test accuracy and 5-fold cross-validation results

In wrapper-based feature selection methods, model success can directly depend on the chosen data split. Especially in limited datasets such as 303 samples, a small test set can cause test accuracy to appear overly optimistic. Therefore, while the increase in test accuracy provided by PSO is valuable, the results need to be supported by larger datasets or independent validation sets.

This approach ensures a more balanced interpretation of the study. Rather than reporting only high test accuracy, the potential limitation of the method is explicitly stated by taking the cross-validation result into account. This circumstance enhances the experimental reliability of the report.

5.4 PSO Convergence Behavior

The PSO algorithm was run for 50 iterations. Experimental outputs indicate that the algorithm demonstrated rapid improvement in initial iterations and reached a stable region starting from approximately the 40th iteration. Therefore, in the conclusion section, it should be stated not that the algorithm "did not converge," but rather that it "converged stably starting from approximately the 40th iteration". This correction eliminates the contradiction between the method and results sections.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

6. Code Sharing and Reproducibility

The Python codes used in the study have been shared on GitHub. The repository contains files pertaining to data loading, PSO-based feature selection, model evaluation, and visualization steps. This structure enhances the reproducibility of the study.

GitHub Link: https://github.com/melihbirkaya/PSO-Heart-Disease-Prediction

File	Function
config.py	PSO and model hyperparameters
data_loader.py	Data loading and preprocessing
pso.py	PSO-based feature selection algorithm
evaluate.py	Model evaluation metrics
visualize.py	Graphic generation
main.py	Main execution file
requirements.txt	Required Python libraries

7. Conclusion and Recommendations

In this study, PSO-based feature selection was applied on the UCI Heart Disease dataset, and heart disease prediction was performed using a Logistic Regression classifier. While the baseline model achieved 80.33% test accuracy with all 13 features, the test accuracy increased to 88.52% when using the 7 features selected by PSO.

The PSO algorithm enabled achieving higher accuracy on the test set by reducing the number of features. However, the fact that the PSO model remained below the baseline model as a result of 5-fold cross-validation shows that test accuracy alone is not a sufficient performance metric in small datasets. Therefore, results must be evaluated together with both their positive contributions and limitations.

In future studies, PSO, Genetic Algorithm, and Ant Colony Optimization methods can be compared within the same experimental setup. Furthermore, the effect of PSO-based feature selection can be tested with different classifiers such as Random Forest, SVM, and MLP. Experiments to be conducted on larger and independent healthcare datasets will reveal the generalization capability of the method in a more reliable manner.

References

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[1] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948.

[2] I. Guyon and A. Elisseeff, "An introduction to variable and feature selection," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 3, pp. 1157–1182, 2003.

[3] R. Detrano et al., "International application of a new probability algorithm for the diagnosis of coronary artery disease," *American Journal of Cardiology*, vol. 64, no. 5, pp. 304–310, 1989.

[4] V. Chaurasia and S. Pal, "Data mining approach to detect heart diseases," *International Journal of Advanced Computer Science and Information Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 56–66, 2013.

[5] M. Mafarja and S. Mirjalili, "Evolutionary population dynamics and grasshopper optimization approaches for feature selection problems," *Knowledge-Based Systems*, vol. 145,pp. 25–45, 2018.

[6] E. Emary, H. M. Zawbaa, and A. E. Hassanien, "Binary grey wolf optimization approaches for feature selection," *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 371–381, 2016.

[7] M. Abdar et al., "A review of uncertainty quantification in deep learning: Techniques, applications and challenges," *Information Fusion*, vol. 76, pp. 243–297, 2021.

[8] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, 2nd ed. New York, NY, USA: Springer, 2009.

[9] C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning. New York, NY, USA: Springer, 2006.

[10] World Health Organization, "Cardiovascular diseases fact sheet," WHO, Geneva, Switzerland, 2023.

[11] M. A. Birkaya, "PSO-Heart-Disease-Prediction," GitHub Repository, 2026. [Online]. Available: https://github.com/melihbirkaya/PSO-Heart-Disease-Prediction

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

LIVER SEGMENTATION IN COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGES: A COMMON-PROTOCOL COMPARISON OF SIX U-NET VARIANTS

Buğra HATİPOĞLU

Kırıkkale University, bugrahatipoglu@kku.edu.tr - 0000-0003-2813-5612

Prof. Dr. Murat LÜY

Kırıkkale University, mluy@kku.edu.tr - 0000-0002-2378-0009

ABSTRACT

In two-stage systems for liver tumour segmentation, liver segmentation forms the first stage and is a precondition that directly bounds the performance of the second. Many U-Net derivatives have been reported for this task, yet the published values are not directly comparable because studies use different data splits, working resolutions and metric definitions. In this study six U-Net variants — U-Net, Attention U-Net, U-Net++, ResU-Net, UNet 3+ and a U-Net with an ImageNet-pretrained ResNet34 encoder — were compared under a protocol in which the architecture was the only variable. The 131 patients of the LiTS dataset were split into 91 training / 20 validation / 20 test patients by two-axis stratification over slice thickness and liver volume. All models were trained at the same resolution and with the same loss function, optimiser and batch order. Evaluation was performed per patient and in millimetres, after the probability maps had been resampled back to each patient's own 512 × 512 grid. The highest performance was obtained by ResNet34-U-Net (Dice 0.9625 ± 0.0084; ASSD 1.257 ± 0.480 mm). The classical U-Net outperformed U-Net++, ResU-Net and UNet 3+, all of which were proposed as architectural improvements. The total Dice spread across the six models remained limited to 0.0096, and in paired tests the top three models were not separable. The contribution of the liver stage to the tumour stage was also quantified: restricting the search to the liver mask reduced the number of slices to be processed by 67.3%, lost no tumour pixel, and improved the tumour class imbalance by a factor of 43.8.

Keywords: Liver Segmentation, U-Net, Deep Learning, LiTS, Computed Tomography

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

8. Introduction

Segmentation of the liver and liver tumours from contrast-enhanced computed tomography (CT) is decisive for diagnosis, surgical resection planning and monitoring of treatment response. Manual segmentation takes hours per patient and has high inter-observer variability, which is why automatic methods have become the standard in the field [1].

Most systems built in this area are two-stage: the liver is segmented first, and the search for tumours is carried out only inside that region. The rationale comes directly from the data statistics; tumour pixels are extremely sparse across the whole volume, whereas the liver is a single connected organ with a relatively stable location. The quality of the first stage therefore sets the upper bound of the whole system. Although dozens of U-Net derivatives have been proposed for this precondition, which architecture is genuinely better remains an open question, because the reported values rest on different datasets, different splits, different working resolutions and different metric definitions.

This study reduces the question to a single-variable experiment: six U-Net variants were trained on the same patients, with the same preprocessing, the same loss function and the same batch order, and only the model constructor was changed. The six architectures were evaluated under identical conditions on a single patient-level split. Boundary metrics were derived from one bidirectional distance vector and validated against an independent reference. Finally, the contribution of the liver stage to the tumour stage was quantified on the data.

9. Literature Review

The history of deep learning methods in liver segmentation rests on the U-Net architecture [2], which combines an encoder–decoder topology with skip connections. In the following years three main directions of modification were proposed on this skeleton. The first is to make the skip connections selective: Attention U-Net [3] places an attention gate on each connection, driven by a context signal from the decoder. The second is to close the semantic gap between encoder and decoder: U-Net++ [4] uses densely nested intermediate nodes, while UNet 3+ [5] uses full-scale connections. The third is to improve the transmission path: ResU-Net [6] replaces pooling with residual blocks. A fourth, independent direction changes not the architecture but the initialisation, attaching encoders pretrained on ImageNet [7] to a U-Net decoder. More recently, hybrid networks combining convolution and transformer components [8] and end-to-end systems focused on liver lesions [9] have also been proposed.

The performance of these architectures in liver segmentation has been measured on different datasets. Yashaswini et al. [10] compared the classical U-Net with ResU-Net on 3Dircadb and obtained Dice values of 0.9127 and 0.9144, respectively. Balasubramanian et al. [11] reached 0.9731 Dice on Sliver07 with an enhanced Mask R-CNN; the comparison table of the same study reports 0.9694 for Ga-CNN and 0.9560 for a thresholding-based method. Wesdorp et al. [12] trained two separate U-Nets, one for the liver and one for the tumour, on a cohort of 122 scans with colorectal liver metastases and reported 0.9600 Dice for the liver. Sabir et al. [13] trained a densely connected ResU-Net on 3DIRCADb and reported 0.9700 Dice for the liver.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Atabansi et al. [8] reported 0.9606 Dice for the liver on their own clinical dataset with ICT-Net, which combines convolution and transformer blocks.

The width of this band stems less from architectural differences than from differences in experimental conditions. Foremost among these is the difference in dataset and split; 3Dircadb contains 20 and Sliver07 30 patients, whereas LiTS has 131, and as the number of patients falls the effect of a single difficult case on the mean grows. Another important factor is that metrics bearing the same name are computed under different definitions. As we observed while building our own metric implementation, the average symmetric surface distance can be computed either one-directionally or bidirectionally, and surface distances can be left in pixel units yet reported as millimetres; these choices produce different numbers for the same prediction. Likewise, some studies report pooled (global) Dice and others per-patient Dice; since both are called simply "Dice", the convention used often cannot be determined from the text.

10. Dataset and Preprocessing

10.1 Dataset

The 131-patient training partition of the LiTS dataset was used [14]. The dataset is multi-centre, so the scan parameters span a wide range (Table 1). The variation of slice thickness between 0.70 and 5.00 mm was taken into account in the experimental design in particular, because it directly affects the surface distance metrics.

Table 1. Properties of the LiTS dataset

Property	Value
Number of patients	131
In-plane size	512 × 512
In-plane pixel spacing	0.557 – 1.000 mm (mean 0.796)
Slice thickness	0.70 – 5.00 mm (mean 1.445)
Total axial slices	58,638
Slices containing liver	19,151 (32.7%)
Liver volume	mean 1690 mL, median 1631 mL
Label values	0 background, 1 liver, 2 tumour

Because the labels are three-valued, the liver mask was defined as "label ≥ 1". This definition was not left as an assumption but checked on the data: the number of tumour pixels falling outside the mask was verified to be zero.

10.2 Preprocessing

Each slice was passed through three steps: an intensity window of centre 50 HU / width 350 HU, slice-wise min–max normalisation, and downsampling to 224 × 224 with area-weighted (INTER_AREA) interpolation. The network input is in 2.5D form; each target slice is stacked with the preceding and following slice as three channels, so that the model gains axial context without incurring the memory cost of a fully three-dimensional network. Where no neighbour

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

exists at the ends of a volume, index clamping is applied instead of zero padding; zero padding injects an artificial air-like slice and thereby shifts the batch normalisation statistics exactly where the *z* boundary of the organ is being determined (Figure 1).

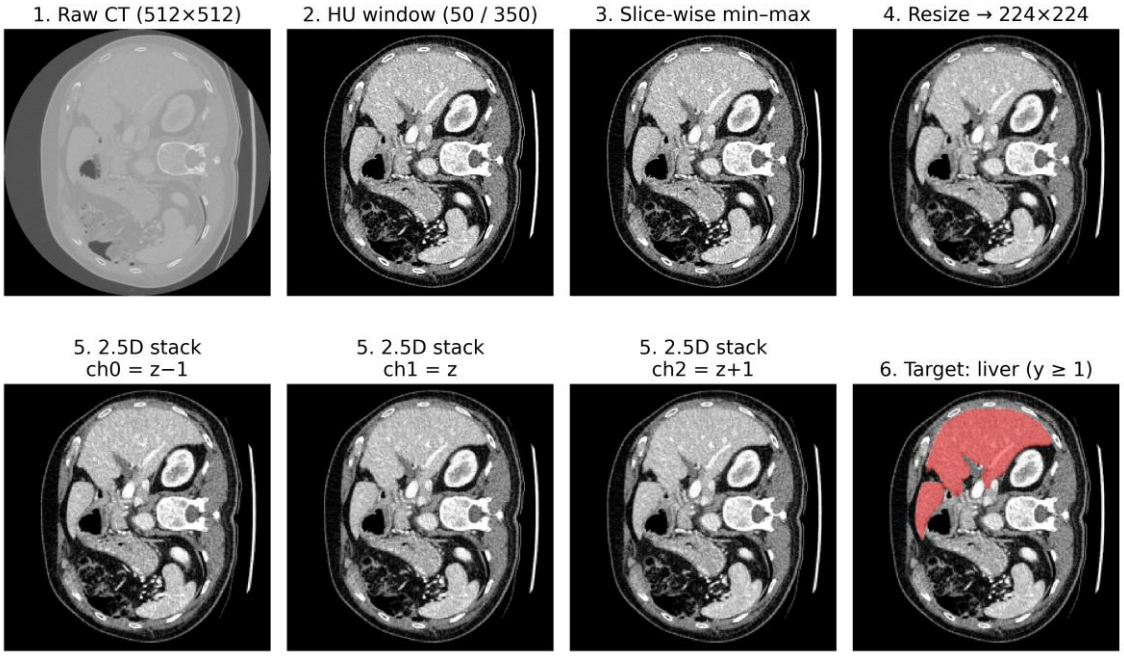


Figure 1. Preprocessing pipeline: HU windowing, slice-wise normalisation, downsampling to 224 pixels and 2.5D channel stacking

10.3 Patient-Level Split

The 131 patients were divided into 91 training / 20 validation / 20 test. The split is at patient level; slices of the same patient were never distributed across two sets. Stratification is two-axis: a slice-thickness bucket (< 1.0; 1.0–2.5; > 2.5 mm) and the liver volume tertile. In the resulting balance the median slice thickness of the three sets is identical (1.00 mm) and the median liver volumes lie in the 1593–1633 mL band. The split was generated once and then locked: the training script embeds the sha256 digest of the file into every weight file, and the evaluation script verifies this digest. The statement that all six models used the same split is therefore a mechanical guarantee rather than a claim.

Three groups of slices were taken into the training pool for each patient: all slices containing liver, a ± 5 slice neighbourhood of the *z* range of the liver, and 10% of the remaining background slices selected with a fixed seed. Training only on liver-bearing slices would have been cheaper; however, since the model would never see a lung or pelvis slice, it would produce false positive components in the chest region when run over the whole volume. The resulting training pool contains 17,238 slices and the validation pool 3,551; no slice selection was applied to the test set, where full volumes were evaluated.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

11. Materials and Methods

11.1 Compared Architectures

The six architectures were written from scratch for this study and placed behind a common interface producing a single-channel logit. In the five architectures written from scratch, the base filter width was fixed at 32 and the depth at five levels; the parameter counts therefore remained in the 6.75–9.16 M band, and the performance difference can be attributed to topology rather than capacity (Table 2, Figure 2). The schematics in Figure 2 show only the skip connection topology; ResU-Net's use of strided residual blocks instead of pooling, and ResNet34-U-Net's initialisation with a pretrained encoder, are differences inside the encoder and are therefore not reflected in the schematics.

Table 2. Distinguishing mechanisms and parameter counts of the six compared architectures.

Model	Distinguishing mechanism	Parameters
U-Net [2]	Plain same-level skip connection (reference)	7.76 M
Attention U-Net [3]	Attention gate on four skip connections	7.85 M
U-Net++ [4]	Densely nested intermediate convolution nodes	9.16 M
UNet 3+ [5]	Full-scale skip connections	6.75 M
ResU-Net [6]	Strided residual block instead of pooling	8.29 M
ResNet34-U-Net [7]	ImageNet-pretrained encoder	24.44 M

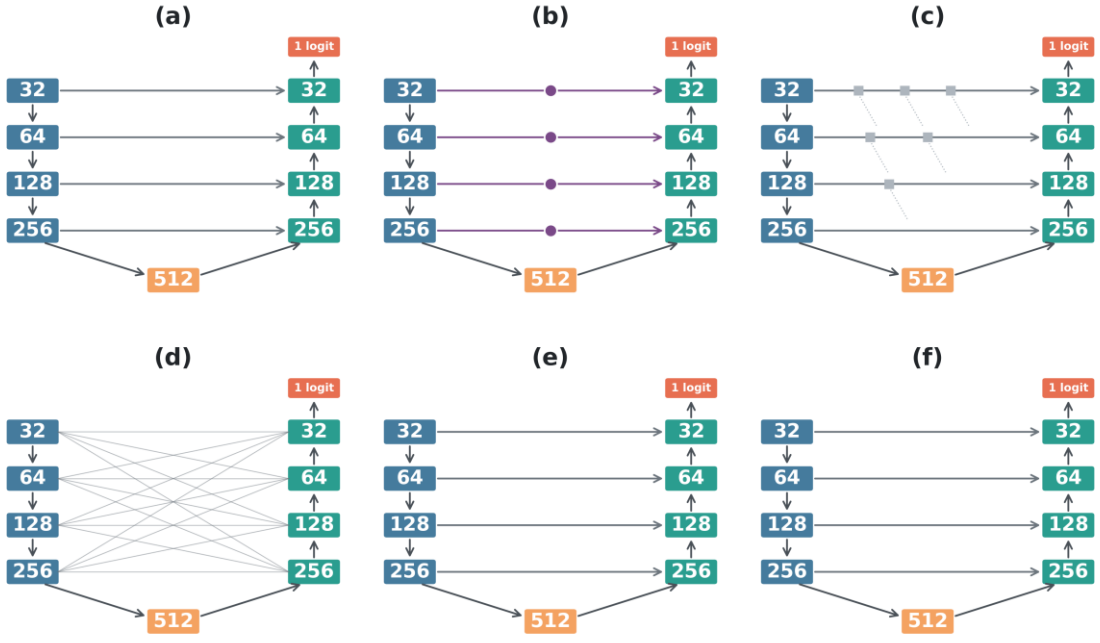


Figure 2. Block schematics of the six compared U-Net variants: (a) U-Net, (b) Attention U-Net, (c) U-Net++, (d) UNet 3+, (e) ResU-Net, (f) ResNet34-U-Net

For ResU-Net, the original definition uses a full pre-activation residual unit. In this study the post-activation form was used because of an approximately fourfold-and-a-half speed penalty

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

measured with the channels-last memory format; the parameter count and the receptive field are unchanged.

11.2 Common Training Protocol

The recipe is identical for all six models; only the model constructor changes (Table 3). The loss function is the equally weighted sum of binary cross-entropy and soft Dice loss. The liver covers roughly 7% of the pixels in liver-bearing slices; for this moderate imbalance, Tversky, focal and boundary-based losses were deliberately left out, because they introduce additional tuning variables that interact differently from architecture to architecture and would make the comparison harder to carry out.

Table 3. Hyperparameters of the common training protocol

Parameter	**Value**
Input	224 × 224, 2.5D (3 channels)
Loss function	BCE + soft Dice (equal weight)
Optimiser	AdamW, learning rate 3×10^{-4}, weight decay 10^{-4}
Scheduler	3-epoch warm-up + cosine decay
Epochs / early stopping	at most 60 / patience 15 (validation Dice)

Model selection was made over the exponential moving average of the weights. Because the batch shuffling generator is seeded independently of the model at every epoch, all six models saw the same samples in the same order. The only deviation from the protocol concerns the pretrained encoder and is unavoidable: in ResNet34-U-Net the encoder was frozen for the first two epochs and then trained at one tenth of the decoder's learning rate. At a uniform rate the pretrained weights are erased within the first few hundred steps, and the "pretrained" arm effectively turns into a randomly initialised one.

11.3 Evaluation Metrics

Evaluation was carried out in native space, on each patient's own 512 × 512 grid and against the untouched original label volume; the alternative would have been to grade against a degraded reference with its own jagged boundary. Resampling was performed not on the binary mask but on the probability map with bilinear interpolation, and thresholding was applied after upsampling. A largest connected component post-processing step was then applied; since the liver is a single connected organ, all components not attached to the main mass are false positives. As test-time augmentation, the probability maps of the original and horizontally flipped images were averaged.

Overlap metrics were computed per patient and averaged over the 20 test patients. With T the predicted set and R the reference set, the Dice coefficient is

$$\text{Dice} = \frac{2|T \cap R|}{|T| + |R|} \tag{1}$$

Boundary metrics were derived from a single kernel that makes inconsistency between

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

implementations structurally impossible: for each patient a bidirectional distance vector is computed once and four metrics are extracted from it. Below, $d_{T\to R}$ denotes the distances from the predicted boundary to the reference boundary and $d_{R\to T}$ those in the reverse direction; D denotes the union of the two, $\mathrm{mean}(\cdot)$ the mean and p_{95} the 95th percentile:

$$D = d_{T\to R} \cup d_{R\to T} \tag{2}$$

$$\mathrm{ASSD} = \frac{1}{2}[\mathrm{mean}(d_{T\to R}) + \mathrm{mean}(d_{R\to T})] \tag{3}$$

$$\mathrm{MSD} = \mathrm{mean}(D), \mathrm{RMSD} = \sqrt{\mathrm{mean}(D^2)}, \mathrm{HD95} = p_{95}(D) \tag{4}$$

Because the Euclidean distance transform is called with each patient's own pixel spacings, the values are directly in millimetres. The implementation was validated against an independent reference library to a tolerance of 10^{-6}; evaluation was not permitted until this gate was passed.

12. Results and Discussion

12.1 Rationale for the Liver Stage

The contribution of liver segmentation to the tumour stage was measured on the data (Table 4, Figure 3).

Table 4. Measured contribution of restricting the search to the liver mask for the tumour stage (131 patients).

Measure	Without mask	With mask	Gain
Slices to be processed	58,638	19,151	67.3% reduction
Tumour pixels retained	—	all	lossless
Tumour pixel ratio	0.120%	5.257%	43.8×
Share of target within the frame	100%	27.0%	1.92× effective resolution

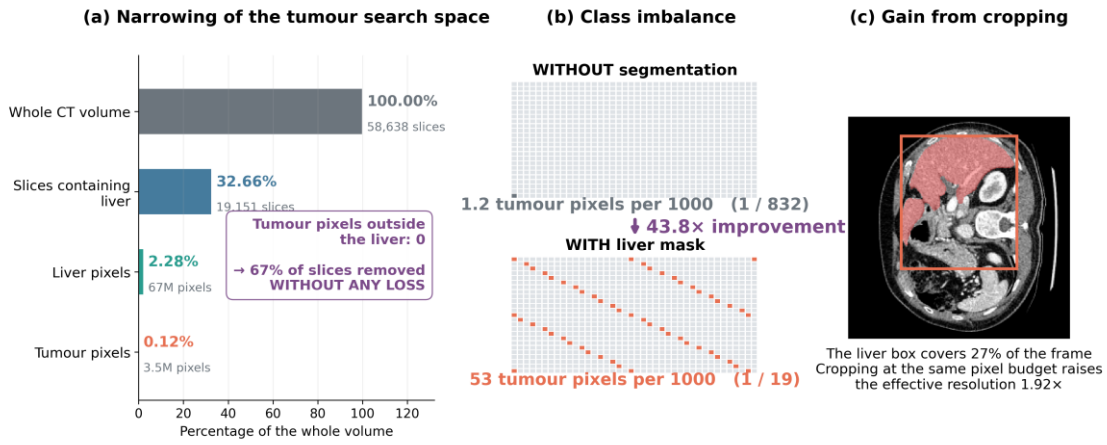


Figure 3. Measured contribution of the liver stage to the tumour stage: (a) narrowing of the tumour search space, (b) improvement of class imbalance, (c) gain in effective resolution

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

from cropping

The core finding is that the number of tumour pixels falling outside the liver mask is zero; the 67.3% reduction therefore involves no loss of information. The improvement in class imbalance maps directly onto the learning problem: across the whole image one pixel in every 832 is tumour, whereas inside the liver this ratio rises to one in 19.

12.2 Training Behaviour

The training and validation curves of the six models are given in Figure 4. ResNet34-U-Net, which uses an ImageNet-pretrained encoder, crossed the 0.95 threshold in validation global Dice at the eighth epoch; the five architectures initialised from scratch reached the same threshold between epochs 10 and 16. The best epochs of the models lie in the range 23–40, and early stopping is triggered between epochs 38 and 55. At the best epoch, the gap between training and validation global Dice stayed within 0.016–0.021 for all six models; the augmentation and early stopping settings of the common recipe limited overfitting. After the twentieth epoch the validation curves converge into a narrow band: the best validation Dice values of the six models lie between 0.9567 and 0.9589.

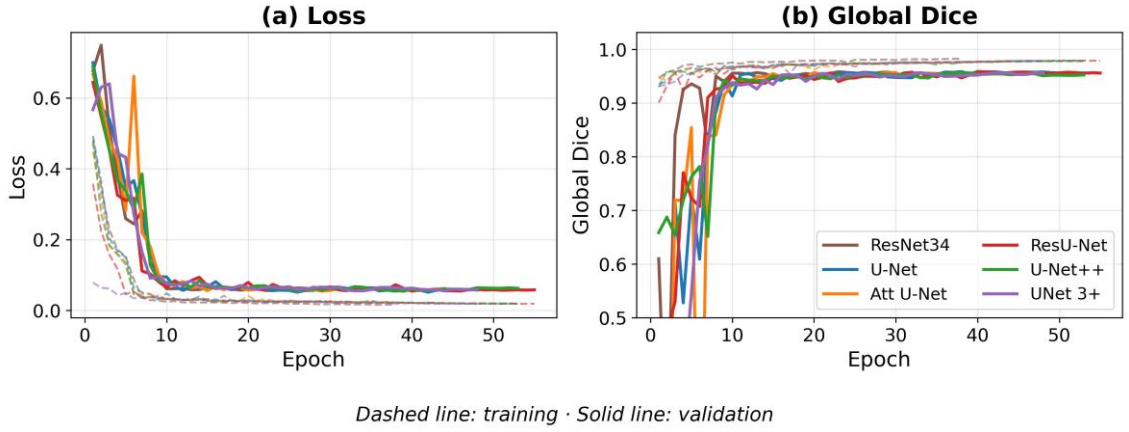


Figure 4. Training and validation curves of the six models: (a) loss, (b) global Dice. Dashed lines are training, solid lines validation

12.3 Overlap Performance

Table 5. Test-set overlap metrics (n = 20 patients, mean ± standard deviation)

Model	Dice	IoU	RVD	Sensitivity	Precision
ResNet34-U-Net	0.9625 ± 0.0084	0.9279	−0.0063	0.9595	0.9659
Attention U-Net	0.9599 ± 0.0105	0.9231	−0.0193	0.9507	0.9699
U-Net	0.9589 ± 0.0139	0.9213	−0.0224	0.9483	0.9703
U-Net++	0.9580 ± 0.0166	0.9199	−0.0321	0.9429	0.9746
ResU-Net	0.9549 ± 0.0192	0.9144	−0.0271	0.9423	0.9690
UNet 3+	0.9529 ± 0.0197	0.9107	−0.0453	0.9316	0.9762

The highest Dice was obtained by ResNet34-U-Net; the difference between the best and the

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

worst model is 0.0096 (Table 5). The most accurate model is at the same time the most stable across patients (0.0084 against 0.0197). A systematic pattern is also visible in the table: the relative volume difference is negative for all six models and precision is higher than sensitivity in every model; that is, all models predict the liver slightly smaller than it is. The lowest sensitivity and the highest precision belong to UNet 3+, which pulls the boundary inwards. ResNet34-U-Net, by contrast, is the model that keeps sensitivity and precision most balanced, and it gains its Dice advantage from this (Figure 5).

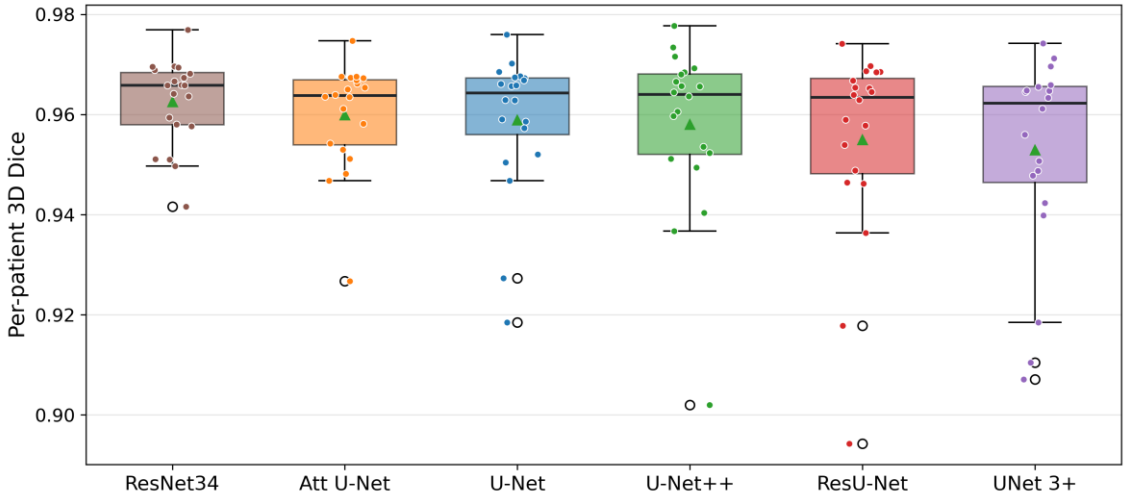


Figure 5. Distribution of per-patient Dice on the test set (n = 20 patients)

12.4 Boundary Performance

Table 6. Test-set boundary metrics in millimetres (n = 20 patients)

Model	ASSD	MSD	RMSD	HD95
ResNet34-U-Net	1.257 ± 0.480	1.262	2.346	4.447 ± 2.614
U-Net	1.440 ± 0.773	1.455	2.745	5.731 ± 4.818
Attention U-Net	1.521 ± 0.961	1.553	3.114	6.798 ± 7.832
U-Net++	1.548 ± 0.933	1.611	3.069	6.408 ± 5.535
ResU-Net	1.727 ± 1.120	1.769	3.443	7.448 ± 6.939
UNet 3+	1.736 ± 1.119	1.768	3.327	7.369 ± 7.182

Boundary metrics (Table 6) magnify the differences that overlap metrics conceal. Attention U-Net, second in the Dice ranking, is only 0.27% behind the best model; the difference between the same two models is 21% on the ASSD scale and 53% on the HD95 scale. Moreover the ranking changes: in boundary metrics Attention U-Net falls behind the classical U-Net. For a large and compact organ such as the liver, it is an expected result that a volume-weighted metric remains insensitive to a boundary shift of a few pixels (Figure 6).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

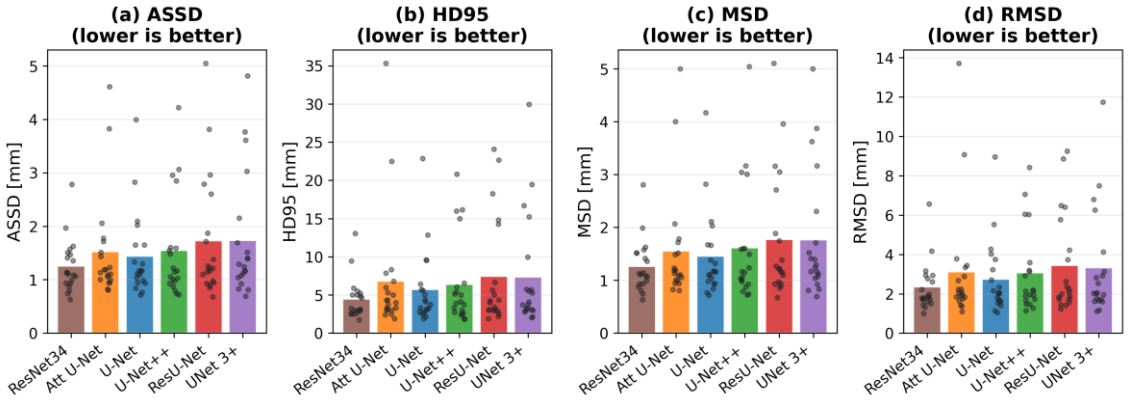


Figure 6. Boundary metrics in millimetres and their per-patient distributions: (a) ASSD, (b) HD95, (c) MSD, (d) RMSD. Bars are means, dots individual patients

That ASSD and MSD are this close to each other (difference ≤ 0.06 mm) shows that the predictions are balanced in both directions, with neither a stray false positive component nor a large missing region left behind. Indeed, before the connected component filter was applied, the predictions contained on average 3.1–5.3 components per patient, reaching 18 in some patients; since a single component far from the main mass corrupts the distance vector entirely, this filter is not an optional refinement but a necessary step for the boundary metrics to be meaningful.

12.5 Patient-Level Variability

Differences between models remain small next to differences between patients. The standard deviation of the Dice values given by the six models for the same patient averages 0.0061, whereas within a single model the standard deviation across patients lies in the 0.0084–0.0197 band. The models largely struggle with the same patients; the dominant source of error is therefore the data rather than the model. The highest performance was obtained in a patient with 0.8 mm slice thickness (Dice 0.9769) and the lowest in a patient with 2.5 mm slice thickness (Dice 0.9416); no significant relationship was found between slice thickness and ASSD (Spearman $\rho = -0.125$ to $+0.145$; $p > 0.54$ in all models).

In a Wilcoxon signed-rank test on the 20 paired patients, the difference between the most accurate model and ResU-Net ($p = 0.0003$), UNet 3+ ($p = 0.0009$) and U-Net ($p = 0.036$) was significant, while the difference with Attention U-Net ($p = 0.083$) and U-Net++ ($p = 0.231$) was not. Since the test was run on a single split it does not replace cross-validation; the finding should be read as indicating that the top three models are not separable in practice (Figure 7).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

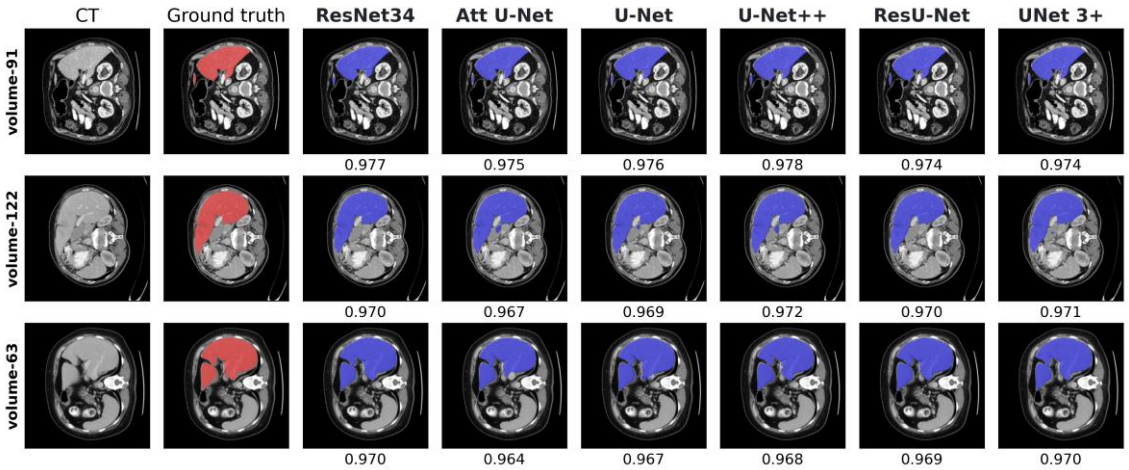


Figure 7. Qualitative comparison of the six models on high-performing cases; the mid-liver slice is shown for each patient

13. Conclusions and Recommendations

In this study six U-Net variants were compared for liver segmentation under a controlled protocol in which the architecture was the only variable. The highest performance was obtained by ResNet34-U-Net, which uses an ImageNet-pretrained encoder (Dice 0.9625 ± 0.0084; ASSD 1.257 ± 0.480 mm; HD95 4.447 ± 2.614 mm). This value lies in the upper band of the results reported in the literature, and a mean boundary error of 1.257 mm is low enough not to cause a meaningful loss of information when the tumour search is restricted to the liver.

The first finding is that the choice of architecture is a secondary variable for this task. The Dice spread across the six variants is 0.0096 on the test set and 0.0022 on the validation set; in paired tests the top three models are not separable. The classical U-Net outperformed U-Net++, ResU-Net and UNet 3+, all of which were proposed as architectural improvements. The only meaningful gain comes from the pretrained encoder; for this task, therefore, directing effort towards transfer learning rather than towards the search for new architectures appears more productive.

The second finding is that the choice of metric determines discriminative power. Differences that are almost invisible on the Dice scale become pronounced in boundary metrics and yield a different ranking; where the clinical requirement is boundary accuracy, selecting a model on Dice alone is not sufficient. The third finding is that the parameter count does not represent computational cost: UNet 3+, the model with the fewest parameters (6.75 M), gave the longest epoch time (123.5 s), whereas ResNet34-U-Net remained at the same level as the classical U-Net despite carrying three times the parameters (57.9 s against 56.9 s). What matters is not the number of parameters but the number of operations performed at high resolution.

The liver mask obtained here forms a sound first stage for tumour segmentation; the measurements show that this stage reduces the number of slices to be processed by 67.3%, loses no tumour pixel and improves the class imbalance by a factor of 43.8. The results were obtained on a single patient split; future work is planned to extend the protocol to cross-validation, to

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

repeat it at a higher working resolution and to test it on an independent dataset.

References

[12] S. Gul, M. S. Khan, A. Bibi, A. Khandakar, M. A. Ayari, and M. E. H. Chowdhury, "Deep learning techniques for liver and liver tumor segmentation: A review," *Comput. Biol. Med.*, vol. 147, p. 105620, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.compbiomed.2022.105620.

[13] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9351, 2015, pp. 234–241, doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.

[14] O. Oktay et al., "Attention U-Net: Learning Where to Look for the Pancreas," May 2018, doi: 10.48550/arXiv.1804.03999.

[15] Z. Zhou, M. M. R. Siddiquee, N. Tajbakhsh, and J. Liang, "UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation," *Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 11045, pp. 3–11, Jul. 2018, doi: 10.1007/978-3-030-00889-5_1.

[16] H. Huang et al., "UNet 3+: A Full-Scale Connected UNet for Medical Image Segmentation," *ICASSP 2020 - 2020 IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process.*, vol. 2020-May, pp. 1055–1059, Apr. 2020, doi: 10.1109/ICASSP40776.2020.9053405.

[17] Z. Zhang, Q. Liu, and Y. Wang, "Road Extraction by Deep Residual U-Net," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 15, no. 5, pp. 749–753, 2018, doi: 10.1109/LGRS.2018.2802944.

[18] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Jun. 2016, pp. 770–778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.

[19] C. Clinton Atabansi et al., "ICT-Net: An Integrated Convolution and Transformer-Based Network for Complex Liver and Liver Tumor Region Segmentation," *IEEE J. Transl. Eng. Heal. Med.*, vol. 13, pp. 310–322, 2025, doi: 10.1109/JTEHM.2025.3586470.

[20] M. Fallahpoor et al., "Segmentation of liver and liver lesions using deep learning," *Phys. Eng. Sci. Med.*, vol. 47, no. 2, pp. 611–619, 2024, doi: 10.1007/s13246-024-01390-4.

[21] G. N. Yashaswini, R. V. Manjunath, B. Shubha, P. Prabha, N. Aishwarya, and H. M. Manu, "Deep learning technique for automatic liver and liver tumor segmentation in CT images," *J. Liver Transplant.*, vol. 17, p. 100251, 2025, doi: 10.1016/j.liver.2024.100251.

[22] P. K. Balasubramanian, W. C. Lai, G. H. Seng, K. C, and J. Selvaraj, "APESTNet with Mask R-CNN for Liver Tumor Segmentation and Classification," *Cancers (Basel).*, vol. 15, no. 2, p. 330, 2023, doi: 10.3390/cancers15020330.

[23] N. J. Wesdorp et al., "Deep learning models for automatic tumor segmentation and total tumor volume assessment in patients with colorectal liver metastases," *Eur. Radiol. Exp.*, vol. 7, p. 75, Dec. 2023, doi: 10.1186/s41747-023-00383-4.

[24] M. W. Sabir et al., "Segmentation of Liver Tumor in CT Scan Using ResU-Net," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 17, p. 8650, Aug. 2022, doi: 10.3390/app12178650.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[25] P. Bilic et al., "The Liver Tumor Segmentation Benchmark (LiTS)," *Med. Image Anal.*, vol. 84, p. 102680, 2023, doi: 10.1016/j.media.2022.102680.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

COMPARATIVE TRANSCRIPTOMIC ANALYSIS OF CARBOHYDRATE METABOLISM FOLLOWING *TOR1* DELETION AND RAPAMYCIN TREATMENT IN YEAST

HAZAL DENİZ YÜKSEL

Çanakkale Onsekiz Mart University, hazaldenizyuksel@gmail.com - 0009-0009-3109-3143

TÜLAY TURGUT GENÇ

Çanakkale Onsekiz Mart University, tturgutgenc@comu.edu.tr - 0000-0001-5074-3572

ABSTRACT

The target of rapamycin (TOR) pathway coordinates cell growth and metabolism in response to nutrient availability. Although *TOR1* deletion and rapamycin treatment both perturb TOR signaling, they do not necessarily affect the same genes or produce transcriptional changes in the same direction. In this study, publicly available RNA-sequencing datasets were compared to examine the transcriptional responses to these two perturbations in *Saccharomyces cerevisiae*, with particular emphasis on carbohydrate metabolism. Differential expression data from GSE280426 (*TOR1* deletion) and GSE141034 (rapamycin treatment) were analyzed using an adjusted *p*-value threshold of 0.05. At the transcriptome level, 2094 genes were significantly altered under both conditions. Among these, 921 were upregulated and 800 were downregulated in both datasets, whereas 373 showed opposite directional responses. Thus, 82.2% of the shared differentially expressed genes changed in the same direction, indicating substantial overlap but also clear differences between the two transcriptional responses. We next examined 46 genes assigned by SGD YeastPathways to eight pathways of carbohydrate metabolism. Of these, 29 were significantly affected by *TOR1* deletion and 33 by rapamycin treatment, with 20 shared between the two conditions. Eighteen of the 20 shared genes (90%) changed in the same direction. The most consistent common response was observed in glycogen metabolism. Four genes involved in glycogen biosynthesis (GLC3, UGP1, GLG1, GSY2) and three involved in glycogen catabolism (SGA1, GPH1, GDB1) were significantly upregulated under both conditions. Fold-change responses across the 12 glycogen-associated genes were positively correlated between *TOR1* deletion and rapamycin treatment (Pearson's $r = 0.609$, $p = 0.0357$). Trehalose degradation also showed concordant upregulation, whereas the non-oxidative

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

pentose phosphate pathway showed concordant downregulation. In contrast, glycolysis and gluconeogenesis displayed more heterogeneous responses. Overall, *TOR1* deletion and rapamycin treatment did not produce identical transcriptional responses despite substantial overlap between them. Their effects on carbohydrate metabolism were strongly pathway dependent, with glycogen metabolism showing particularly consistent regulation.

Key Words : *Saccharomyces cerevisiae*; *TOR1*; rapamycin; transcriptome; carbohydrate metabolism; glycogen metabolism.

Acknowledgments: This work was supported by Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, the Scientific Research Coordination Unit, Project number: FYL-2026-5545.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TOR1 DELESYONU VE RAPAMİSİN UYGULAMASI SONRASI MAYADA KARBONHİDRAT METABOLİZMASININ KARŞILAŞTIRMALI TRANSKRİPTOMİK ANALİZİ

HAZAL DENİZ YÜKSEL

Çanakkale Onsekiz Mart University, hazaldenizyuksel@gmail.com - 0009-0009-3109-3143

TÜLAY TURGUT GENÇ

Çanakkale Onsekiz Mart University, tturgutgenc@comu.edu.tr - 0000-0001-5074-3572

ÖZET

Rapamisinin hedefi (TOR) sinyal yolağı, besin mevcudiyetine yanıt olarak hücre büyümesi ve metabolizmasının düzenlenmesinde merkezi bir rol oynar. TOR1 delesyonu ve rapamisin uygulaması TOR sinyalini etkilemekle birlikte, bu iki müdahale her zaman aynı genleri etkilemez veya aynı yönde transkripsiyonel değişikliklere yol açmaz. Bu çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* maya hücrelerinde bu iki müdahaleye karşı oluşan transkripsiyonel yanıtları karşılaştırmak amacıyla, özellikle karbonhidrat metabolizmasına odaklanılarak, halka açık RNA dizileme (RNA-seq) veri setleri analiz edilmiştir. GSE280426 (*TOR1* delesyonu) ve GSE141034 (rapamisin uygulaması) veri setlerinden elde edilen diferansiyel gen ekspresyonu verileri, düzeltilmiş *p* değeri < 0,05 anlamlılık eşiği kullanılarak değerlendirilmiştir. Transkriptom genelinde, her iki koşulda da anlamlı düzeyde değişen 2094 gen belirlenmiştir. Bu genlerin 921'i her iki veri setinde de yukarı yönlü, 800'ü ise aşağı yönlü düzenlenirken, 373 gen iki koşulda zıt yönlü değişim göstermiştir. Böylece ortak diferansiyel eksprese edilen genlerin %82,2'sinin aynı yönde değiştiği belirlenmiş; bu sonuç iki transkripsiyonel yanıt arasında önemli bir örtüşmenin yanı sıra belirgin farklılıkların da bulunduğunu göstermiştir. Daha sonra SGD YeastPathways tarafından karbonhidrat metabolizmasının sekiz farklı yolağıyla ilişkilendirilen 46 gen incelenmiştir. Bu genlerin 29'u *TOR1* delesyonunda, 33'ü rapamisin uygulamasında anlamlı düzeyde değişirken, 20 gen her iki koşulda da ortak olarak anlamlı bulunmuştur. Bu 20 genin 18'i (%90) aynı yönde değişim göstermiştir. En belirgin ortak yanıt glikojen metabolizmasında gözlenmiştir. Glikojen biyosentezinde görev alan dört gen (*GLC3*, *UGP1*, *GLG1* ve *GSY2*) ile glikojen katabolizmasında görev alan üç gen (*SGA1*, *GPH1* ve *GDB1*) her iki koşulda da anlamlı düzeyde yukarı yönlü düzenlenmiştir. Glikojen metabolizmasıyla ilişkili 12 genin kat değişim değerleri, *TOR1* delesyonu ve rapamisin

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uygulaması arasında pozitif korelasyon göstermiştir (Pearson r = 0,609, p = 0,0357). Trehaloz yıkımında da uyumlu bir yukarı yönlü düzenlenme görülürken, pentoz fosfat yolağının oksidatif olmayan kolunda uyumlu bir aşağı yönlü düzenlenme belirlenmiştir. Buna karşılık, glikoliz ve glukoneogenez daha heterojen yanıtlar göstermiştir. Sonuç olarak, *TOR1* delesyonu ve rapamisin uygulaması önemli ölçüde örtüşen transkripsiyonel değişikliklere yol açmakla birlikte, aynı transkripsiyonel yanıtı oluşturmamıştır. Karbonhidrat metabolizması üzerindeki etkilerin yolağa bağlı olarak değiştiği ve özellikle glikojen metabolizmasının iki koşulda da oldukça tutarlı bir düzenlenme gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : *Saccharomyces cerevisiae*; *TOR1*; rapamisin; transkriptom; karbonhidrat metabolizması; glikojen metabolizması.

Teşekkür: Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2026-5545 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SUSTAINABLE TOXIC MALACHITE GREEN DYE REMOVAL VIA METAL OXIDE SUPPORTED BIOWASTES

Batuhan YARDIMCI [1], Nergiz KANMAZ [2]

[1] Zonguldak Bülent Ecevit University, Science and Technology Application and Research Center (ARTMER), ORCID ID: 0000-0002-4041-8183

[2] Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, ORCID ID: 0000-0002-5598-4911

ABSTRACT

As part of this study, the potential of the MnO_2@CNM composite, prepared by supporting manganese oxide onto cinnamon bark, as an adsorbent for the removal of Malachite Green (MG), a toxic cationic dye, from aqueous solutions was investigated. The surface properties of the composite were characterised using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). In the kinetic experiments, the adsorption capacity initially increased rapidly and showed a tendency to reach equilibrium after approximately 180 min. In the isotherm studies, it was found that the adsorption capacity increased with rising MG concentration and exhibited a plateau at approximately 45 mg/g at high concentrations. Thermodynamic analyses showed that the adsorption process is endothermic ($\Delta H° = 15.663$ kJ/mol) and that it becomes thermodynamically more favourable with increasing temperature. The results obtained indicate that the MnO_2@CNM composite can be used as an effective and sustainable adsorbent for the treatment of MG-containing wastewaters, based on the utilisation of biomass waste.

Keywords: Adsorption, Malachite Green, Biomass Adsorbent.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. INTRODUCTION

The contamination of water resources with synthetic dyes has become a serious environmental problem caused by numerous sectors, particularly the textile, paper, leather and cosmetics industries. Malachite Green (MG), one of these dyes, is a cationic triarilmethane dye and is widely used in the aquaculture sector to combat parasitic, fungal and bacterial infections in fish and fish eggs. However, it is known that MG possesses carcinogenic, mutagenic and teratogenic properties, as well as toxic effects on the respiratory system, and that it leads to bioaccumulation in aquatic organisms [1]. For this reason, the effective removal of MG from wastewater is of great importance from both an environmental and public health perspective.

Traditional treatment methods such as coagulation-flocculation, membrane filtration and advanced oxidation have limited applicability due to disadvantages such as high operating costs, the formation of secondary pollutants and low efficiency. In contrast, the adsorption method has become one of the most preferred methods for the removal of dyes such as MG from aqueous media, owing to its ease of application, low cost and high removal efficiency [2]. In this context, numerous studies have demonstrated that low-cost biomass-derived adsorbents obtained from agricultural and biological waste exhibit high adsorption capacity for MG removal [3].

In recent years, there has been growing interest in modifying biomass-based materials with metal oxides to produce composite adsorbents, with the aim of enhancing adsorption performance. Manganese oxide (MnO_2) stands out as an effective support material due to its high surface area, abundance of surface functional groups and strong capacity for electrostatic interaction with cationic dyes. It has been reported that biomass-MnO_2 composites provide a significantly higher adsorption capacity for the removal of both cationic and anionic dyes compared to pure biomass [4]. Similarly, it has been demonstrated that MnO_2-modified biosorbents exhibit a spontaneous and endothermic adsorption mechanism in the removal of MG, achieving significantly increased adsorption capacities [5].

In this study, the suitability of the MnO_2@CNM composite, obtained by modifying an agricultural waste biomass such as cinnamon bark (CNM) with manganese oxide, as an adsorbent for the removal of MG from aqueous solutions was investigated. The surface properties of the composite were characterized by FTIR analysis; its adsorption behaviour was examined from kinetic, isothermal and thermodynamic perspectives, demonstrating the potential of converting biomass waste into metal oxide-supported functional adsorbents as a sustainable wastewater treatment strategy.

2. METHODS

2.1. Adsorbent synthesis and FTIR analysis

1.2 g of CNM was mixed with 10 mL of 10 mM $MnCl_2.4H_2O$ solution. Then, 0.64 g of $KMnO_4$ was added to the suspension and mixed vigorously. At the end of the time, the resulting solid was filtered and washed until the underlying liquid became colorless. MnO_2 @CNM was dried at 50°C for 24 hours. The surface functional groups and bindings of MnO_2@CNM was identified via FT-IR analysis (Perkin Elmer).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

2.2. MG adsorption processes

In the isotherm experiments, 10 mg of adsorbent was weighed into Falcon tubes containing 15 mL of solution. MG solutions with concentrations ranging from 10 to 300 mg/L were added to the adsorbents in 10 mL volumes and shaken for 24 hours. In the kinetic experiments, 10 mL of a 50 mg/L MG solution was shaken with 10 mg of adsorbent for periods ranging from 5 to 240 minutes. For thermodynamic studies, 10 mL of a 50 mg/L MG solution was again shaken with 10 mg of adsorbent at temperatures ranging from 25 to 45 °C. At the end of the incubation period, the samples were filtered through 0.45-micron filters to separate them from the solids, and their absorbances were measured at 615 nm using a UV-Vis spectrophotometer.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The FTIR spectrum of MnO_2@CNM is presented in Figure 1. The peaks at approximately 3310 cm^{-1} correspond to the stretching vibration of the phenolic or carboxylic hydroxyl group or the excitation of the NH bands. The bands at 2927 and 2846 cm^{-1} correspond to C-H stretching vibrations in the molecules. The band at 1732 cm^{-1} could be the carbonyl peak of an aldehyde or ketone. The bands at 1008 and 1602 cm^{-1} correspond to functional groups such as C-H bending, N-H, and/or the stretching vibration bond of C=C [6].

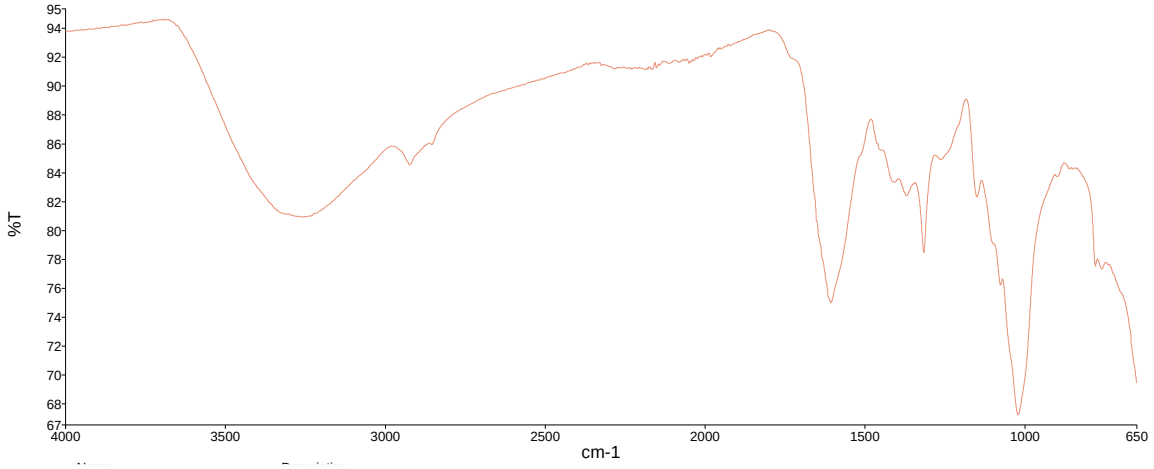


Figure 1. FTIR spectrum of MnO_2@CNM sorbent.

The isotherm graph for MG adsorption is shown in Figure 2. As the initial MG concentration (C_0) increases, the adsorption capacity (q_e) rises rapidly at low concentrations, whilst this increase gradually diminishes at high concentrations. The q_e value rose from approximately 17 mg/g to 45 mg/g as the initial concentration increased and showed a tendency to plateau at around 44-45 mg/g at high concentrations. This behaviour indicates that, at low concentrations, the accessible active sites on the adsorbent surface are rapidly occupied by MG molecules; as the concentration increases, the active sites become progressively filled, leading to a limited increase in adsorption capacity. Consequently, at high MG concentrations, the adsorbent surface approaches saturation.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

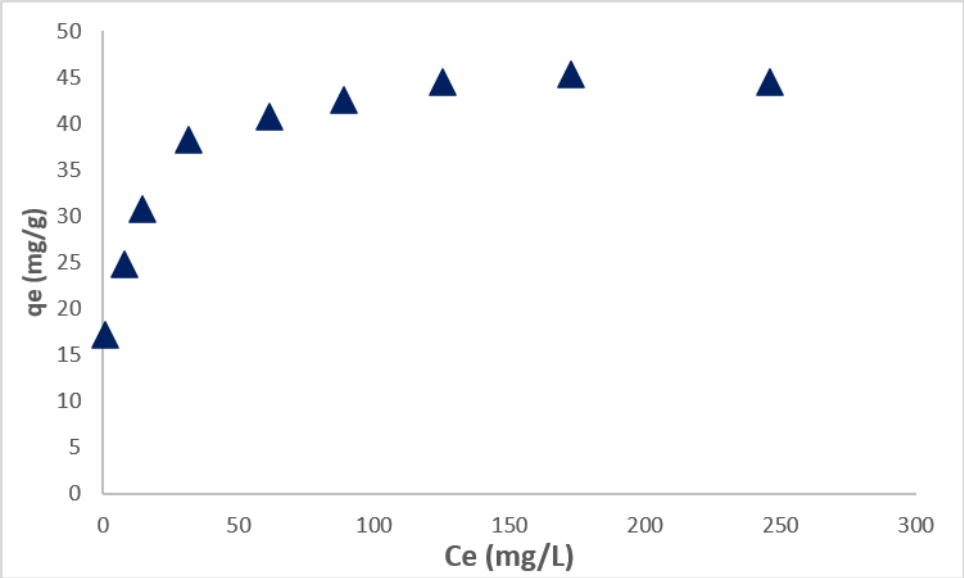


Figure 2. Isotherm graph of MG adsorption.

The results of the kinetic experiments on MG adsorption are shown in Figure 3. As can be seen from the figure, the adsorption capacity (q_t) initially increased rapidly with increasing contact time, and significant adsorption took place within the first 60-120 min. During this time interval, the q_t value rose from approximately 4 mg/g to 22 mg/g. After 120 min, the increase in adsorption capacity slowed markedly and showed a tendency to reach equilibrium at a level of approximately 22-23 mg/g between 180 and 240 min. Whilst the initial rapid adsorption can be attributed to the presence of many accessible active sites on the adsorbent surface where MG molecules could bind, the gradual filling of these sites as the contact time progressed led to a decrease in the adsorption rate. Therefore, it appears that the system reaches adsorption equilibrium within approximately 180 min, and that longer contact times do not result in any significant change in adsorption capacity.

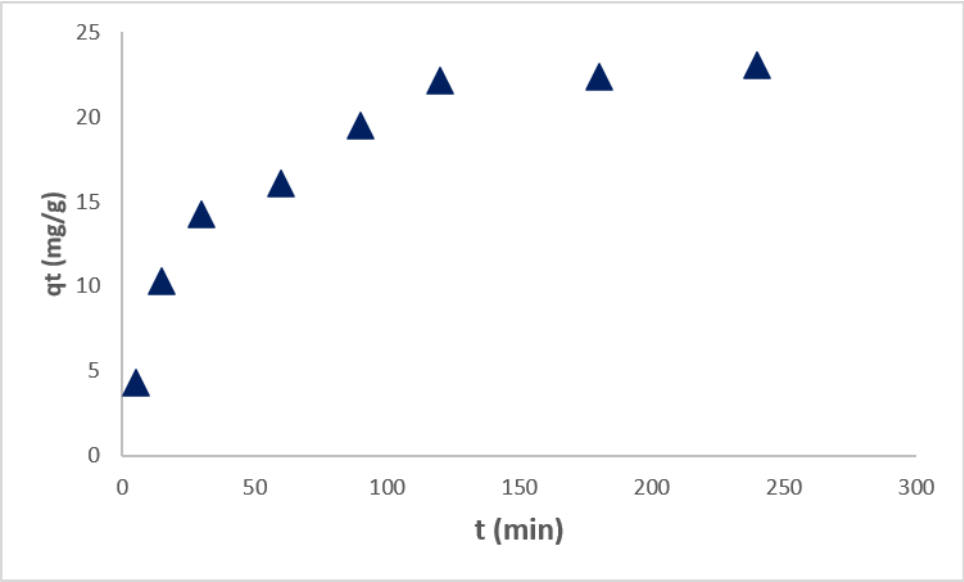


Figure 3. Time-dependent MG adsorption kinetic curve.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

The thermodynamic parameters relating to MG adsorption are given in Table 1. The increase in the distribution coefficient (K_d) from 0.647 to 1.940 as the temperature was raised from 298 K to 318 K indicates that the rise in temperature has a positive effect on MG adsorption. The fact that the enthalpy change (ΔH°) associated with the adsorption process is positive at 15.663 kJ/mol indicates that MG adsorption is endothermic in nature. The Gibbs free energy change (ΔG°) was determined to be 1.077 kJ/mol at 298 K, whilst at 308 and 318 K it was found to be −0.237 and −1.752 kJ/mol respectively. Accordingly, whilst adsorption is thermodynamically unfavourable at 298 K, it becomes a spontaneous process as the temperature is raised to 308 K and above. Furthermore, the entropy change (ΔS°) values, which are positive at all temperatures (49.782–55.640 J/mol K), indicate that disorder at the solid–liquid interface increases during adsorption and that the system becomes entropically favourable as the MG molecules bind to the adsorbent surface.

Table 1 Thermodynamic coefficients of MG adsorption on MnO_2@CNM.

T (K)	**K_d**	**ΔH° (kJ/mol)**	**ΔG° (kJ/mol)**	**ΔS° (J/mol K)**
298	0.647		1.077	49.782
308	1.096	15.663	-0.237	52.475
318	1.940		-1.752	55.640

4. CONCLUSION

This study investigated the potential of biomass waste-based MnO_2@CNM composite as an adsorbent for the removal of toxic Malachite Green dye from aqueous media. FTIR analysis revealed the presence of various functional groups in the composite structure, including hydroxyl/NH, C–H, carbonyl, and C=C. These functional groups are thought to play a role in the interactions between the adsorbent surface and MG molecules. Adsorption isotherm results showed that the adsorption capacity increased with increasing initial MG concentration and reached saturation at approximately 45 mg/g at high concentrations. Kinetic experiments determined that adsorption was rapid in the initial stage, decreased with increasing contact time, and reached equilibrium after approximately 180 minutes. Thermodynamic evaluations revealed that MG adsorption was endothermic and became thermodynamically more favorable with increasing temperature. The negative ΔG° values at 308 and 318 K indicate that the adsorption process occurs spontaneously at these temperatures; positive ΔS° values, on the other hand, indicate increased disorder in the system during adsorption. The results show that the MnO_2@CNM composite is an effective adsorbent for MG removal and that biological wastes can be converted into functional adsorbents with metal oxides and utilized in wastewater treatment.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REFERENCES

[1] Srivastava, S., Sinha, R., Roy, D. (2004). Toxicological effects of malachite green. *Aquatic Toxicology*, 66(3), 319-329.

[2] Tewari, K., Singhal, G., Arya, R.K. (2018). Adsorption removal of malachite green dye from aqueous solution. *Reviews in Chemical Engineering*, 34(3), 427-453.

[3] Ren, H., Zhang, R., Wang, Q., Pan, H., Wang, Y. (2016). Garlic root biomass as novel biosorbents for malachite green removal: Parameter optimization, process kinetics and toxicity test. *Chemical Research in Chinese Universities*, 32(4), 647-654.

[4] dos Santos, B.A.P., Cossolin, A.S., Reis, H.C.O., de Castro, K.C., da Silva, E.R., Pereira, G.M., de Sousa Junior, P.T., Dall'Oglio, E.L., de Vasconcelos, L.G., de Morais, E.B. (2019). Baker's yeast-MnO_2 composites as biosorbent for Malachite green: An ecofriendly approach for dye removal from aqueous solution. *Revista Ambiente & Água*, 14(1), 1-15.

[5] Omorogie, M.O., Agbadaola, M.T., Olatunde, A.M., Helmreich, B., Babalola, J.O. (2022). Surface equilibrium and dynamics for the adsorption of anionic dyes onto MnO2/biomass micro-composite. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 15(1), 49-58.

[6] Yardımcı, B. and Kanmaz, N. (2023) rivastava, S., Sinha, R., Roy, D. (2004). An effective-green strategy of methylene blue adsorption: Sustainable and low-cost waste cinnamon bark biomass enhanced via MnO2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 110254.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FROM WASTE TO VALUE-ADDED BIO-ADSORBENT: SUSTAINABLE REMOVAL OF ORANGE II USING CHITOSAN-MODIFIED TOMATO STEM

Elif Beyza KARAKAŞ [1], Batuhan YARDIMCI [2], Nergiz KANMAZ [3]

[1] Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemistry, ORCID ID:0009-0001-0416-3582
[2] Zonguldak Bülent Ecevit University, Science and Technology Application and Research Center (ARTMER), ORCID ID: 0000-0002-4041-8183
[3] Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, ORCID ID: 0000-0002-5598-4911

ABSTRACT

The release of dye effluents into the environment, particularly into water systems, is becoming a significant concern because of their toxicity. Orange II (OII) is an intensely colored organic azo dye that is water-soluble and poisonous. Azo dyes must therefore be eliminated from wastewater before it is released into the environment using efficient methods. In this study, tomato stems were modified with chitosan as the adsorbent for OII. The chitosan-modified tomato stems (Chitosan/TS) were characterized by SEM. In adsorption dosage experiments, the optimal adsorbent dosage was chosen as 1g /L, as higher dosages do not offer an advantage in adsorption efficiency. In isotherm experiments, the maximum adsorption capacity is reached at around 201 mg/g (Ce = 54 mg/L). In kinetic experiments, each tube was shaken for varying durations between 30 and 300 min, and the optimal contact time was selected as 240 min.

Keywords: Orange-II, Chitosan, Waste biomass, Adsorption.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

1. INTRODUCTION

The concerns about environmental protection have been triggered by the enourmous scale of dye manufacturing and its widespread use worldwide, which produces colored wastewater [1,2]. Over 10,000 tons of dyes are consumed annually by textile companies worldwide[3,4]. The ecological stability of the surrounding ecosystems is altered by the pollutants from the industrial and textile sectors that are dumped into rivers and lakes [1,2]. Additionally, it is estimated that every year, textile companies worldwide release about 3,600 tonnes of waste with high dye concentrations into streams [3,4]. As a result, the removal of dyestuffs from wastewater has garnered considerable interest in recent years.

The azo dye acid Orange-II (OII), also known as AO7[5], is one of the acidic azo dyes that are harmful to the skin and eyes, chronically toxic, and carcinogenic[6]. It is used extensively in many different sectors, including paper and textiles. It is also used in the production of laundry, washing chemicals, and personal care products [7,8]. The public and convention regulations are now putting tremendous pressure on industries to properly treat their wastewater before releasing it into the environment [9,10]. Finding effective treatment alternatives is therefore crucial and inevitable. Dyes can be eliminated from industrial effluents using a variety of techniques. The most popular ones are chemical oxidation [11], flocculation–coagulation[12], biodegradation[13], and adsorption [14]. Adsorption is one of these approaches that has been shown to be both appealing and successful for treating wastewater that contains dyes and Adsorption is an inexpensive and efficient way to remove MB dyes [15,16]. Many studies have been conducted on the adsorption properties of Orange II dyes on a variety of adsorbents, including activated carbon (AC)[17], silica [18], MOFs[19], clay[20], etc. AC may be the most popular adsorbent due to its high adsorption capacity, but the cost of AC is unaffordable [21]. Because of their abundance in nature and surface functional groups, agricultural waste and byproducts are thought to be inexpensive adsorbents [1].

According to FAO, approximately 185 million tons of tomatoes were produced worldwide [22,23]. Therefore, high amounts of tomato production result in significant amounts of lignocellulosic biomass waste after harvesting. Due to the presence of cellulosic substances in the structure of tomato stalks and the rich hydroxyl and carboxyl functional groups in these structures[24], agricultural waste tomato stalks offer suitable binding sites for removing pollutants from aqueous solutions. Carboxyl, carbonyl, sulphonate, sulphhydryl, phosphonate, and hydroxyl groups may contribute to pollutant removal for some biosorbents [1,25]. Although agricultural wastes are used as adsorbents, they have limited pollutant removal capabilities. Their adsorption capacity can be increased by modifying these wastes in various ways, enriching their surface with functional groups[26]. In addition to its wide source and degradability, chitosan (CS) has an additional benefit over other biopolymers in that it can produce cations in acidic media, which significantly increases its affinity for some anionic dyes[27]. This is because CS contains a significant amount of $–NH_2$ and –OH in its main chain, which can interact with dyes in wastewater to form stable chelates and hydrogen bonds [28]. Therefore, chitosan is considered a highly promising material with rich functional groups for modifying the tomato stalk to enrich the surface functional groups of the adsorbent for the

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

removal of the OII dye. In this respect, the findings present a viable approach for sustainable water treatment applications.

2. METHODS

2.1. Adsorbent Synthesis and SEM analysis

2 g of chitosan was mixed in 100 mL of a 2% acetic acid solution until completely dissolved. Then, 2 grams of tomato stems were added to this solution and stirred at room temperature (RT) for 2 hours. Afterwards, the mixture was added to a Petri dish, 5 mL of a 5% glutaraldehyde solution was added as a crosslinking agent, and the resulting sorbent was ground after drying at RT. In this study, a scanning electron microscope (ZEISS SUPRA 55, FE-SEM) was used to evaluate the surface morphology of the sorbent.

2.2. Batch Studies

To determine the optimum adsorbent dosage, Chitosan/TS adsorbent in the range of 5-20 mg and 10 mL of 75 mg/L OII solution were added to falcon tubes (15 mL volume) and shaken for 24 hours.

In isotherm experiments, after adding 10 mg of Chitosan/TS adsorbent to falcon tubes, OII solutions in the concentration range of 25 to 250 mg/L (in 10 mL volumes) were added to the tubes and shaken for 24 hours.

In kinetic experiments, after adding 10 mL of 100 mg/L OII solution to 10 mg of Chitosan/TS adsorbent weighed into falcon tubes, each tube was shaken for varying durations between 30 and 300 min.

For all experiments, the samples were filtered through 0.45-micron filters, and the absorbances of the solutions were read using a UV-vis spectrophotometer at a wavelength of 486 nm.

2. RESULTS AND DISCUSSION

An examination of the SEM images of raw chitosan and the chitosan-modified tomato stem in Figure 1 reveals that pure chitosan forms a compact and smooth film layer when dried alone (Figure 1a). In contrast, distinct changes were observed in the surface morphology of the chitosan-modified tomato stem adsorbent (Figure 1b). Acting as a support matrix, the chitosan spreads as a thin layer over the tomato stem fibers, creating a microstructure characterized by deep cavities, fissures, and irregular layers; this facilitates the mass transfer of adsorbate molecules and significantly increases the active contact area.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

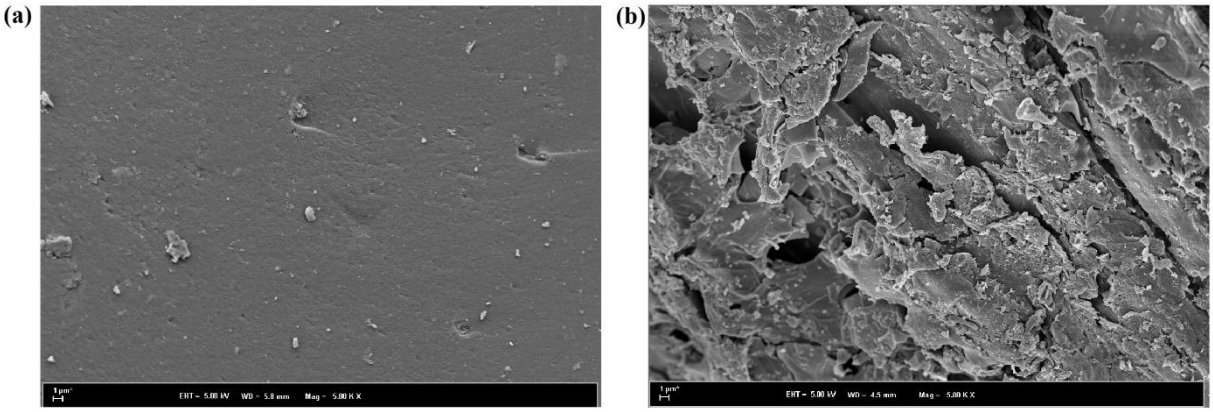


Figure 1. Sem images of (a) chitosan and (b) Chitosan/TS.

According to Figure 2, adsorption efficiency increases sharply between 0.5 g/L and 1 g/L of adsorbent dosage. At adsorbent dosage of 1 g/L and above, the OII removal efficiency approximately stabilizes, indicating that the system has reached equilibrium. Therefore, the optimal adsorbent dosage was chosen as 1g /L, as higher dosages do not offer an advantage in adsorption efficiency.

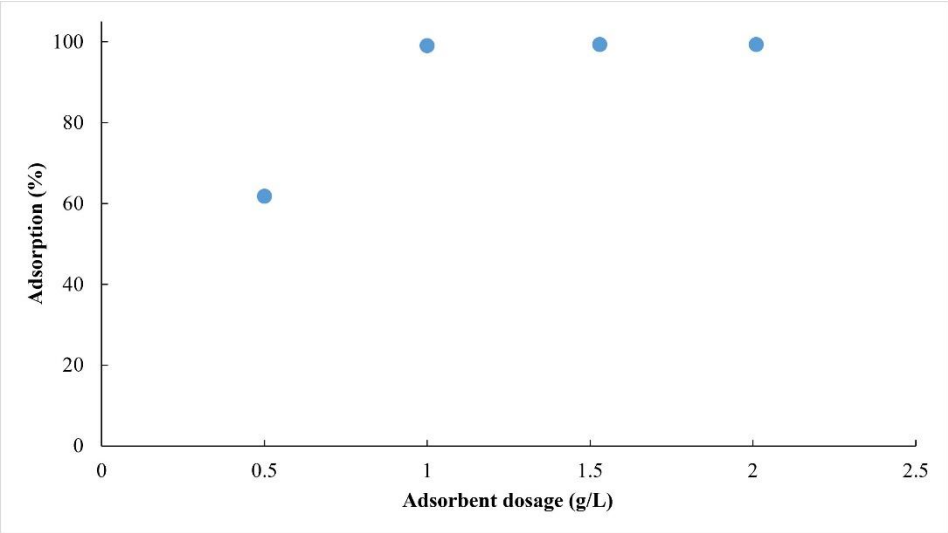


Figure 2. Optimal adsorbent dosage for OII adsorption.

The representation of fluctuation in OII dye concentration adsorbed on Chitosan/TS adsorbent as per equilibrium concentration can be seen in Figure 3. Adsorption increases rapidly (145 mg/g) at lower equilibrium concentrations (Ce < 2 mg/L). This happens because there are plenty of active binding sites in the adsorbent and hence the affinity toward the OII dye is high.
With the increase in equilibrium concentration (Ce), the shape of the curve becomes flat. The maximum adsorption capacity (q_e, mg/g) is reached at around 201 mg/g (Ce = 54 mg/L).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

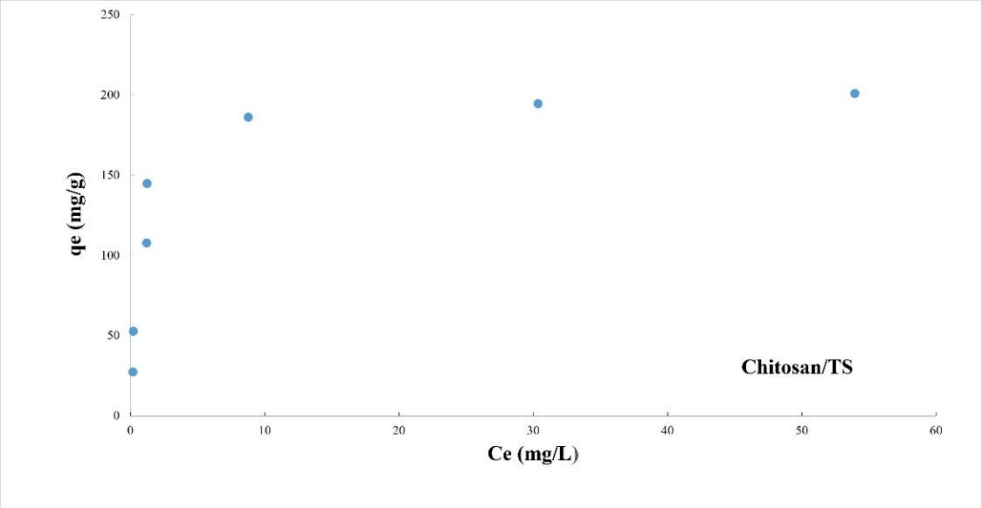


Figure 3. Isotherm graph of OII adsorption.

In Figure 4, the contact time versus adsorption capacity (q_t, mg/g) is depicted. The adsorption process indicated a very high rate up to the first 120 min, where the q_t value shifted from 35 mg/g at 30 min to around 62 mg/g at 120 min. The aforementioned rapid process in the beginning can be explained by the presence of plenty of vacant active sites on the adsorbent surface and the significant concentration gradient between the solution and the surface of the adsorbent. After 120 min of the process, adsorption goes on and bringing q_t up to about 86 mg/g, and then the curve reaches a plateau. The further decrease in the uptake rate is caused by the saturation of the active sites of the surface and electrostatic repulsion of the adsorbed molecules. The equilibrium phase occurs between 240 and 300 min of the process, where the final capacity reaches 92 mg/g. In this regard, it is necessary to conclude that the contact time of 240 min should be used in further equilibrium experiments.

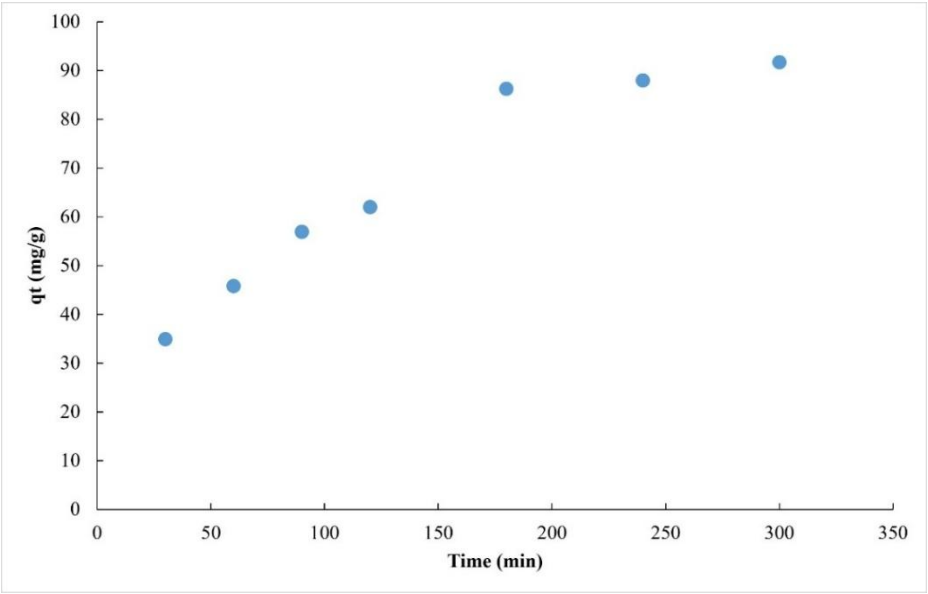


Figure 4. Time-dependent OII adsorption kinetic curve.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

4. CONCLUSION

In the present research, agricultural waste of tomato stem (TS) was modified using chitosan and studied as an eco-friendly and inexpensive bio-adsorbent for the removal of toxic OII azo dye from aqueous solutions. The SEM analysis confirmed that the surface of the biomass was effectively modified using the chitosan. In batch adsorption studies, it was found that Chitosan/TS is an effective candidate for the remediation of dye. An optimal dosage of 1.0 g/L was found where the dye uptake becomes highly efficient without wasting the adsorbent material. The composite adsorbent was found to possess an extremely high maximum adsorption capacity of approximately 201 mg/g (Ce = 54 mg/L). The highly rapid dye removal during the initial adsorption (145 mg/g, Ce < 2 mg/L) indicates the highly dense number of available active binding sites created due to the chitosan surface coating which causes very high interfacial affinity towards OII azo dye. The adsorption was observed to be highly rapid during the initial 120 min due to the high concentration gradient and availability of the surface sites (q_t increases from 35 mg/g to 62 mg/g). With saturation of surface sites and increased electrostatic repulsion, the process entered the equilibrium stage in the range of 240 to 300 minutes (q_t approx. 92mg/g). It was concluded that 240 min represented the optimum equilibrium contact time. Consequently, recycling the agricultural tomato stalk wastes into eco-friendly biopolymeric absorbents represents a sustainable approach to treating toxic azo dyes from industry wastewater based on the principles of the circular economy.

REFERENCES

[1] H. Deng, J. Lu, G. Li, G. Zhang, X. Wang, Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk, Chemical Engineering Journal 172 (2011) 326–334. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.013.

[2] J. Sheng, Y. Xie, Y. Zhou, Adsorption of methylene blue from aqueous solution on pyrophyllite, Appl. Clay Sci. 46 (2009) 422–424. https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.10.006.

[3] A.A. Renita, K.H. Vardhan, P.S. Kumar, P.T. Ngueagni, A. Abilarasu, S. Nath, P. Kumari, R. Saravanan, Effective removal of malachite green dye from aqueous solution in hybrid system utilizing agricultural waste as particle electrodes, Chemosphere 273 (2021) 129634. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129634.

[4] A. Bopda, C.G. Fotsop, G.T. Kenda, D.R.T. Tchuifon, F.F. Mache, K.L.T. Nguena, G. Doungmo, N.G. Ndifor-Angwafor, K.S. Ghosh, A. Hosseini-Bandegharaei, Investigating the uptake of brilliant blue FCF and orange II dyes from aqueous solution onto a porous Al-based MOF sorbent (CAU-10-H), Inorg. Chem. Commun. 178 (2025) 114560. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114560.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[5] J.H. Yan, Y.N. Liu, Zh. Bo, X.D. Li, K.F. Cen, Degradation of gas–liquid gliding arc discharge on Acid Orange II, J. Hazard. Mater. 157 (2008) 441–447. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.007.

[6] B. Naraghi, F. Zabihi, M.R. Narooie, M. Saeidi, H. Biglari, Removal of Acid Orange 7 dye from aqueous solutions by adsorption onto Kenya tea pulps; granulated shape, Electron. Physician 9 (2017) 4312–4321. https://doi.org/10.19082/4312.

[7] R. Ennouri, M. Panizza, T. Mhiri, S.C. Elaoud, Electrochemical Behavior of Acid Orange 7 by Cyclic Voltammetry in Different Solvents, Portugaliae Electrochimica Acta 35 (2017) 269–277. https://doi.org/10.4152/pea.201705269.

[8] A. Eleryan, M.A. Hassaan, U.O. Aigbe, K.E. Ukhurebor, R.B. Onyancha, M.A. El-Nemr, S. Ragab, I. Hossain, A. El Nemr, Kinetic and isotherm studies of Acid Orange 7 dye absorption using sulphonated mandarin biochar treated with TETA, Biomass Convers. Biorefin. 14 (2024) 10599–10610. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04089-w.

[9] M. Mirzabeygi, M. Naji, N. Yousefi, M. Shams, H. Biglari, A.H. Mahvi, Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in water distribution system: a case study of Torbat Heydariye, Iran, Desalination Water Treat. 57 (2016) 25918–25926. https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1162206.

[10] A. Eleryan, M.A. Hassaan, U.O. Aigbe, K.E. Ukhurebor, R.B. Onyancha, M.A. El-Nemr, S. Ragab, I. Hossain, A. El Nemr, Kinetic and isotherm studies of Acid Orange 7 dye absorption using sulphonated mandarin biochar treated with TETA, Biomass Convers. Biorefin. 14 (2024) 10599–10610. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04089-w.

[11] K. Dutta, S. Mukhopadhyay, S. Bhattacharjee, B. Chaudhuri, Chemical oxidation of methylene blue using a Fenton-like reaction, J. Hazard. Mater. 84 (2001) 57–71. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00202-3.

[12] S. Sadri Moghaddam, M.R. Alavi Moghaddam, M. Arami, Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology, J. Hazard. Mater. 175 (2010) 651–657. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.058.

[13] B. Senthil Rathi, P. Senthil Kumar, Sustainable approach on the biodegradation of azo dyes: A short review, Curr. Opin. Green Sustain. Chem. 33 (2022) 100578. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100578.

[14] M.T. Yagub, T.K. Sen, S. Afroze, H.M. Ang, Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review, Adv. Colloid Interface Sci. 209 (2014) 172–184. https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002.

[15] Y. Yao, F. Xu, M. Chen, Z. Xu, Z. Zhu, Adsorption behavior of methylene blue on carbon nanotubes, Bioresour. Technol. 101 (2010) 3040–3046. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.042.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

[16] H. Deng, J. Lu, G. Li, G. Zhang, X. Wang, Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk, Chemical Engineering Journal 172 (2011) 326–334. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.013.

[17] S. Bouzikri, N. Ouasfi, L. Khamliche, Bifurcaria bifurcata activated carbon for the adsorption enhancement of Acid Orange 7 and Basic Red 5 dyes: Kinetics, equilibrium and thermodynamics investigations, Energy Nexus 7 (2022) 100138. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100138.

[18] M. Sillanpää, A.H. Mahvi, D. Balarak, A.D. Khatibi, Adsorption of Acid orange 7 dyes from aqueous solution using Polypyrrole/nanosilica composite: Experimental and modelling, Int. J. Environ. Anal. Chem. 103 (2023) 212–229. https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1855338.

[19] S. Yoon, J.J. Calvo, M.C. So, Removal of Acid Orange 7 from Aqueous Solution by Metal-Organic Frameworks, Crystals (Basel). 9 (2018) 17. https://doi.org/10.3390/cryst9010017.

[20] S. Rawat, M.M. Ahammed, Clay-moringa seedcake composite for removal of cationic and anionic dyes, Chemosphere 350 (2024) 141083. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.141083.

[21] S.-J. Park, K.-D. Kim, Adsorption Behaviors of CO2and NH3on Chemically Surface-Treated Activated Carbons, J. Colloid Interface Sci. 212 (1999) 186–189. https://doi.org/10.1006/jcis.1998.6058.

[22] H. Liu, H. Zhao, S. Liu, Y. Tian, W. Li, B. Wang, X. Hu, D. Sun, T. Wang, S. Wu, F. Wang, N. Zhu, Y. Tao, X. Lei, When Tomatoes Hit the Winter: A Counterattack to Overwinter Production in Soft-Shell Solar Greenhouses in North China, Horticulturae 11 (2025) 436. https://doi.org/10.3390/horticulturae11040436.

[23] Agricultural production statistics FAOSTAT CROPS AND LIVESTOCK PRODUCTION INTRODUCTION, (2010). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

[24] B. Üner, K. Kömbeci, M. Akgül, The utilization of tomato stalk in fiber production: NaOH and CaO pulping process, Wood Research 61(2) (2016) 927–936.

[25] F. Liu, S. Teng, R. Song, S. Wang, Adsorption of methylene blue on anaerobic granular sludge: Effect of functional groups, Desalination 263 (2010) 11–17. https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.06.026.

[26] G. Liu, Z. Dai, X. Liu, R.A. Dahlgren, J. Xu, Modification of agricultural wastes to improve sorption capacities for pollutant removal from water – a review, Carbon Research 1 (2022) 24. https://doi.org/10.1007/s44246-022-00025-1.

[27] Y. Cheng, A. Li, W. Shi, L. Zhao, Magnetic chitosan-functionalized waste carton biochar composites for efficient adsorption of anionic and cationic dyes, Chemical Engineering Journal 481 (2024) 148535. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.148535.

[28] X. Zheng, H. Zheng, Z. Xiong, R. Zhao, Y. Liu, C. Zhao, C. Zheng, Novel anionic polyacrylamide-modify-chitosan magnetic composite nanoparticles with excellent adsorption

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

capacity for cationic dyes and pH-independent adsorption capability for metal ions, Chemical Engineering Journal 392 (2020) 123706. https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123706.

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DERİ ÜRETİMİNDE KİMYASAL MARUZİYET RİSKLERİ: PİKLAJ VE TABAKLAMA AŞAMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

Öğr. Gör. ERTAN EROL
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
eerol@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-2595-9387

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
her@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0003-2125-7406

ÖZET

Deri üretiminde piklaj ve tabaklama, kimyasal maddelerin hazırlanması, aktarılması ve kullanılması nedeniyle çalışanların maruziyet açısından değerlendirilmesi gereken aşamalardır. Piklajda kullanılan asitler cilt ve göz teması ile asit sisi oluşumu bakımından risk yaratabilir. Önceki işlemlerden kalan sülfürlerin asitle temas etmesi durumunda hidrojen sülfür oluşma olasılığı da ayrıca dikkate alınmalıdır. Kromla tabaklamada ise kullanılan krom(III) tuzlarının hazırlanması ve uygulanması sırasında sıçrama, dökülme ve temas olasılıkları bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, piklaj ve tabaklama aşamalarındaki başlıca kimyasal maruziyet kaynaklarını, maruziyet yollarını ve risklerin azaltılmasına yönelik uygulamaları literatür çerçevesinde incelemektir. Çalışmada kimyasal hazırlama, işlem dolabına yükleme, numune alma, boşaltma ve ekipman temizliği gibi işler ayrı ayrı ele alınmaktadır. Risk değerlendirmesinde kullanılan kimyasalın özelliklerinin yanı sıra işlem sırası, çalışma biçimi, havalandırma ve çalışanların kimyasallarla temas sıklığının da göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmaktadır. Krom(III) bileşikleri ile krom(VI) arasındaki farkın korunması, tabaklama risklerinin doğru aktarılması açısından önem taşımaktadır. İnceleme kapsamında kapalı veya kontrollü kimyasal aktarımı, uygun havalandırma, güvenli depolama, yazılı çalışma talimatları, eğitim ve kişisel koruyucu donanım gibi önlemler değerlendirilmektedir. Sonuç olarak bildiri, piklaj ve tabaklamada kimyasal maruziyetin yalnızca kullanılan maddelerin listelenmesiyle açıklanamayacağını; risklerin yapılan işe ve çalışma koşullarına göre değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımın, işletmelerde öncelikli kontrol noktalarının belirlenmesine ve çalışanların korunmasına yönelik uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deri üretimi, piklaj, tabaklama, kimyasal maruziyet, iş sağlığı ve güvenliği

CHEMICAL EXPOSURE RISKS IN LEATHER PRODUCTION: A REVIEW OF THE PICKLING AND TANNING STAGES

ABSTRACT

Pickling and tanning are stages of leather production that require careful assessment of occupational exposure because chemicals are prepared, transferred, and used during these processes. Acids used in pickling may present risks through skin and eye contact and the generation of acid mist. The possible formation of hydrogen sulfide must also be considered

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

when sulfides remaining from earlier processing stages come into contact with acid. In chrome tanning, the preparation and application of chromium(III) salts may involve splashing, spills, and direct contact. This paper aims to review the main sources and routes of chemical exposure in pickling and tanning, together with practices intended to reduce the associated risks. Drawing on the literature, it considers individual tasks such as chemical preparation, drum loading, sampling, unloading, and equipment cleaning. The review emphasizes that risk assessment should address the properties of the chemicals used as well as the sequence of operations, working methods, ventilation, and frequency of worker contact. Distinguishing between chromium(III) compounds and chromium(VI) is also necessary for an accurate discussion of risks related to tanning. The paper examines control measures including enclosed or controlled chemical transfer, appropriate ventilation, safe storage, written operating procedures, worker training, and suitable personal protective equipment. It concludes that chemical exposure during pickling and tanning cannot be adequately described by listing the substances used alone; risks need to be assessed in relation to specific tasks and working conditions. This approach may help tanneries identify priority control points and improve practices intended to protect workers.

Keywords: Leather production, pickling, tanning, chemical exposure, occupational health and safety

1. GİRİŞ

Deri üretimi, ham derinin bozulmaya karşı dayanıklı ve kullanılabilir bir malzemeye dönüştürülmesi amacıyla birbirini izleyen fiziksel ve kimyasal işlemlerden oluşmaktadır. Islatma, kireçlik, kireç giderme, sama, piklaj, tabaklama, nötralizasyon, boyama, yağlama ve finisaj gibi aşamalarda farklı özelliklere sahip çok sayıda kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu maddelerin hazırlanması, taşınması, kimyasalların işlem dolabına aktarılması, numune alınması ve ekipmanların temizlenmesi sırasında çalışanlar solunum, cilt ve göz yoluyla kimyasal etkenlere maruz kalabilmektedir. Tabakhanelerde kimyasal maddelerle temasın yanı sıra yetersiz havalandırma, uygun olmayan depolama, kişisel koruyucu donanım eksikliği ve güvenli çalışma talimatlarına uyulmaması maruziyet olasılığını artırabilmektedir (Febriana vd., 2012; Sivakumar, 2021). Nitekim farklı ülkelerde yürütülen araştırmalar, tabakhane çalışanlarında cilt, solunum sistemi ve diğer sağlık yakınmalarının görülebildiğini ortaya koymaktadır (Rastogi vd., 2008; Rabbani vd., 2021; Arhoune vd., 2025).

Piklaj, derinin tabaklamaya hazırlanması için pH değerinin düşürüldüğü ve genellikle tuz ile organik veya inorganik asitlerin kullanıldığı bir işlem aşamasıdır. Kimyasalların hazırlanması ve aktarılması; sıçrama, cilt ve göz teması ile proses koşullarına bağlı asit sisi veya aerosol oluşumu bakımından değerlendirilmelidir. Ayrıca önceki işlemlerden kalan sülfürlü kalıntıların asidik ortamla karşılaşması hidrojen sülfür oluşumuna yol açabileceğinden, bu tehlike piklaj asitlerinin tek başına özelliği olarak değil, süreçler arası etkileşim sonucu ortaya çıkan bir proses güvenliği riski olarak ele alınmalıdır (Uddin vd., 2023; Uez vd., 2023).

Tabaklama aşamasında krom tuzlarının hazırlanması, aktarılması ve işlem dolabına verilmesi kimyasal maruziyet bakımından önem taşımaktadır. Kromla tabaklamada esas olarak Cr(III) bileşikleri kullanılır; Cr(III) ile daha yüksek toksisite ve hareketliliğe sahip Cr(VI) aynı madde gibi değerlendirilmemelidir. Bununla birlikte Cr(III) maruziyeti de çalışma koşulları ve temas

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

düzeyi dikkate alınmadan risksiz kabul edilemez (Guertin, 2004; Genchi vd., 2021; Dubey vd., 2022).

Bu çalışmanın amacı, deri üretiminin piklaj ve tabaklama aşamalarında ortaya çıkabilecek başlıca kimyasal maruziyet risklerini literatüre dayalı olarak incelemek; maruziyet yollarını, riskli çalışma faaliyetlerini ve uygulanabilecek kontrol önlemlerini değerlendirmektir. Çalışma, piklajda kullanılan asitler, sülfür kalıntılarına bağlı hidrojen sülfür oluşumu ve kromla tabaklamadaki kimyasal temas olasılıklarıyla sınırlandırılmıştır. Kireçlik, boyama, yağlama ve finisaj aşamalarındaki riskler ise yalnızca piklaj ve tabaklama süreçleriyle doğrudan bağlantılı oldukları ölçüde ele alınmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, deri üretiminin piklaj ve tabaklama aşamalarında ortaya çıkabilecek kimyasal maruziyet risklerini belirlemek amacıyla hazırlanmış literatüre dayalı bir incelemedir. Kaynak taramasında Google Scholar üzerinden erişilebilen ulusal ve uluslararası makaleler, kitap ve kitap bölümleri, lisansüstü tezler, konferans bildirileri ve uluslararası kuruluşlar tarafından yayımlanan teknik raporlar değerlendirilmiştir. Taramalarda "deri üretiminde kimyasal maruziyet", "tabakhane çalışanlarında mesleki riskler", "piklajda kimyasal riskler", "tannery chemical exposure", "occupational health risks in tanneries", "hydrogen sulfide in tanneries", "pickling safety", "chrome tanning occupational exposure" ve "chromium exposure in tannery workers" gibi Türkçe ve İngilizce anahtar kelimelerden yararlanılmıştır.

Kaynakların seçiminde öncelikle piklaj ve kromla tabaklama işlemlerinde kullanılan kimyasalları, çalışanların maruziyet yollarını, hidrojen sülfür oluşumunu, krom türlerinin sağlık etkilerini ve risk kontrol önlemlerini doğrudan ele alan araştırmalara öncelik verilmiştir. Deri üretim proseslerini, tabakhane atık sularını ve daha temiz üretim seçeneklerini inceleyen çalışmalar ise kimyasal kullanımını ve proses koşullarını açıklamak amacıyla destekleyici kaynak olarak değerlendirilmiştir. Deri üretimiyle doğrudan bağlantısı bulunmayan krom kaplama, madencilik, içme suyu arıtımı ve benzeri sektörlere ilişkin çalışmalar kapsam dışında bırakılmıştır.

İnceleme sırasında tehlikelerin değerlendirilmesinde kimyasalın türü, kullanıldığı işlem, maruziyet yolu, riskli çalışma faaliyeti ve uygulanabilecek kontrol önlemleri esas alınmıştır. Piklajda hidrojen sülfür riski, önceki işlemlerden kalan sülfürlerin asidik ortamla teması koşuluyla değerlendirilmiş; tabaklama bölümünde ise Cr(III) ve Cr(VI) bileşiklerinin kimyasal ve toksikolojik farklılıkları gözetilmiştir. Elde edilen bilgiler tematik olarak sınıflandırılarak piklaj, tabaklama, maruziyet yolları ve risk azaltma önlemleri başlıkları altında karşılaştırmalı biçimde incelenmiştir. Çalışma sistematik derleme veya meta-analiz niteliğinde olmayıp mevcut literatürün anlatısal ve teknik bir değerlendirmesidir.

3. PİKLAJ AŞAMASINDA KİMYASAL MARUZİYET

3.1. Kullanılan Asitler Ve İşlem Koşulları

Piklaj, kireç giderme ve sama işlemleri tamamlanan derilerin tabaklamaya hazırlanması amacıyla pH değerinin kontrollü biçimde düşürüldüğü bir işlemdir. Özellikle kromla tabaklama öncesinde gerçekleştirilen bu aşama, tabaklama maddelerinin deri kesitine düzenli olarak nüfuz etmesine uygun bir ortam oluşturur. Geleneksel piklaj reçetelerinde çoğunlukla formik asit ve sülfürik asit birlikte kullanılmaktadır. Formik asit pH değerinin daha kontrollü düşürülmesine

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

katkıda bulunurken sülfürik asit, hedeflenen asidik ortamın oluşturulmasını sağlamaktadır. İşlemde ayrıca derinin aşırı asit şişmesine uğramasını önlemek amacıyla belirli miktarda sodyum klorür kullanılmaktadır. Kullanılan asidin türü ve miktarı, tuz konsantrasyonu, işlem süresi, sıcaklık, banyo oranı ve dola hareketi piklajın etkinliğini belirleyen başlıca değişkenlerdir (Yang vd., 2022; Matiucci vd., 2025).

Piklaj kimyasallarının kontrolsüz veya hızlı biçimde eklenmesi, deri yüzeyinde ani pH düşüşüne ve asit şişmesine neden olabilir. Asit şişmesi, kollajen lif yapısının değişmesine ve derinin fiziksel dayanımının azalmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle asitlerin seyreltilerek, uygun sırayla ve kontrollü biçimde işlem banyosuna verilmesi gerekmektedir. Matiucci vd. (2025), tuz miktarı ile asit şişmesi arasında doğrudan ilişki bulunduğunu; yetersiz tuz miktarının şişmeye, aşırı tuz kullanımının ise tabaklama maddesinin deri yapısına nüfuz etmesini olumsuz etkileyebildiğini göstermiştir. Dolayısıyla piklaj koşulları yalnızca ürün kalitesi açısından değil, kimyasalın hazırlanması ve aktarılması sırasında çalışanların güvenliği bakımından da önem taşımaktadır.

Geleneksel piklajın yüksek tuz kullanımına bağlı çevresel yükünü azaltmak amacıyla tuzsuz veya düşük tuzlu yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Polimerik ön işlemler, sülfonik asitler ve farklı piklaj maddelerinin kullanıldığı uygulamalar, klorür yükünü azaltabilecek alternatifler arasında bulunmaktadır (Jia vd., 2020; Liu vd., 2022; Biškauskaitė-Ulinskė ve Valeika, 2026). Bununla birlikte bu yöntemler daha temiz üretim açısından avantaj sağlayabilse de kullanılan alternatif kimyasalların tehlike özellikleri ayrıca değerlendirilmelidir. Tuz kullanımının azaltılması, kimyasal maruziyet riskinin bütünüyle ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir.

3.2. Asit Sıçraması, Buhar/Sis Ve Cilt Teması Olasılıkları

Piklaj aşamasındaki maruziyet olasılığı, asitlerin depodan alınmasıyla başlayarak ölçme, seyreltme, taşıma ve işlem dolabına aktarma işlemleri boyunca devam etmektedir. Kimyasal kaplarının elle taşınması, uygun olmayan pompaların kullanılması, açık kaplarda seyreltme yapılması ve asidin su üzerine kontrolsüz biçimde dökülmesi sıçrama ve dökülme olasılığını artırmaktadır. İşlem dolabı kapaklarının işlem tamamlanmadan açılması, numune alınması, banyo boşaltımı ve kimyasal döküntülerinin temizlenmesi de çalışanların asidik sıvılarla temas edebileceği faaliyetler arasındadır. Tabakhane çalışanlarının çeşitli kimyasallarla deri yoluyla temas edebildiği ve özellikle elle yürütülen işlemlerin maruziyet olasılığını yükselttiği bildirilmektedir (Febriana vd., 2012; Sivakumar, 2021).

Asitlerin ciltle teması tahriş, kızarıklık ve kimyasal yanıklara; gözle teması ise ciddi göz hasarına neden olabilir. Riskin derecesi kullanılan asidin türüne, konsantrasyonuna, temas süresine ve ilk yardım uygulamasının gecikmesine göre değişmektedir. Kimyasal bulaşmış eldiven ve iş giysilerinin kullanılmaya devam edilmesi de cilt temasının süresini uzatabilir. Bu nedenle yalnızca kimyasalın dökülmesi değil, kirlenmiş yüzeylere, ekipmanlara ve kişisel koruyucu donanımlara temas edilmesi de ikincil maruziyet kaynağı olarak değerlendirilmelidir.

Solunum yoluyla maruziyet değerlendirilirken “buhar” ve “sis” kavramlarının birbirinden ayrılması gerekir. Formik asit gibi daha uçucu maddeler buhar maruziyetine neden olabilirken sülfürik asidin düşük uçuculuğu nedeniyle temel solunum riski, sıçrama, püskürtme veya kuvvetli mekanik hareket sonucunda oluşabilecek asit sisi ve aerosolleridir. Sülfürik asit içeren kuvvetli inorganik asit sislerine mesleki maruziyetin sağlık açısından önem taşıdığı uluslararası değerlendirmelerde ortaya konulmuştur (IARC Working Group, 1992). Ancak bu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

değerlendirme, sıvı sülfürik asit ile asit sisinin aynı maruziyet biçimi olduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle bildiride "sülfürik asit buharı" yerine, proses koşulları uygunsa "sülfürik asit sisi veya asidik aerosol" ifadesinin kullanılması daha doğrudur.

3.3. Önceki İşlemlerden Kalan Sülfürlerle Bağlantılı Hidrojen Sülfür Oluşumu Riski

Piklaj aşamasındaki en ciddi proses güvenliği tehlikelerinden biri hidrojen sülfür (H_2S) oluşumudur. Derilerin kıl giderme ve kireçlik işlemlerinde kullanılan sodyum sülfür ve sodyum hidrosülfür gibi maddelerden kaynaklanan sülfürlü kalıntılar, yetersiz yıkama veya eksik kireç giderme sonucunda deri üzerinde, işlem banyosunda, dolapta ya da atık su kanallarında bulunabilir. Bu kalıntıların piklajda kullanılan asitlerle temas etmesi, hidrojen sülfür gazının açığa çıkmasına neden olabilir. Süreç basitleştirilmiş olarak aşağıdaki tepkimeyle gösterilebilir:

$$S^{2-} + 2H^{+} \rightarrow H_2S\uparrow$$

Dolayısıyla H_2S riski, piklajda kullanılan asitlerin tek başına tehlikeli gaz üretmesi şeklinde açıklanmamalıdır. Temel koşul, önceki işlemlerden kalan sülfürlerin asidik ortamla karşılaşmasıdır. Özellikle kireçlik ve piklaj banyolarının yanlışlıkla karıştırılması, sülfür içeren atık suların asidik atıklarla aynı kanala verilmesi ve sülfür kalıntısı bulunan dolaplara kontrolsüz biçimde asit eklenmesi riski artırmaktadır. Tabakhanelerde yapılan değerlendirmeler; ön tabaklama alanları, kimyasal depoları, dolap çevresi ve birleşik atık su kanallarının H_2S oluşumu bakımından kritik noktalar olabileceğini göstermektedir (Uddin vd., 2023; Uez vd., 2023).

Hidrojen sülfür, solunum yoluyla etkili olan ve yüksek düzeylerde hızla ağır sağlık sonuçlarına yol açabilen toksik bir gazdır. Bu nedenle H_2S tehlikesi yalnızca kişisel koruyucu donanım seçimiyle sınırlandırılamaz; sülfürlü ve asidik akımların birbirine karışmasını önleyen proses tasarımı ve erken uyarı yaklaşımı gerektirir. Ayrıntılı teknik ve örgütsel önlemler Bölüm 6'da ele alınmıştır.

4. TABAKLAMA AŞAMASINDA KİMYASAL MARUZİYET

4.1. Kromla Tabaklamada Kullanılan Kimyasallar

Tabaklama, ham deride bulunan kollajen liflerinin mikroorganizmalara, neme, sıcaklığa ve mekanik etkilere karşı daha dayanıklı hâle getirilmesini sağlayan temel üretim aşamasıdır. Mineral, bitkisel, sentetik ve kombine tabaklama yöntemleri bulunmakla birlikte kromla tabaklama; işlem süresinin kısa olması, yüksek hidrotermal dayanım sağlaması ve farklı kullanım alanlarına uygun deri üretimine imkân vermesi nedeniyle yaygın biçimde uygulanmaktadır. Kromla tabaklamada başlıca bazik krom sülfat gibi Cr(III) bileşikleri kullanılmaktadır. Bu maddeler suda çözündükten sonra deri kesitine nüfuz etmekte ve kollajen yapısındaki fonksiyonel gruplarla bağ oluşturarak deriyi kararlı hâle getirmektedir (Ahmed vd., 2021).

Krom bileşiklerinin yanı sıra tabaklama banyosunda pH kontrolü, kimyasal nüfuzu ve krom fiksasyonunun düzenlenmesi amacıyla farklı yardımcı maddelerden yararlanılabilir. Piklajdan gelen asidik ortamda kromun deri kesitine nüfuz etmesi sağlandıktan sonra sodyum bikarbonat veya magnezyum oksit gibi bazlaştırıcı maddelerle pH kademeli olarak yükseltilmektedir. Bu işlem bazifikasyon olarak adlandırılmakta ve kromun kollajen liflerine bağlanmasını artırmaktadır. Formiyatlar ve bazı organik asit tuzları ise pH değişiminin kontrol edilmesi ve krom dağılımının düzenlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Bazlaştırıcı maddelerin hızlı

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

veya kontrolsüz eklenmesi, pH değerinde ani artışa ve krom bileşiklerinin banyo içinde çökelmesine neden olabileceğinden kimyasal ilavesi belirlenen reçete ve süreye uygun biçimde gerçekleştirilmelidir.

Kromla tabaklamada kullanılan kromun tamamı deri tarafından bağlanmadığı için işlem banyosunda belirli miktarda krom kalabilmektedir. Bu durum yalnızca kaynak verimliliği ve atık su yükü bakımından değil, banyo boşaltımı, kanal temizliği ve arıtma işlemlerinde çalışanların temas olasılığı açısından da önemlidir. Kromun tabaklama banyosunda daha yüksek oranda bağlanmasını sağlayan proseslerin geliştirilmesi, krom geri kazanımı ve atık sulardan krom giderimi çevresel yükün ve dolaylı maruziyet olasılıklarının azaltılmasına katkı sağlayabilir (Nur-E-Alam vd., 2020; Harshan Gandhi vd., 2025).

4.2. Kimyasalların Hazırlanması, Aktarılması Ve Üretim İşlemlerindeki Temas Olasılıkları

Tabaklama aşamasındaki kimyasal risk, yalnızca dolap çalışırken ortaya çıkmamaktadır. Kimyasal maddelerin depodan alınması, ambalajların açılması, tartılması, çözelti hazırlanması, taşıma kaplarına doldurulması ve işlem dolabına aktarılması da maruziyet bakımından kritik faaliyetlerdir. Toz veya granül biçimindeki maddelerin açık ortamda tartılması ve boşaltılması sırasında havaya partikül yayılabilir. Sıvı kimyasalların elle aktarılması ise dökülme, sıçrama ve kirlenmiş yüzeylerle temas olasılığını artırabilir. Kimyasal maddelerin özellikleri bilinmeden karıştırılması veya etiketsiz kaplara aktarılması da yanlış kullanım ve istenmeyen reaksiyon riski oluşturmaktadır (Sivakumar, 2021).

Dolabın doldurulması ve çalıştırılması sırasında kullanılan kimyasallar kapalı sistem içerisinde bulunsa da kimyasal besleme girişlerinde, sızdıran bağlantılarda ve dolabın kapaklarında temas olasılığı devam edebilir. İşlem tamamlanmadan dolap kapağının açılması, deri veya banyo numunesi alınması ve pH kontrolü yapılması sırasında çalışanların sıvı sıçramasına maruz kalması mümkündür. Tabaklama banyosunun boşaltılması, dolap ve kanalların temizlenmesi, filtrelerin değiştirilmesi ve krom içeren çamurların uzaklaştırılması da kimyasal kalıntılarla doğrudan ya da dolaylı temas oluşturabilir. Bu nedenle bakım, temizlik ve atık yönetimi işleri normal üretim işlemlerinden ayrı görülmemeli; risk değerlendirmesine dâhil edilmelidir.

Maruziyetin başlıca yolları solunum, cilt ve göz temasıdır. Krom içeren toz veya aerosollerin solunması solunum yoluyla maruziyete; çözelti ve ıslak yüzeylerle temas ise deri yoluyla maruziyete neden olabilir. Kimyasal maddelerin elle hazırlanması, uygun olmayan eldiven kullanılması, kirlenmiş iş giysileriyle çalışılması ve işlem sonrasında ellerin yeterince temizlenmemesi cilt temasını artırabilir. Tabakhane çalışanlarında kimyasal maddelere bağlı cilt teması ve çeşitli sağlık yakınmalarının bildirildiği çalışmalar, kimyasal yönetiminin üretim sürecinin tamamında ele alınması gerektiğini göstermektedir (Febriana vd., 2012; Rabbani vd., 2021). Krom maruziyeti bakımından çalışma süresi, kimyasalın fiziksel biçimi, maruziyet sıklığı, havalandırma koşulları ve kişisel hijyen uygulamaları birlikte değerlendirilmelidir.

4.3. Krom(III) İle Krom(VI) Ayrımı Ve Değerlendirmede Dikkat Edilecek Noktalar

Krom, farklı oksidasyon basamaklarında bulunabilen bir elementtir. Deri tabaklama işleminde kullanılan temel krom türü üç değerlikli krom, yani Cr(III)'tür. Altı değerlikli krom olan Cr(VI) ise geleneksel kromla tabaklama reçetelerinde tabaklayıcı madde olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle kromla tabaklamada Cr(III) ve Cr(VI)'nın aynı kimyasal madde veya eşit

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

toksisiteye sahip iki biçim gibi sunulması bilimsel açıdan doğru değildir. Kromun biyolojik etkileri oksidasyon basamağına, bileşiğin çözünürlüğüne, maruziyet yoluna, yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişmektedir (Guertin, 2004; Genchi vd., 2021).

Cr(VI), Cr(III)'e göre daha yüksek hareketlilik ve hücre zarından geçiş yeteneği göstermekte; toksisite, genotoksisite ve kanserojen etki bakımından daha ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu farklılık, Cr(III) bileşiklerinin tamamen zararsız olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Tabakhane çalışanlarının uzun süreli ve kontrolsüz Cr(III) maruziyetinde oksidatif stres ve genotoksik etkilerin ortaya çıkabileceği bildirilmektedir (Dubey vd., 2022). Dolayısıyla risk değerlendirmesi yalnızca "krom kullanılıyor" ifadesine dayandırılmamalı; kromun kimyasal formu, konsantrasyonu, fiziksel durumu ve çalışanın hangi yolla maruz kaldığı belirlenmelidir.

Tabaklama sırasında başlangıç maddesi olarak Cr(III) kullanılması, üretilen deride hiçbir koşulda Cr(VI) bulunamayacağı anlamına gelmemektedir. Cr(III)'ün Cr(VI)'ya dönüşümü tabaklama işleminin zorunlu veya normal bir sonucu değildir; ancak oksitleyici koşullar, yüksek sıcaklık, ultraviyole ışınlara maruz kalma, pH, kullanılan yardımcı kimyasallar ve depolama koşulları bu dönüşüm olasılığını etkileyebilir. Bu nedenle proses banyosundaki Cr(III) maruziyeti ile daha sonraki aşamalarda veya bitmiş deride oluşabilecek Cr(VI) birbirinden ayrı değerlendirilmelidir. Kimyasal güvenlik bilgi formlarında krom türünün açıkça belirlenmesi, gerekli durumlarda Cr(III) ve Cr(VI)'nın ayrı analitik yöntemlerle ölçülmesi ve "toplam krom" sonucunun tek başına toksikolojik türlendirme olarak kabul edilmemesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, tabaklama aşamasındaki gerçek maruziyetin doğru tanımlanmasını ve uygun kontrol önlemlerinin belirlenmesini sağlayacaktır.

Çizelge 1. Piklaj ve tabaklama aşamalarındaki kimyasal maruziyet risklerinin karşılaştırılması

İşlem aşaması	Başlıca kimyasal/tehlike	Riskli faaliyetler	Maruziyet yolu	Muhtemel etkiler
Piklaj	Formik asit	Ölçme, seyreltme ve dolaba aktarma	Solunum, cilt ve göz	Solunum yolu tahrişi, cilt ve göz hasarı
Piklaj	Sülfürik asit	Seyreltme, aktarma, numune alma ve temizlik	Cilt, göz; sis/aerosol oluşursa solunum	Kimyasal yanık, göz hasarı ve solunum yolu tahrişi
Piklaj	Hidrojen sülfür	Sülfür kalıntılarının asitle teması, uyumsuz atıkların karışması	Solunum	Akut zehirlenme, bilinç kaybı ve yüksek düzeylerde ölüm riski
Tabaklama	Bazik krom sülfat/Cr(III)	Tartma, çözelti hazırlama, aktarma ve dolap işlemleri	Solunum, cilt ve göz	Tahriş, duyarlılık ve uzun süreli maruziyette sistemik etkiler
Tabaklama	Bazlaştırıcı maddeler	Çözelti hazırlama ve dolaba kontrollü ekleme	Solunum, cilt ve göz	Toz maruziyeti, tahriş ve sıçrama etkileri
Tabaklama sonrası	Cr(VI) oluşma olasılığı	Oksitleyici koşullar, yüksek sıcaklık ve uygun olmayan depolama	Cilt ve solunum	Alerjik etkiler, genotoksisite ve kanserojen risk

Kaynak: Febriana vd. (2012), Sivakumar (2021), Dubey vd. (2022), Uddin vd. (2023), Uez vd. (2023) ve Genchi vd. (2021) temelinde yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 1 incelendiğinde, piklaj ve tabaklama aşamalarındaki risklerin nitelik bakımından farklılaştığı görülmektedir. Piklajda asit sıçraması ve sülfür kalıntılarının asitle temasından kaynaklanan H_2S oluşumu gibi daha çok akut tehlikeler öne çıkmaktadır. Tabaklama aşamasında ise krom bileşikleriyle tekrarlanan cilt ve solunum temasına bağlı uzun dönemli maruziyetler önem kazanmaktadır. Bu nedenle iki aşama için aynı kontrol yaklaşımının uygulanması yeterli olmayıp tehlikenin kaynağına özgü önlemler geliştirilmelidir.

6. RİSKLERİN AZALTILMASINA YÖNELİK ÖNLEMLER

Piklaj ve tabaklama aşamalarındaki kimyasal risklerin azaltılmasında önlemler belirli bir hiyerarşiye göre uygulanmalıdır. Öncelikle tehlikeli kimyasalın ortadan kaldırılması veya daha az tehlikeli bir maddeyle değiştirilmesi değerlendirilmeli; ardından kapalı sistem, otomatik dozajlama, havalandırma ve güvenli depolama gibi mühendislik önlemlerine başvurulmalıdır. Çalışma talimatları, eğitim ve kişisel koruyucu donanımlar ise bu uygulamaları tamamlamalıdır. Risklerin yalnızca kişisel koruyucu donanım kullanılarak yönetilmeye çalışılması, proses ve ekipman kaynaklı tehlikeleri ortadan kaldırmadığı için yeterli değildir.

6.1. İşlem Ve Ekipman Kaynaklı Önlemler

Piklaj ve tabaklamada uygulanacak temel önlem, kimyasalların çalışanlarla temasını en aza indirecek şekilde prosesin kapalı veya yarı kapalı hâle getirilmesidir. Asitler, bazlaştırıcı maddeler ve krom çözeltileri mümkün olduğunca otomatik ölçüm ve dozajlama sistemleri aracılığıyla dolaplara verilmelidir. Böylece kimyasalların elle tartılması, seyreltilmesi ve taşınması sırasında ortaya çıkabilecek sıçrama, dökülme ve solunum maruziyeti azaltılabilir. Kimyasal besleme boruları, pompalar, bağlantı noktaları ve dolap kapakları düzenli olarak kontrol edilmeli; aşınmış contalar ve sızıntı yapan ekipmanlar gecikmeden değiştirilmelidir (Sivakumar, 2021).

Piklaj asitleri işlem banyosuna kontrollü ve kademeli biçimde verilmeli; seyreltme işlemleri yazılı talimata göre yapılmalı ve konsantre asit doğrudan ya da kontrolsüz biçimde işlem dolabına eklenmemelidir. Tuzsuz veya düşük tuzlu alternatifler uygulanacaksa proses güvenliği, kimyasal uyumluluk ve çalışan maruziyeti yönünden ayrıca değerlendirilmelidir.

Hidrojen sülfür riskinin azaltılmasında sülfür içeren kireçlik banyoları ile asidik piklaj akımlarının kesin olarak ayrılması gerekir. Kireçlik işlemi sonrasında deri ve ekipman üzerinde sülfür kalmaması için yıkama ve kireç giderme işlemlerinin yeterliliği kontrol edilmelidir. Sülfür içeren atık sular asidik atıklarla aynı kanal veya tankta birleştirilmemeli; İşlem dolapları ve boru hatları yanlış kimyasal bağlantısını önleyecek biçimde işaretlenmelidir. H_2S oluşma olasılığı bulunan alanlarda sabit veya taşınabilir gaz ölçüm cihazlarından yararlanılması, çalışanların yalnızca kokuya dayanarak karar vermesinden daha güvenilir bir yaklaşım sağlayacaktır (Uddin vd., 2023; Uez vd., 2023).

Kromla tabaklamada ise yüksek krom tüketimli prosesler, uygun banyo oranı, kontrollü bazifikasyon, krom geri kazanımı ve işlem banyolarının yeniden kullanılması değerlendirilebilir. Tabaklama banyosunda kalan krom miktarının azaltılması, hem atık su yükünü hem de banyo boşaltımı ve temizlik sırasında çalışanların kromlu sıvılarla temas olasılığını düşürebilir (Nur-E-Alam vd., 2020). Bakım ve temizlik işleri üretim dışı yardımcı faaliyetler olarak görülmemeli; kimyasal maruziyet bakımından ayrıca risk değerlendirmesine alınmalıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

6.2. Havalandırma, Depolama Ve Kimyasal Aktarımı

Kimyasal hazırlama ve dozajlama alanlarında yeterli genel havalandırmanın yanı sıra kirleticinin oluştuğu noktaya yakın lokal emiş sistemleri kurulmalıdır. Asit sisi, formik asit buharı, kimyasal tozu veya H_2S oluşma ihtimali bulunan noktalarda kirleticinin çalışma ortamına yayılmadan kaynağında uzaklaştırılması esastır. Havalandırma sistemlerinin etkinliği yalnızca kurulum sırasında değil, düzenli bakım ve ölçümlerle de kontrol edilmelidir. Emiş kanallarındaki tıkanma, fan arızası veya yetersiz hava akımı sistemin koruyucu etkisini azaltabilir.

Asitler, alkaliler, sülfürlü maddeler ve oksitleyiciler kimyasal uyumluluklarına göre ayrı bölümlerde depolanmalıdır. Özellikle sülfür içeren kimyasallar ve atıklar asitlerden fiziksel olarak ayrılmalı; dökülme durumunda bu maddelerin birbirine ulaşmasını önleyecek ikincil sızdırmazlık sistemleri kullanılmalıdır. Kimyasal kapları kapalı, sağlam ve açıkça etiketlenmiş olmalı; içecek şişesi veya içeriği tanımlanamayan kaplara kimyasal aktarılmamalıdır. Depolama alanlarında güvenlik bilgi formları erişilebilir tutulmalı, zemin kimyasallara dayanıklı olmalı ve döküntünün kanalizasyon sistemine kontrolsüz biçimde ulaşması önlenmelidir.

Kimyasal aktarımında açık kova ve benzeri kaplar yerine sabit boru hattı, kapalı pompa ve dozaj ünitesi kullanılmalıdır. Hortum ve bağlantılar kimyasala dayanıklı malzemeden seçilmeli; farklı kimyasallara ait bağlantıların karıştırılmasını önleyen renk, kod veya mekanik bağlantı sistemleri uygulanmalıdır. Asitlerle çalışılan alanlarda kolay erişilebilir acil göz duşu ve güvenlik duşu bulunmalı; dökülme müdahale ekipmanları kimyasalın özelliklerine uygun olarak hazırlanmalıdır.

6.3. Çalışan Eğitimi, Çalışma Talimatları Ve Uygun Kişisel Koruyucu Donanım

Çalışanlara yalnızca genel iş güvenliği eğitimi verilmesi yeterli değildir. Eğitimler kullanılan kimyasalın tehlike özelliklerini, maruziyet yollarını, güvenli seyreltme ve aktarma yöntemlerini, H_2S oluşum koşullarını, Cr(III)–Cr(VI) ayrımını, dökülme durumunda yapılacakları ve acil tahliye kurallarını kapsamalıdır. Eğitimlerin anlaşılır olması, belirli aralıklarla yenilenmesi ve uygulamalı tatbikatlarla desteklenmesi gerekmektedir. Yeni işe başlayanlar ile bakım, temizlik ve atık yönetimi çalışanları da aynı eğitim kapsamına alınmalıdır.

Kimyasal hazırlama, asit seyreltme, işlem dolabına kimyasal verme, numune alma, banyo boşaltma ve temizlik faaliyetleri için yazılı çalışma talimatları hazırlanmalıdır. Talimatlarda kimyasalın hangi sırayla ve hangi ekipmanla kullanılacağı, hangi maddelerle karıştırılmaması gerektiği, gerekli kişisel koruyucular ve acil durumda izlenecek yol açık biçimde belirtilmelidir. Etiketler ve güvenlik bilgi formları çalışma alanında kullanılan dilde ve çalışanların anlayabileceği biçimde bulunmalıdır.

Kişisel koruyucu donanım seçimi, kimyasalın güvenlik bilgi formu ve yapılan risk değerlendirmesine göre gerçekleştirilmelidir. Asitle veya kromlu çözeltilerle temas olasılığı bulunan işlerde kimyasala dayanıklı eldiven, koruyucu iş giysisi, uygun çizme ve yan korumalı gözlük kullanılmalıdır. Sıçrama olasılığının yüksek olduğu işlemlerde gözlüğe ek olarak yüz siperi gerekebilir. Solunum koruyucu kullanılması gereken durumlarda ise kirleticinin türüne ve yoğunluğuna uygun filtre seçilmeli, yüz uyumu sağlanmalı ve filtre değişim programı oluşturulmalıdır. Oksijen yetersizliği veya yüksek H_2S düzeyi olasılığı bulunan alanlara

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

yalnızca filtreli maske ile girilmemeli; bu alanlar kapalı alan prosedürleri ve acil müdahale planları kapsamında yönetilmelidir. Böylece teknik, örgütsel ve kişisel önlemlerin birlikte uygulanmasıyla piklaj ve tabaklamadaki kimyasal maruziyetler önemli ölçüde azaltılabilir.

Çizelge 2. Kimyasal Maruziyet Risklerine Yönelik Kontrol Önlemleri

Kontrol düzeyi	Piklaj aşamasında uygulanacak önlemler	Tabaklama aşamasında uygulanacak önlemler
İkame ve proses değişikliği	Uygunluğu doğrulanmış düşük tuzlu veya tuzsuz piklaj yöntemlerinin değerlendirilmesi	Yüksek krom tüketimli sistemler ve krom kullanımını azaltan yöntemlerin değerlendirilmesi
Kapalı sistem	Asitlerin kapalı pompa ve otomatik dozaj üniteleriyle aktarılması	Krom çözeltilerinin kapalı sistemde hazırlanması ve dolaba verilmesi
Proses kontrolü	Sülfür kalıntılarının kontrolü; sülfürlü ve asidik akımların ayrılması	Kontrollü bazifikasyon; kromun deriye bağlanma oranının artırılması
Havalandırma ve ölçüm	Asit sisi ve H_2S riski bulunan noktalarda lokal emiş ve gaz ölçümü	Toz oluşan hazırlama alanlarında lokal emiş; çalışma ortamı ölçümleri
Güvenli depolama	Asitlerle sülfürlü maddelerin ayrı alanlarda depolanması	Krom bileşiklerinin kapalı, etiketli ve sızdırmaz kaplarda saklanması
Çalışma talimatları	Asit seyreltme, dökülme müdahalesi ve H_2S acil durum talimatları	Krom tartma, çözelti hazırlama, numune alma ve atık yönetimi talimatları
Kişisel koruyucu donanım	Kimyasala dayanıklı eldiven, gözlük, yüz siperi, giysi ve uygun solunum koruyucu	Kimyasala dayanıklı eldiven, gözlük, koruyucu giysi ve gerekli durumlarda uygun solunum koruyucu
Acil durum hazırlığı	Göz duşu, güvenlik duşu, H_2S alarmı ve tahliye planı	Göz duşu, güvenlik duşu, dökülme seti ve tıbbi müdahale prosedürü

Kaynak: Sivakumar (2021), Nur-E-Alam vd. (2020), Uddin vd. (2023), Uez vd. (2023) ve Jia vd. (2020) temelinde yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Çizelge 2, kişisel koruyucu donanımdan önce kaynağa yönelik proses ve mühendislik kontrollerinin uygulanması gerektiğini özetlemektedir. Eğitim, çalışma talimatları ve kişisel koruyucular bu teknik önlemleri tamamlayan unsurlardır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu inceleme, piklaj ve tabaklama aşamalarında benzer çalışma faaliyetlerinin farklı nitelikte tehlikeler oluşturduğunu göstermektedir. Kimyasal hazırlama, aktarma, numune alma, banyo boşaltma ve ekipman temizliği her iki aşamada da kritik işlerdir; ancak piklajda asit sıçraması, asidik aerosol ve H_2S gibi akut tehlikeler, tabaklamada ise krom bileşikleriyle tekrarlanan cilt ve solunum teması öne çıkmaktadır. Bu nedenle risk değerlendirmesi yalnızca kimyasal listesine değil, işin yürütülme biçimine ve olası temas senaryolarına dayanmalıdır.

Piklajda öncelik, asitlerin kontrollü aktarılması ile sülfürlü kalıntıların asidik akımlardan kesin biçimde ayrılmasıdır. Yeterli yıkama ve kireç giderme sağlanmalı, sülfür içeren atıklar asidik atıklarla aynı kanal veya tankta birleştirilmemeli ve H_2S olasılığı bulunan alanlarda uygun havalandırma ile gaz ölçümü kullanılmalıdır. Koku, güvenilir bir erken uyarı yöntemi olarak kabul edilmemelidir.

Kromla tabaklamada Cr(III) ve Cr(VI) ayrımı korunmalı; toplam krom ölçümünün tek başına toksikolojik türlendirme sağlamadığı dikkate alınmalıdır. Krom çözeltilerinin kapalı sistemlerle aktarılması, kontrollü bazifikasyon, yüksek krom tüketimli prosesler, banyo yeniden kullanımı ve geri kazanım uygulamaları hem çevresel yükü hem de çalışan temasını azaltabilir. Kromlu

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sıvı ve çamurların boşaltılması, taşınması ve uzaklaştırılması da aynı risk yönetimi kapsamında değerlendirilmelidir.

İşletmelerde kontrol önlemleri; kapalı aktarım ve otomatik dozajlama, lokal havalandırma, güvenli depolama, ekipman bakımı, yazılı talimat ve görev odaklı eğitim sırasıyla bütüncül biçimde uygulanmalıdır. Kişisel koruyucu donanım, bu önlemlerin yerine geçmemeli; kimyasalın özelliğine ve yapılan işe göre tamamlayıcı koruma sağlamalıdır. Bu yaklaşım, piklaj ve tabaklamadaki öncelikli kontrol noktalarının belirlenmesini ve kaynakların en etkili önlemlere yönlendirilmesini kolaylaştıracaktır.

KAYNAKÇA

Ahmed, M. D., Maraz, K. M., & Khan, R. A. (2021). Prospects and challenges of chrome tanning: Approach a greener technology in leather industry. *Scientific Review, 7*(3), 42–49. doi:10.32861/sr.73.42.49

Arhoune, I., Rtel, M. B., Houmani, H., Chebaibi, M., Faqir, S., Belaroussi, L., ... Achour, S. (2025). Occupational health risks in Moroccan tanneries: Chemical exposure and recommendations for prevention. *Scientific African, 29,* e03046. doi:10.1016/j.sciaf.2025.e03046

Biškauskaitė-Ulinskė, R., & Valeika, V. (2026). Salt-free pickling with sulfonic acid as an approach to cleaner leather processing. *Materials, 19*(3), 471. doi:10.3390/ma19030471

Dubey, R., Verma, P., & Kumar, S. (2022). Cr(III) genotoxicity and oxidative stress: An occupational health risk for leather tannery workers of South Asian developing countries. *Toxicology and Industrial Health, 38*(2), 112–126. doi:10.1177/07482337211055131

Febriana, S. A., Jungbauer, F., Soebono, H., & Coenraads, P. J. (2012). Inventory of the chemicals and the exposure of the workers' skin to these at two leather factories in Indonesia. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 85*(5), 517–526. doi:10.1007/s00420-011-0700-1

Genchi, G., Lauria, G., Catalano, A., Carocci, A., & Sinicropi, M. S. (2021). The double face of metals: The intriguing case of chromium. *Applied Sciences, 11*(2), 638. doi:10.3390/app11020638

Guertin, J. (2004). Toxicity and health effects of chromium (all oxidation states). In J. Guertin, J. A. Jacobs, & C. P. Avakian (Eds.), *Chromium(VI) handbook* (pp. 215–234). Boca Raton, FL: CRC Press. doi:10.1201/9780203487969.ch6

Harshan Gandhi, M., Krishnaveni, A., Maheswari, M., Prabu, P. C., Aneesa Rani, M. S., Dhevagi, P., ... Pazhanivelan, S. (2025). Understanding the ecological footprint of chromium from tannery operations. *Environmental Geochemistry and Health, 47*(8), 315. doi:10.1007/s10653-025-02618-2

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (1992). *Occupational exposures to mists and vapours from strong inorganic acids; and other industrial chemicals* (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 54). Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.

Jia, X., Zhang, C., Chattha, S. A., & Peng, B. (2020). A salt-free pickling chrome tanning technology: Pretreatment with the collective polyoxyethylene diepoxy ether and urotropine. *Journal of Cleaner Production, 244*, 118706. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118706

Liu, X., Wang, Y., Wang, X., Han, T., Wang, W., & Jiang, H. (2022). A salt-free pickling and chrome-free tanning technology: A sustainable approach for cleaner leather manufacturing. *Green Chemistry, 24*(5), 2179–2192. doi:10.1039/D1GC04105C

Matiucci, M. A., Corrêa, S. S., & de Souza, M. L. R. (2025). Resistance of Nile tilapia leather subjected to pickling with different salt concentrations and exposure times of skins in salt-free water. *Acta Veterinaria Brasilica, 19*(2). doi:10.21708/avb.2025.19.2.12832

Nur-E-Alam, M., Mia, M. A. S., Ahmad, F., & Rahman, M. M. (2020). An overview of chromium removal techniques from tannery effluent. *Applied Water Science, 10*(9), 205. doi:10.1007/s13201-020-01286-0

Rabbani, G., Billah, B., Giri, A., Hossain, S. M., Mahmud, A. I. I., Banu, B., ... Alif, S. M. (2021). Factors associated with health complaints among leather tannery workers in Bangladesh. *Workplace Health & Safety, 69*(1), 22–31. doi:10.1177/2165079920936222

Rastogi, S. K., Pandey, A., & Tripathi, S. (2008). Occupational health risks among the workers employed in leather tanneries at Kanpur. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine, 12*(3), 132–135. doi:10.4103/0019-5278.44695

Sivakumar, V. (2021). Analysis of process safety and occupational health in leather process industry: A holistic approach. *Journal of the American Leather Chemists Association, 116*(12), 428–434.

Uddin, N., Tamanna, T. R., Panni, M. F. A. K., & Hossain, M. I. (2023). Risk assessment of hydrogen sulfide (H_2S) gas and its impact on human health: Evidence from tannery industry of a developing country. *European Journal of Engineering and Technology Research, 8*(6), 31–36. doi:10.24018/ejeng.2023.8.6.3109

Uez, D. E., Hansen, E., Osório, D. M., & de Aquim, P. M. (2023). Reducing the pollution load of tannery wastewater and the atmospheric emission of hydrogen sulfide using modified tannin. *Water Science & Technology, 87*(6), 1542–1551. doi:10.2166/wst.2023.075

Yang, T., Zeng, Y., Sun, Q., Lei, C., & Shi, B. (2022). Effect of pickling materials on leather quality from a hide surface charge perspective. *Journal of the American Leather Chemists Association, 117*(7), 279–287. doi:10.34314/jalca.v117i7.5962

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DERİ ÜRÜNLERİNDE ONARIM VE KULLANIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI: DÖNGÜSEL EKONOMİ AÇISINDAN BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
her@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0003-2125-7406
Öğr. Gör. ERTAN EROL
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
eerol@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-2595-9387

ÖZET

Deri ayakkabı, çanta ve aksesuarların kullanım ömrü; malzeme özellikleri, üretim kalitesi, kullanım koşulları ve bakım uygulamalarından etkilenmektedir. Kullanım sırasında oluşan hasarlar ürünlerin erken elden çıkarılmasına yol açabilirken, uygun bakım ve onarım işlemleri kullanım sürelerini uzatabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, deri ürünlerinde onarımın kullanım ömrünü uzatmadaki rolünü döngüsel ekonomi açısından incelemektir. Literatüre dayalı bu incelemede deri ürünlerinde görülen başlıca hasarlar, uygulanabilecek bakım ve onarım yöntemleri ile onarım kararını etkileyen unsurlar ele alınmaktadır. Ayrıca ürün tasarımı, malzeme seçimi, onarım hizmetlerine erişim ve tüketici davranışlarının ürünlerin yeniden kullanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Onarımın uygulanabilirliği, hasarın niteliğine ve ürünün yapısına göre değiştiğinden, her ürün için aynı çözümün uygun olmadığı vurgulanmaktadır. Çalışma, onarımı kolaylaştıran ürün tasarımının, düzenli bakımın ve erişilebilir onarım hizmetlerinin deri ürünlerinin kullanım ömrünü uzatmada birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede üreticilere, onarım hizmeti sağlayıcılarına ve tüketicilere yönelik öneriler sunulmaktadır. Deri ürünlerinin daha uzun süre kullanılması, yeniden kullanımı destekleme ve atık oluşumunu azaltma bakımından döngüsel ekonomi yaklaşımıyla ilişkilendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deri ürünleri, onarım, kullanım ömrü, döngüsel ekonomi, yeniden kullanım

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REPAIR AND EXTENSION OF THE SERVICE LIFE OF LEATHER PRODUCTS: A REVIEW FROM A CIRCULAR ECONOMY PERSPECTIVE

ABSTRACT

The service life of leather footwear, bags, and accessories is influenced by material properties, manufacturing quality, conditions of use, and maintenance practices. Damage occurring during use may lead to premature disposal, whereas appropriate care and repair can extend the period for which products remain in use. This paper aims to examine the role of repair in extending the service life of leather products from a circular economy perspective. Based on a review of the literature, it addresses common types of damage, applicable care and repair methods, and factors affecting the decision to repair a product. It also considers how product design, material selection, access to repair services, and consumer behaviour influence continued use. Because the feasibility of repair depends on the type of damage and the construction of the product, the same solution may not be suitable for every item. The review suggests that repairable design, regular maintenance, and accessible repair services should be considered together when seeking to extend the service life of leather products. It offers recommendations for manufacturers, repair service providers, and consumers. Keeping leather products in use for longer is discussed in relation to supporting reuse and reducing waste within a circular economy.

Keywords: Leather products, repair, service life, circular economy, reuse

1. GİRİŞ

Döngüsel ekonomi yaklaşımında ürünlerin kullanım süresinin uzatılması, malzeme ve ürün değerinin daha uzun süre korunmasıyla ilişkilidir. Bakım ve onarım, hasar gören bir ürünün hemen elden çıkarılması yerine işlevinin sürdürülmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte onarımın uygulanabilirliği; ürün tasarımı, hasarın niteliği, hizmete erişim ve kullanıcının ürünü kullanmaya devam etme isteğiyle birlikte değerlendirilmelidir (Cooper, 2020; den Hollander vd., 2017; Godfrey vd., 2022).

Deri ayakkabı, çanta ve aksesuarlar farklı malzemelerin ve bağlantı elemanlarının bir araya gelmesiyle üretilir. Bu ürünlerin kullanım ömrü deri malzemenin özellikleri kadar taban, fermuar, toka, astar ve dikiş gibi bileşenlerin durumundan da etkilenebilir. Ayakkabı üretiminde malzeme seçimi ve tasarımın sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi bu nedenle önem taşımaktadır (Battal vd., 2025). Derinin dayanıklılığına ilişkin çalışmalar ise malzeme özelliklerinin kullanım ömrü tartışmasında dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Thomasset & Benayoun, 2024). Ancak bir ürünün dayanıklı olması, bütün parçalarının aynı süreyle işlevini koruyacağı veya ortaya çıkan her hasarın onarılabileceği anlamına gelmez.

Onarım kararı yalnızca ürünün fiziksel durumuna bağlı değildir. Kullanıcının ürüne verdiği değer, işlem maliyeti, beklenen ek kullanım süresi ve hizmetin erişilebilirliği onarım ya da değiştirme tercihinde etkili olabilir (Godfrey vd., 2022; Parajuly vd., 2024). Türkiye'deki lostra işletmelerini sürdürülebilir tüketim bağlamında inceleyen Eryeşil (2023), yerel ayakkabı bakım ve onarım hizmetlerinin bu süreçteki rolünü göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bu bildirinin amacı, deri ürünlerinde bakım ve onarımın kullanım ömrünün uzatılmasındaki rolünü döngüsel ekonomi açısından incelemektir. Literatüre dayalı inceleme; deri ayakkabı, çanta ve aksesuarlarla sınırlandırılmıştır. Çalışmada bu ürünlerde görülebilen hasarlar, bakım ve onarım seçenekleri, onarımı etkileyen tasarım ve hizmet koşulları ile daha uzun süre kullanımın yeniden kullanım ve atık oluşumu açısından olası katkıları değerlendirilmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, deri ürünlerinde onarım ile kullanım ömrünün uzatılması arasındaki ilişkiyi ele alan anlatısal bir literatür incelemesidir. İnceleme kapsamında döngüsel ekonomi, ürün dayanıklılığı, onarılabilir tasarım, tüketici onarım davranışı ve onarım hizmetleri üzerine yayınlar değerlendirilmiştir. Deri ayakkabı, çanta ve aksesuarları doğrudan inceleyen çalışmalara öncelik verilmiş; konuya ilişkin kavramsal çerçeveyi oluşturmak için farklı ürün gruplarındaki onarım araştırmalarından da yararlanılmıştır. Hakemli makalelerin yanı sıra, deri ürünleri ve ayakkabı tasarımıyla doğrudan ilişkili kitap bölümleri, bildiriler ve tezler kapsamlarına uygun biçimde ele alınmıştır.

Seçilen yayınlar, bildirinin amacı doğrultusunda kullanım ömrünü etkileyen özellikler, bakım ve onarım uygulamaları, onarım kararını belirleyen etkenler ve döngüsel ekonomiyle ilişki başlıkları altında incelenmiştir. Farklı ürün gruplarından elde edilen bulgular deri ürünlerine özgü sonuçlar olarak değerlendirilmemiştir. Çalışma sistematik derleme veya meta-analiz niteliğinde olmadığından, literatürdeki tüm yayınları kapsadığı ya da onarımın çevresel etkisini sayısal olarak ölçtüğü iddia edilmemektedir.

3. DERİ ÜRÜNLERİNDE KULLANIM ÖMRÜ

3.1. Kullanım Ömrünü Etkileyen Malzeme ve Üretim Özellikleri

Deri ürünlerinde kullanım ömrü, yalnızca derinin dayanıklılığına bağlı değildir. Deri ayakkabı, çanta ve aksesuarlar; deri yüzey, astar, dikiş ipliği, yapıştırıcı, taban, fermuar ve metal aksesuar gibi farklı bileşenlerden oluşur. Bu bileşenlerden birinin işlevini kaybetmesi, deri yüzey kullanılabilir durumda olsa bile ürünün kullanımını güçleştirebilir. Bu nedenle kullanım ömrü değerlendirilirken ürünün bütünü ve bileşenlerin birbiriyle bağlantısı dikkate alınmalıdır. Ayakkabılarda kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve tasarım tercihleri, sürdürülebilir ürün tasarımı açısından da önemli bir değerlendirme alanıdır (Battal vd., 2025).

Deri malzemenin niteliği, ürünün kullanım sırasında maruz kaldığı etkilere vereceği tepkiyi belirleyen unsurlardan biridir. Tabaklama ve diğer üretim işlemleri sonucunda elde edilen derilerin özellikleri farklılaşabilir. Thomasset ve Benayoun (2024), çeşitli tabaklama teknikleriyle üretilen derilerin dayanıklılığını yapay yaşlandırma koşullarında inceleyerek malzeme seçiminin uzun ömürlü deri ürünleri bakımından önemini göstermiştir. Bununla birlikte laboratuvarda belirlenen malzeme dayanıklılığı ile bir ayakkabı veya çantanın gerçek kullanım ömrü aynı kavram değildir. Gerçek kullanım süresi; ürünün yapısına, kullanım sıklığına, bakımına ve gerektiğinde onarılabilmesine de bağlıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Üretim aşamasında dikişlerin sağlamlığı, parçaların birleştirilme biçimi ve değiştirilebilir bileşenlerin seçimi de önem taşır. Örneğin bir ayakkabının tabanı aşındığında tabanın yenilenebilmesi, ürünün kullanılmaya devam edilmesi açısından belirleyici olabilir. Buna karşılık parçaların birbirinden ayrılmasını güçleştiren bir yapı, küçük bir hasarın onarımını zorlaştırabilir. Döngüsel ürün tasarımına ilişkin yaklaşım, ürünün fiziksel bütünlüğünün korunmasını ve kullanım süresinin uzatılmasını tasarım aşamasından itibaren değerlendirmeyi gerektirir (den Hollander vd., 2017). Bu çerçevede dayanıklılık ve onarılabilirlik, deri ürünlerinin kullanım ömrünü etkileyen birbiriyle ilişkili iki özelliktir.

3.2. Kullanım Sırasında Görülen Başlıca Hasarlar

Deri ürünlerinde hasarın türü, ürünün kullanım amacına ve hangi parçalarının daha fazla zorlandığına göre değişir. Ayakkabılarda taban ve topuk aşınması, tabanın saya ile birleştiği yerde açılma, dikişlerin sökülmesi ve astarın yıpranması görülebilir. Çantalarda ise sap ve askı bağlantılarının zayıflaması, fermuar arızaları, dikiş açılması, kenar aşınması ve metal aksesuarların işlevini kaybetmesi kullanım güçlüğüne yol açabilir. Bu örnekler, hasarın her zaman deri yüzeyin bütünüyle kullanılamaz hâle gelmesi anlamına gelmediğini gösterir. Deri bakım ve onarım uygulamalarını ele alan Gillan ve Murray (2019), hasarın niteliğine uygun işlemin belirlenmesi için yararlanılabilecek uygulama odaklı bir kaynaktır.

Deri yüzeylerde sürtünmeye bağlı aşınma, renk değişimi, leke ve çatlama gibi görsel veya yapısal değişimler de ortaya çıkabilir. Bu değişimlerin değerlendirilmesinde hasarın derinin hangi kısmında oluştuğu, ne ölçüde ilerlediği ve ürünün işlevini etkileyip etkilemediği önemlidir. Yüzey görünümündeki her değişim ürünün kullanımını sona erdirmez; buna karşılık bağlantı veya taşıyıcı bir parçadaki hasar, yüzey sağlam görünse bile onarım gerektirebilir. Bu nedenle bakım, yüzeyin korunmasına; onarım ise ortaya çıkan belirli bir hasarın giderilmesine yönelik farklı uygulamalar olarak ele alınmalıdır.

Çizelge 1. Deri ürünlerinde yaygın hasarlar ve kullanım ömrünü uzatabilecek uygulamalar

Ürün grubu	Yaygın hasar	Bakım veya onarım uygulaması	Kullanım ömrüne olası katkısı
Deri ayakkabı	Taban ve topuk aşınması	Taban veya topuk yenileme	Ayakkabının işlevini sürdürmesi
Deri ayakkabı	Dikiş açılması	Yeniden dikim ve güçlendirme	Hasarın ilerlemesinin önlenmesi
Deri ayakkabı	Astar yıpranması	Astarın kısmen veya tamamen değiştirilmesi	Kullanım konforunun korunması
Deri çanta	Sap veya askı hasarı	Sapın yenilenmesi veya bağlantının güçlendirilmesi	Taşıma işlevinin sürdürülmesi
Deri çanta	Fermuar arızası	Fermuar veya sürgü değişimi	Açma-kapama işlevinin yeniden kazanılması

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Ürün grubu	Yaygın hasar	Bakım veya onarım uygulaması	Kullanım ömrüne olası katkısı
Deri ürünleri	Renk kaybı ve yüzey aşınması	Deri türüne uygun temizlik ve renk yenileme	Yüzeyin korunması ve estetik ömrün uzaması
Deri ürünleri	Kuruma ve çatlama	Uygun bakım ürünüyle kontrollü bakım	Yüzey esnekliğinin korunması

Kaynak: Gillan ve Murray (2019), Eryeşil (2023) ve ilgili literatür doğrultusunda yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Çizelge 1, deri ürünlerini kullanım dışı bırakabilen hasarların çoğunlukla ürünün tamamında değil; taban, topuk, astar, fermuar, sap ve dikiş gibi belirli bileşenlerde ortaya çıktığını göstermektedir. Uygun parça değişimi, güçlendirme, yeniden dikim veya yüzey bakımı ürünün işlevini yeniden kazandırabilir. Ancak özellikle yük taşıyan bölümlerde işlemin yalnızca görünümü düzeltmesi değil, dayanıklılık ve kullanım güvenliği sağlaması gerekir (Gillan & Murray, 2019; Eryeşil, 2023).

4. ONARIM VE BAKIM UYGULAMALARI

4.1. Deri Ayakkabılarda Onarım

Deri ayakkabılarda onarım, hasarın bulunduğu parçaya ve ayakkabının genel durumuna göre değişir. Taban ve topuk aşınması, dikiş açılması, astar yıpranması ve bağlantı noktalarındaki ayrılmalar farklı müdahaleler gerektirir. Tabanın veya topuğun yenilenmesi, deri saya kullanılabilir durumdayken ayakkabının işlevini sürdürmesini sağlayabilir. Dikiş ve astar onarımlarında ise hasarın yaygınlığı ve onarılan bölümün kullanımdaki yükü dikkate alınmalıdır. Her durumda önce hasarın yalnızca görünen parçayla sınırlı olup olmadığı değerlendirilmelidir; başka bileşenlerdeki ileri düzey yıpranma, yapılan işlemin sağlayacağı ek kullanım süresini azaltabilir.

Ayakkabının üretim biçimi onarım seçeneklerini etkiler. Tabanın saya ile birleştirilme yöntemi, parçanın sökülüp yenilenebilmesi bakımından belirleyicidir. Bu nedenle ayakkabının uzun ömürlü olması, yalnızca başlangıçta dayanıklı malzeme kullanılmasına değil, aşınan parçaların onarımına imkân veren tasarım kararlarına da bağlıdır (den Hollander vd., 2017; Battal vd., 2025). Ayakkabıda dayanıklılığı artırmaya yönelik bir çalışmada taban malzemesine yapılan değişikliğin kullanım süresi ve çevresel etki açısından değerlendirildiği görülmektedir; ancak bu tür malzeme geliştirmeleri, kullanım sonrasında yapılan onarımla aynı uygulama değildir (Rodriguez-Macua vd., 2025).

Türkiye'de ayakkabı bakım ve onarımı, lostra işletmeleri aracılığıyla sunulan hizmetler arasında yer almaktadır. Eryeşil (2023), bu işletmeleri sürdürülebilir tüketim bağlamında inceleyerek ayakkabının bakım ve onarımla kullanılmaya devam edilmesini tartışmaktadır. Bununla birlikte bir onarımın uygunluğu yalnızca teknik olarak yapılabilir olmasına bağlı değildir. İşlemin maliyeti, süresi, onarım hizmetine erişim ve kullanıcının elde etmeyi beklediği

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ek kullanım süresi de kararda rol oynar. Bu nedenle ayakkabı onarımı, ürünün mevcut durumuyla kullanıcının ihtiyaçları birlikte değerlendirilerek ele alınmalıdır.

4.2. Deri Çanta ve Aksesuarlarda Onarım

Deri çanta ve aksesuarlarda onarım gereksinimi çoğu zaman sap, askı, fermuar, toka, çıtçıt, astar ve dikiş gibi belirli bileşenlerde ortaya çıkar. Örneğin çantanın gövdesi kullanılabilir durumdayken bir sap bağlantısının zayıflaması veya fermuarın işlevini kaybetmesi, ürünün kullanımını sınırlayabilir. Hasarlı parçanın yenilenmesi ya da bağlantının güçlendirilmesi, çantanın tamamını değiştirmeden kullanılmaya devam edilmesine olanak sağlayabilir. Ancak özellikle taşıma yükünü karşılayan sap ve askı bağlantılarında, onarımın yalnızca görünümü düzeltmesi yeterli değildir; parçanın işlevini güvenilir biçimde yerine getirmesi gerekir.

Deri yüzeydeki çizik, renk kaybı veya yerel aşınma gibi değişimlerde amaç ve müdahale düzeyi ayrıca belirlenmelidir. Bazı değişimler ürünün işlevini etkilemezken, ilerleyen bir yırtılma veya bağlantı zayıflığı kullanım açısından sorun yaratabilir. Deri onarımı ve restorasyonuna ilişkin uygulama kaynağı, işlem seçiminin deri türü, yüzey durumu ve hasarın niteliğine göre yapılması gerektiğini ele almaktadır (Gillan & Murray, 2019). Bu nedenle her yüzey değişikliğine aynı işlem uygulanması veya görünümdeki her değişikliğin onarım gerektirdiğinin varsayılması uygun değildir.

Özellikle kullanıcı için değer taşıyan çantalarda onarım kararı, ürünün işlevi kadar onunla kurulan ilişkiyle de bağlantılı olabilir. Tüketicilerin onarım ve değiştirme kararlarını inceleyen Godfrey vd. (2022), bu kararların günlük kullanım alışkanlıkları içinde şekillendiğini göstermektedir. Lüks ürünlerin onarımına odaklanan Mrad vd. (2025) ise onarım hizmetinin ürünün kullanımını sürdürme açısından değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmaların bulguları bütün deri çanta kullanıcılarına genellenmemeli; ürün grubu ve araştırma kapsamı dikkate alınmalıdır.

4.3. Düzenli Bakımın Ürün Ömrüne Katkısı

Bakım, hasar oluştuktan sonra yapılan onarımdan farklı olarak ürünün kullanım sırasındaki durumunu izlemeyi ve uygun koşullarda korunmasını içerir. Deri yüzeyin temiz tutulması, ürünün kullanım amacına uygun biçimde saklanması ve dikiş, taban, sap gibi yoğun kullanılan parçaların düzenli olarak kontrol edilmesi, sorunların erken fark edilmesine yardımcı olabilir. Bakımda kullanılacak ürün ve yöntemler derinin türüne ve yüzey bitimine uygun seçilmelidir; uygunluğu değerlendirilmemiş bir uygulama istenmeyen görünüm veya yüzey değişikliklerine yol açabilir (Gillan & Murray, 2019).

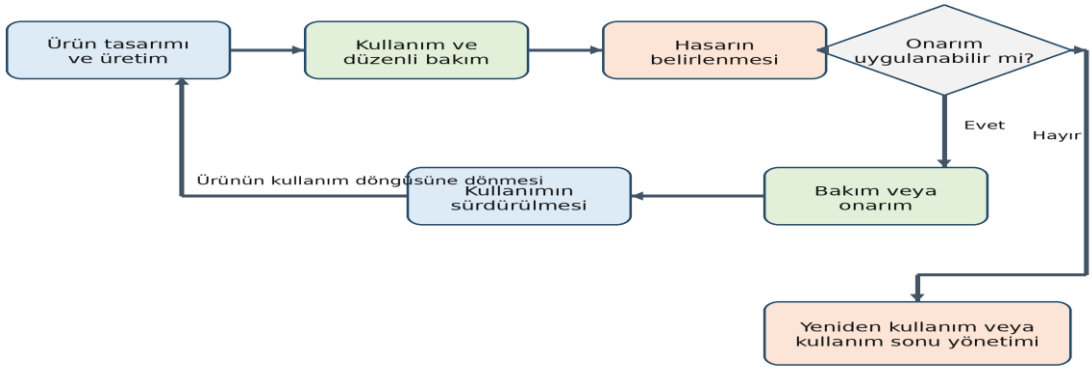
Bakım, aşınması beklenen parçaların durumunu izlemeyi ve küçük sorunları ürünün kullanımını sona erdirmeden fark etmeyi sağlar; ancak ilerlemiş hasarlarda onarımın yerini tutmaz. Bu nedenle bakım ve onarım birbirini tamamlayan uygulamalardır. Erişilebilir ve anlaşılır onarım hizmetleri de kullanıcının ürünü değiştirmeden önce onarım seçeneğini değerlendirmesini destekleyebilir (Das vd., 2025).

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

5. DÖNGÜSEL EKONOMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Deri ürünlerinin kullanım ömrünün uzatılması; tasarım, kullanım koşulları, düzenli bakım, hasarın zamanında belirlenmesi ve uygun onarımın birbirini tamamladığı bir süreçtir. Bu süreç Görsel 1'de özetlenmiştir.

Görsel 1. Deri ürünlerinde onarım yoluyla kullanım ömrünün uzatılması



Kaynak: Cooper (2020), den Hollander vd. (2017) ve Van Rensburg vd. (2020) temelinde yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Görsel 1, ürünün tasarım ve üretim özelliklerinin bakım olanaklarını ve ortaya çıkan hasarın onarılabilirliğini etkilediğini göstermektedir. Teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir onarım ürünü kullanım döngüsüne geri kazandırırken, onarımın mümkün olmadığı durumlarda yeniden kullanım, parça değerlendirme veya uygun kullanım sonu seçenekleri gündeme gelmektedir. Böylece ürün ve malzeme değeri mümkün olduğunca uzun süre korunmaktadır.

5.1. Onarımın Yeniden Kullanım ve Atık Azaltımıyla İlişkisi

Döngüsel ekonomi yaklaşımında ürünün değerini korumanın yollarından biri, kullanılabilir durumda olan ürünleri mümkün olduğunca uzun süre kullanımda tutmaktır. Bakım ve onarım, ürünün işlevini sürdürmesini sağlayarak yeni bir ürün alma ihtiyacını erteleyebilir (Cooper, 2020; den Hollander vd., 2017). Deri ayakkabıda aşınmış tabanın yenilenmesi veya deri çantada bozulan fermuarın değiştirilmesi, ürünün diğer parçalarından yararlanılmasına devam edilmesini sağlayan örneklerdir. Burada onarım ile yeniden kullanım arasında bir ayrım vardır: Onarım hasarın giderilmesini, yeniden kullanım ise ürünün aynı veya başka bir kullanıcı tarafından kullanılmaya devam edilmesini ifade eder. Onarım, yeniden kullanımı mümkün kılan uygulamalardan biri olabilir.

Ayakkabıların kullanım sonu yönetimine ilişkin incelemeler, ürünün elden çıkarılmasından sonra uygulanabilecek seçeneklerin değerlendirilmesinin önemini göstermektedir (Van Rensburg vd., 2020). Onarım ise ürün kullanımdayken uygulanabildiği için kullanım sonuna ulaşma zamanını erteleme potansiyeli taşır. Bununla birlikte her onarımın kendiliğinden atık

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

veya çevresel etki azalması sağladığı ileri sürülemez. Kullanım süresine gerçekten ne kadar eklendiği, işlemde kullanılan malzeme ve kaynaklar ile onarılan ürünün yeni bir ürün satın alınmasının yerini alıp almadığı birlikte değerlendirilmelidir. Yaşam döngüsü çalışmalarında kullanım süresinin nasıl tanımlandığı ve hesaplamaya katıldığı da sonuçları etkileyebilir (Jerome & Ljunggren, 2025). Bu bildiri kapsamında çevresel kazanım için sayısal bir hesaplama yapılmadığından, onarımın atık azaltımına katkısı olası bir sonuç olarak ele alınmaktadır.

5.2. Onarımı Kolaylaştıran ve Zorlaştıran Etkenler

Onarılabilirlik, ilk olarak ürünün tasarım ve üretim özellikleriyle bağlantılıdır. Aşınması beklenen parçaların değiştirilebilir olması ve bağlantı noktalarına müdahale edilebilmesi, ürünün tümünü değiştirmeden onarım yapılmasını kolaylaştırabilir. Buna karşılık parçaların sökülmesini güçleştiren yapı, uygun yedek parçanın bulunmaması veya hasarın taşıyıcı bölümlere yayılması işlemi zorlaştırabilir. Döngüsel ürün tasarımına ilişkin çalışmalar, ürünün fiziksel bütünlüğünü ve kullanım değerini korumayı tasarım kararlarının bir parçası olarak ele almaktadır (den Hollander vd., 2017). Ayakkabının farklı bileşenlerden oluştuğu dikkate alındığında, onarılabilirlik yalnızca deri yüzeyin durumuyla değerlendirilemez (Battal vd., 2025).

Teknik koşulların yanında ekonomik ve davranışsal etkenler de önemlidir. Onarım bedeli, hizmete ulaşmak için gereken zaman, işlem sonucuna duyulan güven ve ürünün kullanıcı açısından değeri, onarım kararında etkili olabilir. Tüketicilerin nesneleri onarma veya değiştirme davranışlarını inceleyen Godfrey vd. (2022), bu kararların ürünün gündelik kullanımdaki yeriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Parajuly vd. (2024) ise onarım davranışını daha geniş bir sistem içinde değerlendirerek yalnızca kullanıcı isteğine odaklanmanın yeterli olmayacağını göstermektedir. Bu nedenle erişilebilir bir onarım hizmeti bulunmadığında, teknik olarak onarılabilir bir ürün de elden çıkarılabilir.

Onarımın görünümü de bazı ürünlerde kararın bir parçasıdır. Kullanıcı, onarılan bölümün fark edilmemesini isteyebileceği gibi görünür bir onarımı da kabul edebilir. Ancak görünüm tercihi ürünün işlevsel gerekliliklerinden ayrı değerlendirilmemelidir. Özellikle ayakkabı tabanı ve çanta sapı gibi kullanım yükü taşıyan bölümlerde onarımın dayanıklılığı önceliklidir. Ürün grupları, kullanıcı beklentileri ve hizmet koşulları farklılaştığı için tek bir onarım yöntemi veya hizmet modeli bütün deri ürünleri için uygun olmayabilir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 2. Deri ürünlerinin onarımını kolaylaştıran ve zorlaştıran etkenler

Boyut	Onarımı kolaylaştıran etkenler	Onarımı zorlaştıran etkenler
Ürün tasarımı	Değiştirilebilir taban, sap, fermuar ve aksesuarlar	Ayrılması güç, yapıştırılmış veya kapalı yapı
Malzeme	Dayanıklı ve müdahaleye uygun deri	İleri düzeyde çatlamış veya zayıflamış malzeme
Yedek parça	Uygun parça ve malzemeye erişim	Özgün parçanın bulunamaması
Onarım hizmeti	Uzman ve erişilebilir onarım işletmeleri	Hizmete erişimin sınırlı olması
Ekonomik koşullar	Onarım maliyetinin ürün değerine uygun olması	Onarım maliyetinin yeni ürün fiyatına yaklaşması
Tüketici davranışı	Ürüne bağlılık ve kullanmaya devam etme isteği	Yeni ürün satın alma eğilimi
Üretici desteği	Bakım bilgisi, garanti ve onarım hizmeti	Üretici desteğinin bulunmaması

Kaynak: Den Hollander vd. (2017), Godfrey vd. (2022), Parajuly vd. (2024) ve Das vd. (2025) temelinde yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Çizelge 2, onarım kararının teknik yapılabilirliğin yanı sıra tasarım, yedek parça, maliyet, hizmet altyapısı ve kullanıcı beklentilerinden etkilendiğini özetlemektedir. Bu nedenle kullanım ömrünü uzatma sorumluluğu yalnızca tüketiciye yüklenemez; üretici, onarım hizmeti sağlayıcısı ve tüketicinin birbirini tamamlayan katkıları gerekir.

5.3. Üretici, Onarım Hizmeti ve Tüketicinin Rolleri

Üreticiler, ürünün kullanım ömrünü etkileyen kararları daha tasarım aşamasında verir. Malzeme ve bağlantı yöntemi seçimi, dikişlerin düzeni, aşınan parçaların yenilenebilmesi ve bakım bilgisinin kullanıcıya sunulması bu kararlar arasındadır. Ayakkabı sektörüne ilişkin ürün ve hizmet sistemi yaklaşımı, ürün satışının yanında kullanım süresince sunulabilecek hizmetlerin de değerlendirilmesine imkân verir (Mittal vd., 2024). Üreticinin onarım için bilgi veya uygun parça sağlaması, ürünün kullanım sonrasında karşılaşılabilecek sorunlarına çözüm bulunmasını kolaylaştırabilir.

Onarım hizmeti sağlayıcıları, hasarın niteliğini değerlendirerek yapılabilecek işlemi ve beklenen sonucu kullanıcıya açık biçimde anlatmalıdır. İşlemin maliyeti, süresi ve olası sınırlılıklarının belirtilmesi, kullanıcının onarım ile değiştirme arasında bilinçli bir karar vermesine yardımcı olur. Moda sektöründeki onarım hizmetlerini inceleyen Das vd. (2025), hizmetlerin görünürlüğü ve kullanıcı güveni gibi unsurların onarım davranışı açısından önemini ele almaktadır. Türkiye'de lostra işletmelerini inceleyen Eryeşil (2023) de yerel onarım hizmetlerinin sürdürülebilir tüketim tartışmasındaki yerine katkı sunmaktadır.

Tüketicinin rolü, ürünü uygun biçimde kullanmak, bakım gereksinimini izlemek ve hasar ortaya çıktığında onarım seçeneğini değerlendirmektir. Ancak kullanım ömrünü uzatma sorumluluğu yalnızca tüketiciye yüklenemez. Ürün müdahaleye elverişli üretilmediğinde veya

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

uygun hizmete erişilemediğinde, tüketicinin onarım isteği yeterli olmayabilir. Deri ürünlerinin daha uzun süre kullanılabilmesi; üreticinin onarılabilir ürün sunması, hizmet sağlayıcının uygulanabilir çözüm üretmesi ve tüketicinin bakım ile onarım seçeneklerinden yararlanabilmesi arasındaki ilişkiye bağlıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deri ayakkabı, çanta ve aksesuarların kullanım ömrü yalnızca deri yüzeyin dayanıklılığına değil; taban, astar, dikiş, fermuar, sap ve bağlantı elemanlarının durumuna da bağlıdır. Bu bileşenlerden birinde oluşan hasar ürünün tamamının işlevini kaybettiği anlamına gelmeyebilir. Hasara uygun ve güvenli bir onarım, kullanılabilir parçaları koruyarak ürünün kullanım süresini uzatabilir; düzenli bakım ise sorunların ilerlemeden fark edilmesini kolaylaştırır.

Döngüsel ekonomi açısından onarımın temel katkısı, ürünün kullanımda kalma süresini uzatma olanağıdır. Ancak çevresel yarar; onarım sonrasında sağlanan ek kullanım süresine, işlemde tüketilen kaynaklara ve yeni ürün alımının gerçekten ertelenmesine bağlıdır. Bu nedenle her onarım aynı ölçüde yararlı kabul edilmemeli; hasarın boyutu, ürünün kalan kullanım potansiyeli, maliyet ve hizmete erişim birlikte değerlendirilmelidir.

Üreticiler değiştirilebilir parçaları ve müdahaleye elverişli bağlantıları tasarım aşamasında dikkate almalı, uygun bakım bilgisini kullanıcıya sunmalı ve mümkün olduğunda yedek parça sağlamalıdır. Onarım hizmeti sağlayıcıları işlemin kapsamını, maliyetini, beklenen sonucunu ve sınırlılıklarını açıkça belirtmelidir. Tüketiciler ise ürünü uygun koşullarda kullanmalı, bakım gereksinimini izlemeli ve elden çıkarma kararı vermeden önce onarım seçeneğini değerlendirmelidir.

Bu çalışma literatüre dayalı olduğundan, deri ürünlerinde onarımın sağladığı ek kullanım süresini ve çevresel etkisini sayısal olarak ölçmemektedir. Gelecek araştırmalarda ürün türü, hasar biçimi, onarım maliyeti ve onarım sonrası gerçek kullanım süresi birlikte incelenerek hangi uygulamaların teknik, ekonomik ve çevresel açıdan daha anlamlı olduğu belirlenebilir.

KAYNAKÇA

1. Battal, Ö., Acar, M., Derindere, İ., Uzun, M., Karcıer, A., & Yalgın, M. T. (2025). Adımların ötesinde ayakkabı üretiminde kullanılan malzemeler ve sürdürülebilir ayakkabı tasarımı. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 6(3), 215–239. doi:10.46740/alku.1441157
2. Cooper, T. (2020). Slower cycles: An essential characteristic of the circular economy. In S. Eisenriegler (Ed.), The circular economy in the European Union: An interim review (pp. 99–116). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-50239-3_9
3. Das, M., Ahsan, N., Van Rooy, D., Du Bois, E., & Moons, I. (2025). Unveiling the power of repair services in enhancing consumer repair behaviour in the fashion industry: A crucial step towards a circular economy. In Proceedings of the 6th Product

Lifetimes and the Environment Conference (PLATE2025) (pp. 1–7). doi:10.54337/plate2025-10262

4. den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 517–525. doi:10.1111/jiec.12610
5. Eryeşil, A. (2023). Sürdürülebilir tüketim bağlamında lostra işletmeleri üzerine bir inceleme. Toplum Ekonomi ve Yönetim Dergisi, 4(2), 181–196.
6. Gillan, K., & Murray, J. (2019). Comprehensive guide to leather repair and restoration: Leather repair training manual. Advanced Leather Solutions, Inc.
7. Godfrey, D. M., Price, L. L., & Lusch, R. F. (2022). Repair, consumption, and sustainability: Fixing fragile objects and maintaining consumer practices. Journal of Consumer Research, 49(2), 229–251. doi:10.1093/jcr/ucab067
8. Jerome, A., & Ljunggren, M. (2025). Product lifetime in life cycle assessments of circular economy strategies—A review and consolidation of methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 30(10), 2162–2189. doi:10.1007/s11367-025-02470-7
9. Mittal, S., Khan, M. A., Yadav, V., & Sharma, M. K. (2024). Footwear as product-service systems: Toward sustainable alternative consumption scenarios. Business Strategy and the Environment, 33(2), 726–741. doi:10.1002/bse.3519
10. Mrad, M., Semaan, R. W., Christodoulides, G., & Prandelli, E. (2025). Give me a second life! Extending the life-span of luxury products through repair. Journal of Retailing and Consumer Services, 82, 104055. doi:10.1016/j.jretconser.2024.104055
11. Parajuly, K., Green, J., Richter, J., Johnson, M., Rückschloss, J., Peeters, J., . . . Fitzpatrick, C. (2024). Product repair in a circular economy: Exploring public repair behavior from a systems perspective. Journal of Industrial Ecology, 28(1), 74–86. doi:10.1111/jiec.13451
12. Rodriguez-Macua, C., Amador-Cervera, M., Ruiz-Salmón, I., Amat-Bernabéu, A., & Mateu-Romero, B. (2025). Increasing footwear durability to reduce environmental impact through the addition of graphene in shoe soles. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Advance online publication. doi:10.1007/s00170-025-16367-0
13. Thomasset, A., & Benayoun, S. (2024). Assessing the durability of diverse leather tanning techniques for the manufacturing of leather goods through artificial aging processes. Cleaner Engineering and Technology, 22, 100807. doi:10.1016/j.clet.2024.100807
14. Van Rensburg, M. L., Nkomo, S. L., & Mkhize, N. M. (2020). Life cycle and end-of-life management options in the footwear industry: A review. Waste Management & Research, 38(6), 599–613. doi:10.1177/0734242X20908938

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

İZMİR İLİ KAPSAMINDA ŞEV STABİLİTESİNE ETKİ EDEN İKLİMSEL FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, DUYGU ÖZMEN
İzmir Demokrasi Üniversitesi, 2517102006@std.idu.edu.tr – 0009-0004-2478-4441
Dr. Öğr. Üyesi, ESRA GÜNERİ
İzmir Demokrasi Üniversitesi, esra.guneri@idu.edu.tr – 0000-0002-1840-2118

ÖZET

İzmir ilinin topografik yapısı (tümsek, çukur, orman vb.) ve jeolojik birimleri (yeryüzü şekilleri vb.) incelendiğinde çok fazlı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu farklı birimlerin bir arada bulunması; eğim, zemin türü ve hidrojeolojik koşullar açısından bölgesel olarak şev stabilitesinde kritik durumlar oluşturmaktadır. Kısa süreli, ani ve yoğun yağışlar sebebiyle yeraltı suyu seviyesindeki değişimlerin boşluk suyu basıncı üzerindeki etkisinin, şevlerin yani eğimli zemin yüzeylerinin güvenlik katsayısında ciddi azalmalara yol açtığını gözler önüne sermektedir. İzmir ilindeki marnlı ve killi zeminlerde yağışlardan dolayı suyun varlığı, yeraltı suyu seviyesini arttırarak boşluk suyu basıncını yükseltmekle kalmaz, kohezyon değerinde de yumuşamadan kaynaklı ciddi azalmalar meydana getirmektedir. Dolayısıyla, kayma direnci azaldığı için şev güvenliği azalır ve heyelan riski oluşturmaktadır. İzmir yamaçlarındaki yoğun betonlaşma da son yıllardaki ani ve kısa süreli yağışlardan etkilenmektedir. Bu yağışlardan elde edilen veriler ile geçmiş yıllardaki ekstrem yağış verileri harmanlanarak, kritik şev güvenliği açısından yeni ve geliştirilmiş güvenlik katsayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. İklim değişimlerine bağlı olarak elde edilecek yeni şev güvenlik katsayıları ve şev iyileştirme yöntemleri geliştirilmelidir. Bu çalışmada, İzmir ilindeki son yıllarda görülen iklim değişikliklerine ait Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler incelenerek, şevlerin güvenliğine etki eden faktörler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik Katsayısı, İzmir, Stabilite, Şev, Yağış, Zemin

1. GİRİŞ

Şev olarak adlandırılan eğimli zemin yüzeylerinin dengede yani stabil kalabilmesi mühendislikte can ve mal güvenliği açısından kritik bir konudur. Bilinenin aksine şev stabilitesinde sadece topografik ve jeolojik yapı etkili olmaz. Bu çalışmada ele alınan iklimsel faktörler de şevlerin güvenliğini etkileyen önemli konulardandır. İzmir ili, Akdeniz iklimine

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

sahip, yaz aylarının sıcak ve kurak geçtiği, yıllık yağışın %50'sinden fazlasının kış aylarında düştüğü kısa süreli ancak ani ve yoğun yağış rejimlerinin görüldüğü bir iklime sahiptir. Bu iklim özelliğinden dolayı zemin ve kaya kütlelerinde yeraltı suyu seviyesindeki değişimler, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilme parametreleri arasında ilişkiler bulunmaktadır. Türkiye'de ve Dünyada yapılan akademik çalışmalarda, yoğun yağışların boşluk suyu basıncını artırarak kayma direncini düşürdüğü, bu durumun ise şevlerin güvenliğini tehdit ederek heyelanlara neden olduğu sıkça araştırma konusu olmaktadır.

Doygun olmayan kalıntı topraklarda ve gevşek dolgularda şev instabilitesi, Brezilya, Güney Afrika , Japonya ve Uzak Doğu gibi dünyanın dört bir yanında son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir . Yağmur kaynaklı kaymalar en yaygın olanlardır. Yağmur, ana yeraltı suyu seviyesini yükselten ve toprak erozyonuna (yoğun su akışı nedeniyle) yol açan askıda su tablasının oluşmasına neden olmaktadır; bu da gözenek suyu basıncında artışa veya toprak matris emme kuvvetinde azalmaya yol açmaktadır(Ng & Shi, 1998). Bu da potansiyel kayma yüzeyinde kayma dayanımının,_şevde dengenin artık sürdürülemeyeceği bir noktaya kadar azalmasına ve ardından kaymaların meydana gelmesine neden olmakatadır [1].

Bu çalışmanın amacı, 1938-2025 yılları arasındaki aylık yağış ortalamaları ile yoğun yağışlı geçen son dönemlerdeki iklim verileri karşılaştırılarak, şev stabilitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik planlama, yöntem ve tasarımlar hedeflenmektedir.

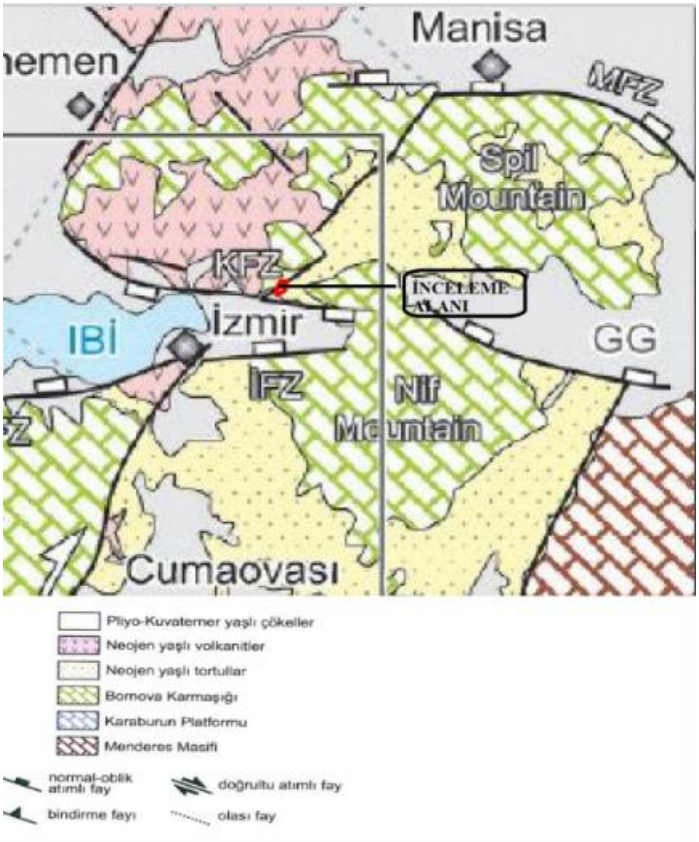
2. MATERYALLER

2.1. Çalışma Bölgesine Ait Jeolojik Özellikler ve Meteorolojik Veriler

Çalışmada bahsedilecek alan İzmir İli, Bornova İlçesidir. Bölgede tipik Akdeniz iklimi egemendir. Yağışlar İlkbahar ve Sonbahar aylarında yağmur şeklinde olup kışları ılık yazları sıcak ve kuraktır. İzmir Büyükşehir Belediye Başkanlığı, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Zemin İnceleme Şube Müdürlüğünün yaptığı çalışmadan alınan verilere göre bölgede yağışın ortalama yüksekliği 681.8 mm/yıl' dır. En fazla yağış düşen aylar; Aralık 152,6 mm, Ocak 134 mm ve Şubat 97,2 mm, en az yağış düşen aylar; Temmuz 2.1 mm ve Ağustos 2.4 mm aylardır. Genel olarak Ekim ayı zeminin tamamen veya kısmen suyla doygun olduğunu, kurak dönemde ise hiç su bulunmadığını ifade etmektedir. Bölgede alttan üste doğru; Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı, Neojen Formasyonları ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. İncelenen alan,>%10' dan büyük topografik eğim değerlerine sahiptir.

Bölgenin genel jeoloji haritası Görsel 1' de sunulmuştur. Genelde Neojen tortulları zayıf ile ortaç arası pekleşmiş olduğundan ve bol kil içerdiğinden dolayı az duraylıdır. Tüm kayalar yanal ve düşey yönde geçiş gösterdiğinden zemin niteliği ve yeraltı suyu miktarı her yerde farklıdır. Kireçtaşı, kalın katmanlı bölümlerinde dayanımlı zemin oluşturur (Kaya, 1982). Bölgede, 03.08.2016 tarihinde yapılan arazi gözlemlerinde; Yamaç molozları, üstten alta doğru rezidüel kireçtaşı ve neojen yaşlı, beyaz renkli killi kireçtaşı birimleri bulunmaktadır [2].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9



Görsel 1. Bornova Bölgesi ve Çevresinin Basitleştirilmiş Jeolojik Haritası, (Kaya, 1981; Bozkurt 2001; Konak ve Şenel 2002; Emre ve diğer., 2005; Uzel & Sözbilir, 2008 ve Uzel ve diğer, 2012 düzenlenmiştir.) SFZ: Seferihisar Fay Zonu, GFZ: Gülbahçe Fay Zonu, İFZ: İzmir Fay Zonu, MEFZ: Menemen Fay Zonu, KFZ: Karşıyaka Fay Zonu

2.2. Bornova İlçesine Ait Jeoteknik Veriler

Şev geometrisi ve zemin parametrelerini belirlemek amacıyla, İzmir ili Bornova ilçesindeki 2610 m2'lik alana sahip bir parsele ait zemin etüdü çalışmaları, mevcut sondaj verileri ve literatür çalışmaları araştırılmıştır. Zemin etüd raporundan (Ege Temel Sondajcılık, 2015) elde edilen bilgilere göre, çalışma alanındaki zemin türü alüvyondur. Çoğunlukla killi, siltli, kumlu ve az miktar çakıllı bir profil sergilemektedir. Yer altı su seviyesi 2.00 ile 4.55 m arasında değişmektedir. Zemin yatak katsayısı 15000-30000 kN/m3, zemin büyütmesi 2.4-2.7 aralığında, zemin hâkim titreşim periyodu ise 0.6 s değerinde belirlenmiştir. Zemin sınıfı TBDY (2018)'e göre ZE olarak değerlendirilmiştir. Geoteknik çalışmalar kapsamında, 2015 yılında bölgede derinlikleri 30,45 m ile 50,45 m arasında değişen 16 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar sırasında zeminin geoteknik özelliklerini saptamak amacıyla Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri yapılmıştır [3].

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 1. SK-1 Sondaj Kuyusuna Ait Veriler (Geotechnical data belongs to the SK-1 borehole)

Örnek No.	Derinlik (m)	USCS Zemin Sınıfı	SPT-N30
SPT-1	3.00-3.45	DOLGU	4
SPT-2	4.50-4.95	CL	10
SPT-3	6.00-6.45	CL	9
SPT-4	9.00-9.45	CL	10
SPT-5	10.50-10.95	CL	12
SPT-6	13.50-13.95	SC	39
SPT-7	16.50-16.95	SC	30
SPT-8	19.50-19.95	SC	28
SPT-9	21.00-21.45	CL	26
SPT-10	24.00-24.45	CH	21
SPT-11	27.00-27.45	CH	21
SPT-12	30.00-30.45	CH	22

2.3. Örnek FS Senaryosu

Şev stabilitesi analizlerinde yağışın ve yeraltı suyu seviyesindeki ani değişimlerin etkisini değerlendirmek amacıyla üç farklı senaryo oluşturulmuştur (Çizelge 2).
İlk senaryo, normal yağış koşullarını temsil eder ve şevin mevcut koşullardaki güvenlik katsayısı FS_1 olarak belirlenmiştir. İkinci senaryoda yoğun yağışın şev içerisine infiltrasyonu (sızma) ve buna bağlı olarak matris emmesinin azalması dikkate alınmıştır. Bu durumda zemin içerisindeki boşlukların su ile dolması sonucunda efektif gerilmelerin azalması ve dolayısıyla kayma direncinin azalmasıyla güvenlik katsayısının FS_2'ye düşmesi beklenmektedir.
Üçüncü senaryoda ise yoğun yağışa ek olarak yeraltı su seviyesinin yükselmesi dikkate alınmıştır. Bu durum boşluk suyu basıncının maksimum seviyeye ulaşmasını temsil etmekte ve efektif gerilmenin daha fazla azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle en kritik durum FS_3ile ifade edilmiştir. Limit denge kayıpları ve şev göçmesi (heyelan) görülmektedir.

Örnek 3 için durum incelendiğinde genel olarak $FS_1 > FS_2 > FS_3$ ilişkisi beklenmektedir. Özellikle FS_3'ün 1.0 değerine yaklaşması veya altına düşmesi, şevde limit denge kayıpları oluşabileceğini ve kayma/heyelan açısından kritik bir durumun ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Çizelge 2. Örnek Şev Güvenlik Sayısı Senaryoları

Durum	Yağış/ YASS Değişimleri	Güvenlik Katsayısı (GS/FS)
Durum 1	Normal Yağış Koşulları	FS1
Durum 2	Yoğun Yağış	FS2
Durum 3	Maksimum u, Kritik Durum	FS3

Çizelge 2. de oluşturulan senaryoda 1.durumu kuru, yaz dönemini temsil eden yeraltı su seviyesinin en düşük olduğu durum olarak düşünebiliriz. 2.durumu ilkbahar ve sonbahar aylarında görülen yağışlardaki verilerden hareketle yeraltı su seviyesinin yükselmeye başladığı durum olarak ele alındığında son olarak 3. durum ise kış ayları gibi ekstrem, ani ve yoğun yağışların olduğu yeraltı su seviyesinin yüzeylere kadar yükseldiği durumlar olarak analiz edildiğinde de benzer olan FS1<FS2<FS3 ilişkisi görülmektedir.

2.4. Ekstrem Yağışlar

İklim değişikliğine bağlı olarak artış gösteren ani ve yoğun yağışlar çizelge 3'te gösterilmiştir. Ekstrem yağışlar şev güvenliğini tehdit ederek kritik durumlara sebep olmaktadır.

Çizelge 3. İzmir MGM 1938-2026 Yılları İklim İstatistikleri

Dönemler	Uzun Yıllardaki Aylık Yağış Ortalaması (mm/kg)	Son Yıllardaki Ekstrem Yağışlar
Ocak	134.5 mm	2026 Ocak ayı 223.7 mm
Şubat	100.9 mm	2021 ve 2026 yıllarında ortalamanın üzerinde ekstrem sağanaklar
Temmuz	4.2 mm	2026 Temmuz ayında son 66 yılın en yüksek yaz yağışı
Ekim	44.0 mm	2023 Ekim ayında %90 yağış eksikliği ile ekstrem kuraklık
Yıllık Toplam	707.4 mm – 730.5 mm	2025 yılı 432.1 mm ile çok kurak; 2026 yılının ilk 5 ayında 734.6 mm yağış

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

Bu çalışmada, genel olarak İzmir ili özellikle de Bornova çevresinde şev stabilitesine etki eden iklimsel faktörler, sık, yoğun ve kısa süreli yağışlar ile yeraltı suyu seviyesindeki değişimler açısından değerlendirilmiştir. Şev stabilitesine etki eden iklimsel faktörler ele alındığında tek başına yıllık ortalama yağış verileri etki etmez. Bunun yanı sıra yağış şiddeti, süresi, önceki yağış koşulları, zemin geçirgenliği, zeminin mazisi ve yeraltı su seviyesi beraber değerlendirilmelidir. Aynı zamanda iklim değişikliklerinden dolayı sadece ortalama yağış verileri değil ekstrem yoğunluklu yağış verileriyle analiz yapmak ve yeni güvenlik parametreleri gerekli hale gelmiştir. Çalışmada sadece İzmir'in sadece belirli bir bölgesi olan Bornova ilçesi konu edinmiştir fakat il içerisinde farklı jeolojik ve topografik koşullar olması sebebiyle şevlerin iklimsel faktörlere gösterdiği tepkiler bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Çalışma hidrolojik senaryolar ile desteklenerek güvenlik katsayısı modellemeleri yapılmıştır. Stabiliteyi bozan su faktörü kaçınılmaz olduğundan şev iyileştirme yöntemleri geliştirilmelidir. Topografik eğimin %10' dan fazla olduğu görülen Bornova ilçesi için çalışma alanında yapılacak kazılarda kazı sonrası oluşacak şevlerde şev stabilitesi analizleri yapılmalı, stabiliteyi sağlayacak mühendislik önlemleri belirlenmelidir. Kazı şevlerinin ve temel kazı şevlerinin stabilitelerini arttırmak amacıyla inşa edilecek istinat yapısı projelerine drenaj sistemleri dahil edilmeli, istinat yapılarının temelleri ana kayaya oturtulmalıdır.

4. GELECEK ÇALIŞMALAR

Şev başarısızlığına sebep olan ekstrem yağışlar soncunda infiltrasyon artışıyla beraber boşluk suyu basıncı yükselerek efektif gerilme azalmaktadır. Gelecek dönemki çalışmalarda İzmir için belirlenen bölgelerdeki kritik şev kesitleriyle beraber gerçek yağış verileri kullanılarak sayısal analiz sonuçlarının yer aldığı transient şev stabilitesi analizlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu sayede altyapısal planlamalar ve şev destek sistemleriyle ilgili tasarımlarda geleceğe rehberlik edeceği öngörülmektedir.

.

ISBN NR: 978-625-8795-50-9

KAYNAKÇA

[1] Ng, C. W. W., & Shi, Q. (1998). A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage. *Computers and Geotechnics*, *22*(1), 1–28,1998. https://doi.org/10.1016/S0266-352X(97)00036-0 (Erişim tarihi:28/09/2026)

[2]https://www.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/file/DUYURU_KLASORU/evka3sosyalprojemimariyarisma/Evka3ZeminRaporu.pdf
(Erişim tarihi: 28.09.2026)

[3]Batuge, Y., Kuruoğlu, M. ve Eskişar, T. (2023). Bornova (İzmir)'de bir inşaat alanında dinamik zemin davranışı ve sıvılaşma analizleri. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1066-1085. https://doi.org/10.21923/jesd.1311184 (Erişim tarihi: 29/09/2026)

[4] https://www.usgs.gov/water-science-school/science/groundwater-decline-and-depletion
(Erişim tarihi 29/09/2026)

[5] https://tr.linkedin.com/pulse/madencilik-faaliyetlerinde-yeralt%C4%B1-suyu
(Erişim tarihi 25/09/2026)

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EVALUATING THE ROLE OF DIGITAL HEALTH CONSULTATIONS IN IMPROVING PRIMARY CARE ACCESS IN RURAL BAVARIA

Prof. Dr. Markus Hoffmann[1], Dr. Julia Wagner[2]
[1]Ludwig Maximilian University of Munich, Faculty of Medicine, Institute of General Practice and Family Medicine, Munich, Germany
[2]University of Regensburg, Faculty of Medicine, Department of Epidemiology and Preventive Medicine, Regensburg, Germany

ABSTRACT

Rural regions of Germany face a persistent shortage of general practitioners, longer travel distances to specialist services and an ageing population with growing chronic care needs. Digital health consultations, including video appointments, remote monitoring and electronic prescriptions, have been promoted by national policy as a means of narrowing these gaps, yet evidence on their everyday contribution in sparsely populated districts remains limited. This study aimed to evaluate how digital consultations influence access to primary care, continuity of treatment and patient satisfaction in rural Bavaria. A mixed-methods design was adopted, combining a structured survey of adult patients registered with participating rural practices, an analysis of anonymised appointment records and semi-structured interviews with general practitioners, practice nurses and medical assistants. The quantitative component examined waiting times, the proportion of consultations completed remotely and the frequency of avoided journeys, while the qualitative component explored professional experiences, organisational adjustments and perceived limitations. Findings indicated that digital consultations shortened waiting times for routine follow-up, medication reviews and the discussion of laboratory results, and they were particularly valued by working-age patients and informal carers. Older patients and those with limited digital literacy reported greater difficulties, and unstable broadband coverage in several villages restricted video use. Physicians emphasised that remote care worked best within an established doctor–patient relationship and could not replace physical examination for new or complex complaints. Practices that invested in staff training and clear triage protocols achieved smoother integration than those that introduced the technology without preparation. The study concludes that digital consultations can meaningfully strengthen rural primary care when they complement, rather than substitute, face-to-face services. Targeted investment in infrastructure, digital skills support for older residents and appropriate reimbursement structures is recommended to ensure equitable benefits.

Keywords: telemedicine, rural health, primary care, health services accessibility, digital health, Germany

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EXAMINING THE ASSOCIATION BETWEEN FINE PARTICULATE MATTER EXPOSURE AND CHRONIC RESPIRATORY CONDITIONS IN URBAN HAMBURG

Assoc. Prof. Dr. Andreas Fischer[1], Dr. Sabine Krüger[2], Lukas Hartmann[1]
[1]University of Hamburg, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Institute for Occupational and Maritime Medicine, Hamburg, Germany
[2]University of Hamburg, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Department of Pneumology, Hamburg, Germany

ABSTRACT

Air pollution remains one of the most important environmental threats to public health in European cities, and fine particulate matter is recognised as a key contributor to respiratory morbidity. Hamburg, as a major port city with dense road traffic, shipping emissions and industrial activity, offers a distinctive setting in which to examine these relationships. The aim of this study was to investigate the association between long-term exposure to fine particulate matter and the prevalence of chronic respiratory conditions, including asthma, chronic obstructive pulmonary disease and chronic bronchitis, among adult residents of Hamburg. A population-based cross-sectional design was used. Residential exposure was estimated by linking participants' home addresses with modelled pollution data derived from monitoring stations and land-use regression techniques. Health information was obtained through standardised respiratory questionnaires, spirometry and review of medical records. Statistical models were adjusted for age, sex, smoking history, occupational exposure, socioeconomic status and housing characteristics. The results showed that residents living in districts close to the harbour and major traffic corridors experienced higher exposure levels and a greater burden of respiratory symptoms than those living in greener, less congested neighbourhoods. Higher exposure was associated with reduced lung function and an increased likelihood of physician-diagnosed chronic respiratory disease. The association appeared stronger among older adults, people with lower household income and individuals with pre-existing cardiovascular conditions, suggesting the presence of vulnerable subgroups. These findings support the view that particulate pollution contributes to respiratory health inequalities within the city. The study highlights the importance of stricter emission controls for shipping and road transport, expansion of urban green spaces and targeted health surveillance in high-exposure districts as integral elements of urban public health policy.

Keywords: air pollution, particulate matter, respiratory disease, environmental epidemiology, urban health, Hamburg

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DETERMINANTS OF MALARIA INFECTION AND PREVENTIVE PRACTICES AMONG PRIMARY SCHOOL PUPILS IN THE GASH-BARKA REGION OF ERITREA

Dr. Yohannes Ghebremedhin[1], Feven Tekle[2], Assis. Prof. Dr. Daniel Kidane[1]
[1]Orotta College of Medicine and Health Sciences, School of Public Health, Asmara, Eritrea
[2]Asmara College of Health Sciences, School of Allied Health Professions, Department of Clinical Laboratory Sciences, Asmara, Eritrea

ABSTRACT

Malaria continues to be a significant public health concern in the western lowlands of Eritrea, where seasonal rainfall, irrigation activities and population movement create favourable conditions for transmission. School-aged children are an important but often overlooked group, as they may carry asymptomatic infections that affect school attendance, cognitive performance and community transmission. This study aimed to determine the prevalence of malaria infection among primary school pupils in the Gash-Barka region and to identify socioeconomic, environmental and behavioural factors associated with infection and preventive practices. A school-based cross-sectional study was conducted in randomly selected primary schools in both urban and rural settings. Blood samples were examined using rapid diagnostic tests and microscopy, and haemoglobin levels were measured to assess anaemia. A structured questionnaire administered to parents or guardians collected information on household income, parental education, housing construction, proximity to water bodies, ownership and use of insecticide-treated nets and knowledge of malaria transmission. The findings revealed that infection was more common among children living in rural villages, those from households with lower income and those whose homes were located near irrigation canals or seasonal streams. Consistent bed net use and indoor residual spraying were associated with lower infection risk, whereas incorrect beliefs about transmission were linked to poorer preventive practices. Infected pupils were more likely to be anaemic and to report recent school absence. The study demonstrates that malaria among schoolchildren is closely connected to household socioeconomic conditions and environmental exposure. Integrating school-based screening, health education and bed net distribution into existing school health programmes is recommended to strengthen national malaria elimination efforts.

Keywords: malaria, schoolchildren, socioeconomic factors, prevention, insecticide-treated nets, Eritrea

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EFFECTS OF COMMUNITY HEALTH WORKER PROGRAMMES ON ANTENATAL CARE UTILISATION AND NEWBORN SURVIVAL IN RURAL ERITREA

Prof. Dr. Tsegai Woldemariam[1], Dr. Rahel Habte[2]
[1]Orotta College of Medicine and Health Sciences, Department of Obstetrics and Gynaecology, Asmara, Eritrea
[2]Asmara College of Health Sciences, School of Nursing, Department of Midwifery, Asmara, Eritrea

ABSTRACT

Improving maternal and newborn health remains a central priority for Eritrea, particularly in rural and highland communities where distance, limited transport and cultural preferences for home delivery restrict the use of formal health services. Community health worker programmes have been introduced to bridge this gap by providing health education, early pregnancy identification, referral support and postnatal home visits. However, systematic evidence on their contribution to maternal and neonatal outcomes is still scarce. This study aimed to evaluate the effects of community health worker programmes on antenatal care utilisation, facility-based delivery and newborn survival in selected rural districts of Eritrea. A comparative community-based study was conducted in villages served by trained community health workers and in comparable villages without such services. Data were collected through household interviews with women who had given birth within the previous two years, review of health facility registers and focus group discussions with community health workers, midwives and village leaders. The analysis showed that women in intervention villages were more likely to begin antenatal care early, to complete the recommended number of visits and to deliver in a health facility with a skilled birth attendant. Newborns in these communities received earlier postnatal checks, more frequent counselling on exclusive breastfeeding and thermal care, and timelier referral when danger signs appeared. Qualitative findings highlighted the importance of trust, shared language and the involvement of religious and village leaders in changing community attitudes. Challenges included heavy workloads, irregular supplies and limited supervision. The study concludes that community health worker programmes are a highly effective strategy for improving maternal and newborn health and recommends sustained training, supportive supervision and integration within the primary health care system.

Keywords: maternal health, neonatal health, community health workers, antenatal care, rural health, Eritrea

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

HYPERTENSION MANAGEMENT AND CARDIOVASCULAR RISK REDUCTION IN SERBIAN FAMILY MEDICINE PRACTICES: A CROSS-SECTIONAL ANALYSIS

Assoc. Prof. Dr. Dragan Nikolić[1], Dr. Ivana Stanković[2], Prof. Dr. Miloš Đorđević[1], Dr. Tamara Pavlović[3], Aleksandar Radovanović[2]
[1]University of Belgrade, Faculty of Medicine, Institute of Epidemiology, Belgrade, Serbia
[2]University of Niš, Faculty of Medicine, Department of Family Medicine, Niš, Serbia
[3]University of Kragujevac, Faculty of Medical Sciences, Department of Internal Medicine, Kragujevac, Serbia

ABSTRACT

Cardiovascular diseases are the leading cause of death in Serbia, and hypertension represents one of the most common and modifiable risk factors encountered in primary care. Family physicians play a decisive role in detecting elevated blood pressure, initiating treatment and supporting lifestyle change, yet blood pressure control in the population remains unsatisfactory. This study aimed to assess the quality of hypertension management and the implementation of cardiovascular risk reduction strategies in family medicine practices across Serbia. A multicentre cross-sectional study was carried out in primary health care centres located in Belgrade, Niš and Kragujevac. Adult patients with diagnosed hypertension were enrolled during routine visits, and data were collected through structured interviews, clinical measurements and review of medical documentation. The evaluation focused on blood pressure control, prescribed medication, assessment of total cardiovascular risk, lipid and glucose monitoring, and counselling on smoking, diet and physical activity. Family physicians also completed a questionnaire on guideline awareness, perceived barriers and available resources. The results indicated that a substantial share of patients did not achieve target blood pressure, and that formal estimation of overall cardiovascular risk was performed inconsistently. Lifestyle counselling was frequently brief and rarely documented. Poorer control was associated with older age, obesity, low adherence to medication and limited health literacy, while patients followed by physicians who used structured recall systems achieved better outcomes. Physicians identified heavy workloads, short consultation times and lack of support from nurses and dietitians as major obstacles. The study concludes that strengthening team-based care, introducing electronic reminder systems and providing continuous professional education on current guidelines could considerably improve cardiovascular prevention in Serbian primary care.

Keywords: hypertension, cardiovascular prevention, family medicine, primary health care, risk factors, Serbia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

AVAILABILITY AND UTILISATION OF COMMUNITY MENTAL HEALTH SERVICES IN CENTRAL SERBIA

Prof. Dr. Vesna Todorović[1]
[1]University of Kragujevac, Faculty of Medical Sciences, Department of Psychiatry, Kragujevac, Serbia

ABSTRACT

Mental health reform in Serbia has sought to shift care from large psychiatric institutions towards community-based services that support recovery, social inclusion and continuity of treatment. Despite national strategies endorsing this transition, the development of community mental health centres has been uneven, and many people living outside the capital still depend on hospital-based care. This study aimed to evaluate the availability, accessibility and utilisation of community mental health services in Central Serbia and to identify factors that facilitate or hinder their use. A mixed-methods approach was applied. A mapping exercise documented the services provided by public health institutions, including outpatient psychiatric clinics, day hospitals, community mental health centres and non-governmental support programmes. Service users with severe mental disorders and their family members completed structured questionnaires on access, satisfaction and unmet needs, while in-depth interviews were held with psychiatrists, psychologists, nurses, social workers and local health managers. The findings showed that services were concentrated in larger towns, leaving rural municipalities with limited options and long travel distances. Users valued continuity with a familiar clinician and the opportunity for psychosocial rehabilitation, but they frequently reported long waiting periods, insufficient psychotherapy and weak coordination between health and social care. Stigma emerged as a powerful barrier that discouraged help-seeking, particularly among men and younger adults. Professionals highlighted staff shortages, the emigration of trained specialists and unstable funding as major constraints on service expansion. The study concludes that community mental health care in Central Serbia remains fragmented. Expanding multidisciplinary community teams, establishing mobile outreach services for rural areas, strengthening collaboration with social welfare centres and implementing anti-stigma campaigns are recommended to improve access and quality.

Keywords: mental health services, community psychiatry, accessibility, health system reform, stigma, Serbia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

IMMUNIZATION COMPLETENESS AND VACCINE-PREVENTABLE DISEASE BURDEN AMONG PRIMARY SCHOOL CHILDREN IN ALEXANDRIA

Prof. Dr. Hany Abdel-Rahman[1], Dr. Rania Mostafa[2], Ahmed Samir[1]
[1]Alexandria University, High Institute of Public Health, Department of Epidemiology, Alexandria, Egypt
[2]Alexandria University, Faculty of Medicine, Department of Pediatrics, Alexandria, Egypt

ABSTRACT

Childhood immunization is among the most cost-effective public health interventions, and Egypt has achieved high national coverage for routine vaccines over recent decades. Nevertheless, pockets of incomplete or delayed vaccination persist, especially in densely populated urban districts and informal settlements, and these gaps may allow the re-emergence of vaccine-preventable diseases. This study aimed to assess immunization completeness and its relationship with the occurrence of vaccine-preventable infections among primary school children in Alexandria. A school-based cross-sectional study was conducted in public and private primary schools selected from different educational zones of the city. Vaccination status was verified through official vaccination cards and school health records, and information on previous episodes of measles, mumps, varicella, pertussis and hepatitis was obtained from parents and medical files. A structured questionnaire explored household characteristics, parental education, access to health facilities, awareness of the national immunization schedule and attitudes towards vaccines. The results showed that although most children had received the primary series of vaccines, a notable proportion had missed booster doses or had received them later than recommended. Incomplete immunization was more common among children from informal neighbourhoods, larger families and households in which mothers had lower educational attainment. Children with incomplete records were more likely to have experienced vaccine-preventable infections, particularly mumps and varicella. Parental concerns about side effects, misinformation circulating on social media and missed school-entry checks were identified as important contributing factors. The study concludes that strengthening school-entry vaccination verification, organising catch-up campaigns within schools and providing targeted health education for parents are essential to sustain high coverage and protect children from preventable diseases.

Keywords: immunization, vaccination coverage, vaccine-preventable diseases, school health, children, Egypt

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FACTORS INFLUENCING BREAST AND CERVICAL CANCER SCREENING UPTAKE AMONG EGYPTIAN WOMEN: A HOSPITAL-BASED STUDY

Assis. Prof. Dr. Dina Abdelaziz[1], Prof. Dr. Khaled Mansour[2], Dr. Yasmin Farouk[1], Dr. Omar Shawky[3]

[1]Ain Shams University, Faculty of Medicine, Department of Community, Environmental and Occupational Medicine, Cairo, Egypt

[2]Mansoura University, Faculty of Medicine, Oncology Center, Mansoura, Egypt

[3]Cairo University, Faculty of Medicine, Department of Obstetrics and Gynecology, Cairo, Egypt

ABSTRACT

Breast and cervical cancers are major causes of morbidity and mortality among women in Egypt, and a considerable proportion of cases are diagnosed at advanced stages when treatment options are limited and outcomes are poor. Organised screening programmes and national initiatives promoting early detection have expanded in recent years, yet participation among women remains lower than desired. This study aimed to identify the personal, social and health system factors that influence the uptake of breast and cervical cancer screening among Egyptian women attending university hospitals. A hospital-based cross-sectional study was conducted in outpatient clinics of university hospitals in Cairo and Mansoura. Eligible women were interviewed using a validated questionnaire covering sociodemographic characteristics, knowledge of cancer risk factors and warning signs, previous screening behaviour, perceived susceptibility, perceived barriers and sources of health information. In-depth interviews with a subgroup of participants and with healthcare providers were used to further explore cultural and organisational influences. The findings revealed that awareness of breast self-examination was relatively widespread, whereas knowledge of cervical screening and its purpose was considerably lower. Screening participation was associated with higher educational level, urban residence, employment and a recommendation from a physician. Fear of a cancer diagnosis, embarrassment, preference for a female examiner, the cost of transportation and the belief that screening is unnecessary in the absence of symptoms were frequently reported barriers. Providers noted that busy clinics and the lack of systematic invitation procedures reduced opportunities for counselling. The study concludes that improving women's participation requires culturally sensitive health education, the involvement of female health professionals, routine provider recommendation and the integration of screening services into maternal and family health clinics.

Keywords: breast cancer, cervical cancer, cancer screening, women's health, health behaviour, Egypt

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

GENOTYPIC DETECTION OF VIRULENCE GENES AND MULTIDRUG RESISTANCE IN ESCHERICHIA COLI RECOVERED FROM BOVINE MASTITIS CASES

Dr. Reza Karimi[1], Zahra Moradi[1], Prof. Dr. Hamid Reza Ahmadi[2]
[1]University of Tehran, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Microbiology and Immunology, Tehran, Iran
[2]Shiraz University, School of Veterinary Medicine, Department of Pathobiology, Shiraz, Iran

ABSTRACT

Escherichia coli is one of the principal environmental pathogens responsible for clinical mastitis in dairy cattle, causing substantial economic losses through reduced milk yield, discarded milk, treatment costs and premature culling. The intensive use of antimicrobials in dairy farming has raised concern about the emergence of resistant strains that may compromise animal treatment and pose risks to public health through the food chain. This study aimed to characterise virulence-associated genes and antimicrobial resistance profiles of Escherichia coli isolates recovered from cows with clinical mastitis in industrial and semi-industrial dairy herds in Iran. Milk samples were collected aseptically from affected quarters, and isolates were identified using conventional bacteriological and biochemical methods, with confirmation by polymerase chain reaction. Antimicrobial susceptibility was determined by the disc diffusion method against antibiotics commonly used in veterinary practice. Molecular assays were applied to detect genes encoding adhesins, toxins and iron acquisition systems, together with genes conferring resistance to beta-lactams, tetracyclines, aminoglycosides and sulphonamides. Phylogenetic grouping was also performed to explore the genetic diversity of the isolates. The results revealed a high frequency of resistance to tetracycline, ampicillin and streptomycin, while most isolates remained susceptible to several newer agents. A notable proportion of isolates displayed multidrug resistance, and extended-spectrum beta-lactamase genes were detected in some strains. Several virulence genes were frequently identified, and their presence was more common in isolates associated with severe clinical signs. The findings suggest that mastitis-associated Escherichia coli in Iranian dairy herds constitute a reservoir of resistance and virulence determinants. Prudent antimicrobial use, routine susceptibility testing before treatment and improved milking hygiene are strongly recommended to limit the spread of resistant bacteria.

Keywords: Escherichia coli, bovine mastitis, antimicrobial resistance, virulence genes, dairy cattle, Iran

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SEROPREVALENCE AND ASSOCIATED RISK FACTORS OF TOXOPLASMA GONDII INFECTION IN SHEEP AND GOATS IN FARS PROVINCE

Assis. Prof. Dr. Leila Jafari[1], Dr. Ali Asghari[2]
[1]Shiraz University, School of Veterinary Medicine, Department of Pathobiology, Shiraz, Iran
[2]Shiraz University of Medical Sciences, School of Medicine, Department of Parasitology and Mycology, Shiraz, Iran

ABSTRACT

Toxoplasmosis is a widespread zoonotic parasitic disease caused by Toxoplasma gondii, an obligate intracellular protozoan capable of infecting almost all warm-blooded animals. In small ruminants, infection is a major cause of abortion, stillbirth and neonatal loss, and the consumption of undercooked meat or unpasteurised milk from infected animals represents an important route of human exposure. Fars Province, with its large sheep and goat populations and traditional pastoral systems, provides an important setting for investigating this parasite. The present study aimed to determine the seroprevalence of Toxoplasma gondii infection in sheep and goats and to identify management and environmental factors associated with infection. Blood samples were collected from animals of different ages and sexes in nomadic, semi-nomadic and sedentary flocks across several districts of the province. Sera were tested for specific antibodies using an enzyme-linked immunosorbent assay, and positive samples were confirmed by a modified agglutination test. A questionnaire administered to flock owners recorded information on flock size, grazing practices, water sources, presence of cats on the farm, disposal of aborted materials and history of reproductive failure. The results demonstrated that antibodies were widely distributed in both species, with higher seropositivity in goats than in sheep. Infection was more frequent in older animals, in flocks with free-roaming cats and in herds using open surface water. A significant association was observed between seropositivity and a history of abortion in the flock. The study confirms that Toxoplasma gondii is endemic among small ruminants in the region and poses risks to both animal productivity and public health. Control of cat populations around farms, safe disposal of foetal membranes and public education on food hygiene are recommended.

Keywords: toxoplasmosis, Toxoplasma gondii, sheep, goats, seroprevalence, zoonosis, Iran

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

CLINICAL OUTCOMES OF INTERNAL FIXATION TECHNIQUES FOR LONG BONE FRACTURES IN POLICE AND SERVICE DOGS

Prof. Dr. Dejan Lazarević[1], Dr. Milica Janković[1], Assis. Prof. Dr. Vladimir Popović[2]
[1]University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Surgery, Orthopaedics and Ophthalmology, Belgrade, Serbia
[2]University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Veterinary Medicine, Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

Police, military and other service dogs perform physically demanding tasks that expose them to a high risk of traumatic injury, including fractures of the long bones. Because these animals must return to a level of function that allows them to work safely and effectively, the choice of surgical technique and the quality of postoperative rehabilitation are of particular importance. This clinical study aimed to evaluate and compare the outcomes of different internal fixation techniques used for the treatment of long bone fractures in working dogs referred to a university veterinary hospital in Serbia. Dogs presenting with fractures of the femur, tibia, humerus and radius were included, and each case was documented with respect to the cause of injury, fracture configuration, time to surgery and associated soft tissue damage. Fractures were stabilised using bone plates and screws, interlocking nails or intramedullary pins combined with cerclage wire, according to fracture type and surgeon judgement. Postoperative assessment included serial radiographic evaluation of bone healing, orthopaedic examination, gait analysis and owner or handler questionnaires on return to duty. Complications such as implant loosening, infection, delayed union and malunion were recorded throughout the follow-up period. The results indicated that plate fixation and interlocking nails provided stable fixation and allowed earlier weight bearing, particularly in comminuted fractures, whereas pin and wire techniques were associated with more frequent complications in heavier dogs. Structured physiotherapy programmes contributed to faster recovery of muscle mass and joint mobility. Most of the treated dogs regained sufficient function to resume operational work. The study concludes that rigid internal fixation combined with early, supervised rehabilitation offers the most favourable outcomes for working dogs with long bone fractures.

Keywords: fracture repair, internal fixation, working dogs, veterinary orthopaedics, rehabilitation, Serbia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SEROLOGICAL SURVEILLANCE OF BRUCELLA INFECTION IN CATTLE, SHEEP AND OCCUPATIONALLY EXPOSED FARM WORKERS IN VOJVODINA

Dr. Branislav Kovačević[1], Assoc. Prof. Dr. Snežana Simić[2]
[1]Scientific Veterinary Institute Novi Sad, Department of Epizootiology, Novi Sad, Serbia
[2]University of Novi Sad, Faculty of Medicine, Department of Infectious Diseases, Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

Brucellosis is one of the most widespread bacterial zoonoses worldwide, causing reproductive losses in livestock and a chronic, debilitating febrile illness in humans. Although Serbia has implemented control and eradication programmes, sporadic outbreaks continue to be reported, particularly in regions where small ruminants are kept in traditional systems and animal movements are not fully controlled. Vojvodina, as the country's principal agricultural region, is a key area for monitoring the interface between animal and human infection. This study aimed to assess the serological status of Brucella infection in cattle and sheep and among farm workers and other occupationally exposed individuals in Vojvodina, adopting a One Health perspective. Serum samples were collected from cattle and sheep on randomly selected farms and tested using the Rose Bengal test, with confirmation by complement fixation and enzyme-linked immunosorbent assay. In parallel, blood samples were obtained from farmers, veterinarians, slaughterhouse staff and dairy workers, who also completed questionnaires on working practices, use of protective equipment, consumption of raw milk and unpasteurised cheese, and history of compatible symptoms. The findings showed that seropositive animals were mainly detected in sheep flocks with uncontrolled trade and shared grazing, whereas cattle herds under official surveillance were largely free of infection. Among humans, seropositivity was associated with assisting at births or abortions without gloves and with the consumption of homemade dairy products. Many participants had limited awareness of the disease and its transmission routes. The study confirms that small ruminants remain the main source of zoonotic risk. Strengthening surveillance of sheep and goat flocks, controlling animal movement, promoting protective practices and coordinating veterinary and public health services are recommended.

Keywords: brucellosis, zoonosis, One Health, livestock, occupational exposure, serology, Serbia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MOLECULAR DETECTION AND RISK FACTORS OF CANINE PARVOVIRUS INFECTION IN DOGS PRESENTED TO VETERINARY CLINICS IN SOUTHEASTERN NIGERIA

Dr. Emeka Nwankwo[1], Assoc. Prof. Dr. Ngozi Okonkwo[1], Ifeanyi Obi[2], Dr. Adaeze Chukwu[2]

[1]University of Nigeria, Nsukka, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Pathology and Microbiology, Nsukka, Nigeria

[2]Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, College of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Medicine, Umudike, Nigeria

ABSTRACT

Canine parvovirus is a highly contagious viral pathogen that causes severe haemorrhagic gastroenteritis, dehydration and high mortality, particularly in young and unvaccinated dogs. In Nigeria, the rapid growth of dog ownership for security, companionship and breeding purposes, combined with irregular vaccination and frequent movement of puppies through informal markets, has favoured the persistence of the virus. This study aimed to detect canine parvovirus infection using molecular techniques and to identify risk factors associated with infection among dogs presented to veterinary clinics in southeastern Nigeria. Rectal swabs and faecal samples were collected from dogs showing signs of gastroenteritis as well as from apparently healthy dogs attending clinics in Enugu, Abia and Anambra States. Samples were screened using rapid antigen tests and confirmed by polymerase chain reaction, and selected positive samples were sequenced to identify circulating viral variants. Information on age, breed, sex, vaccination history, housing, source of acquisition and contact with other dogs was obtained through structured questionnaires administered to owners. The results showed that infection was most common in puppies, in local and cross-bred dogs and in animals that had not completed the recommended vaccination schedule. Dogs purchased from open markets or kept in free-roaming conditions were at higher risk. Sequencing revealed the circulation of newer antigenic variants, raising concerns about the protection offered by some commercially available vaccines. Many owners were unaware of the need for booster doses. The study concludes that canine parvovirus remains a serious threat to dog health in the region. Regular vaccination, owner education, improved regulation of puppy trade and continued molecular surveillance of circulating strains are recommended.

Keywords: canine parvovirus, molecular epidemiology, dogs, vaccination, risk factors, Nigeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

PREVALENCE OF BABESIA, ANAPLASMA AND THEILERIA INFECTIONS IN WHITE FULANI CATTLE AND ASSOCIATED PRODUCTION LOSSES

Prof. Dr. Abubakar Sani[1]
[1]Ahmadu Bello University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Parasitology and Entomology, Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Tick-borne haemoparasitic diseases are among the most important constraints to cattle production in sub-Saharan Africa, contributing to anaemia, weight loss, reduced milk yield, abortion and mortality. In northern Nigeria, White Fulani cattle are kept mainly under pastoral and agro-pastoral systems in which extensive grazing, seasonal migration and limited acaricide use favour heavy tick infestation. Despite their economic significance, the combined impact of haemoparasitic infections on productivity in these herds remains poorly documented. This study aimed to determine the prevalence of Babesia, Anaplasma and Theileria infections in White Fulani cattle and to evaluate their association with milk production and body condition. Blood samples were collected from lactating cows in pastoral settlements and peri-urban dairy herds in Kaduna and Kano States. Thin blood smears stained with Giemsa were examined by microscopy, and polymerase chain reaction was used to improve detection and to identify parasite species. Packed cell volume was measured to assess anaemia, and ticks collected from the animals were identified to genus level. Daily milk yield, body condition score and herd management practices were recorded through direct observation and interviews with herders. The findings revealed that single and mixed infections were common, with Anaplasma being the most frequently detected parasite. Infected cows showed lower packed cell volume, poorer body condition and noticeably reduced milk yield compared with uninfected animals, and mixed infections produced the most severe effects. Infection was more frequent during the rainy season and in herds that rarely applied acaricides. The study demonstrates that tick-borne haemoparasites cause significant hidden production losses. Strategic tick control, routine screening and improved access to veterinary services are recommended.

Keywords: tick-borne diseases, haemoparasites, Babesia, Anaplasma, Theileria, dairy cattle, Nigeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN COMMERCIAL LAYER FARMS AND FARM WORKERS

Dr. Oluwaseun Adeyemi[1], Dr. Babatunde Ogunleye[2], Assis. Prof. Dr. Funmilayo Adebayo[1], Kehinde Akinola[2], Prof. Dr. Olufemi Ajayi[1]
[1]University of Ibadan, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Microbiology, Ibadan, Nigeria
[2]Federal University of Agriculture, Abeokuta, College of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Public Health and Reproduction, Abeokuta, Nigeria

ABSTRACT

Methicillin-resistant Staphylococcus aureus is a major public health concern because of its resistance to beta-lactam antibiotics and its capacity to cause infections that are difficult to treat. Livestock-associated strains have been increasingly reported worldwide, and poultry production systems may serve as reservoirs from which resistant bacteria spread to farm workers, the environment and the food chain. In Nigeria, the expansion of commercial egg production has been accompanied by widespread and often unregulated use of antimicrobials. This study aimed to determine the prevalence and antimicrobial susceptibility of methicillin-resistant Staphylococcus aureus in commercial layer farms and among workers in southwestern Nigeria. Samples were collected from chicken cloacae and skin, litter, feeders, drinkers and farm surfaces, together with nasal swabs from farm workers who provided informed consent. Isolates were identified using standard bacteriological methods, and methicillin resistance was confirmed by cefoxitin disc testing and polymerase chain reaction detection of the mecA gene. Susceptibility to a panel of commonly used antibiotics was determined by the disc diffusion method, and selected isolates were subjected to molecular typing to assess genetic relatedness between animal and human strains. Information on antimicrobial use, biosecurity and hygiene practices was gathered through farm questionnaires. The results showed that resistant isolates were present on many farms and in a proportion of workers, with high levels of resistance to tetracyclines, penicillins and sulphonamides. Several isolates were multidrug resistant, and closely related strains were identified in birds and workers from the same farms, suggesting transmission. The study highlights layer farms as potential hotspots for resistant bacteria. Responsible antimicrobial use, stronger biosecurity and integrated One Health surveillance are urgently recommended.

Keywords: MRSA, Staphylococcus aureus, antimicrobial resistance, poultry, layer farms, One Health, Nigeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

RECENT DEVELOPMENTS IN THE DESIGN AND SYNTHESIS OF HETEROCYCLIC SCAFFOLDS FOR DRUG DISCOVERY

Prof. Dr. Vugar Mammadov, Assoc. Prof. Dr. Leyla Hasanova, Nigar Guliyeva
Baku State University, Faculty of Chemistry, Department of Organic Chemistry, Baku, Azerbaijan
Azerbaijan Medical University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

Heterocyclic compounds occupy a central position in medicinal chemistry, as nitrogen, oxygen and sulphur containing ring systems form the structural core of a large proportion of approved drugs. Their ability to engage in hydrogen bonding, to modulate lipophilicity and to present substituents in well-defined spatial orientations makes them particularly valuable for interacting with biological targets. This study presents recent developments in the design and synthesis of functionalised heterocyclic scaffolds with potential pharmaceutical applications, with particular attention to efficient, selective and environmentally responsible synthetic strategies. A series of pyrazole, triazole, thiazole and quinazoline derivatives was prepared using multicomponent reactions, microwave-assisted cyclisation and transition metal catalysed carbon–nitrogen bond formation. Reaction conditions were optimised with respect to solvent, catalyst loading, temperature and reaction time in order to improve yields and minimise by-products. The structures of the synthesised compounds were confirmed by nuclear magnetic resonance spectroscopy, infrared spectroscopy, mass spectrometry and elemental analysis, and single crystal X-ray diffraction was used for selected derivatives. Molecular docking studies were carried out to predict interactions with enzymes involved in inflammation and microbial growth, and in vitro screening was performed to evaluate antibacterial, antifungal and antioxidant activities. The results showed that the multicomponent approach provided rapid access to structurally diverse libraries under mild conditions, while microwave irradiation substantially shortened reaction times. Several derivatives bearing electron-withdrawing substituents displayed promising antimicrobial activity, and docking results were broadly consistent with the experimental findings, highlighting key structure–activity relationships. The study demonstrates that rational scaffold design combined with sustainable synthetic methods can accelerate the discovery of new bioactive molecules. Further optimisation, toxicity assessment and pharmacokinetic studies are recommended to advance the most promising candidates.

Keywords: heterocyclic compounds, organic synthesis, medicinal chemistry, multicomponent reactions, molecular docking

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EVALUATION OF ZEOLITE-BASED CATALYSTS FOR SELECTIVE HYDROCARBON CRACKING IN PETROCHEMICAL REFINING

Dr. Kamran Huseynov, Aysel Abbasova, Assoc. Prof. Dr. Farid Ismayilov, Dr. Gunel Babayeva
Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after M. Nagiyev, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Chemical Technology, Department of Petrochemical Technology and Industrial Ecology, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

Catalytic cracking is one of the most important processes in modern petroleum refining, converting heavy hydrocarbon fractions into lighter and more valuable products such as gasoline, light olefins and liquefied gases. Zeolites are the principal active components of cracking catalysts because of their strong acidity, well-defined microporous structure and shape selectivity. However, rapid deactivation by coke deposition, diffusion limitations for bulky molecules and limited selectivity towards desired products remain significant challenges for industrial operation. This study aimed to evaluate the catalytic performance of modified zeolite-based catalysts in the selective cracking of hydrocarbon feedstocks relevant to Azerbaijani refineries. Catalysts based on Y-type and ZSM-5 zeolites were prepared and modified through dealumination, ion exchange with rare earth and alkaline earth metals, and the introduction of mesoporosity by controlled desilication. The materials were characterised using X-ray diffraction, nitrogen adsorption–desorption, ammonia temperature-programmed desorption, pyridine infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. Catalytic tests were carried out in a fixed-bed microreactor using vacuum gas oil and model compounds under conditions simulating industrial operation, and product distributions were analysed by gas chromatography. The results demonstrated that hierarchical zeolites with balanced acidity provided improved access of large molecules to active sites, enhanced conversion and greater selectivity towards light olefins. Rare earth exchange increased hydrothermal stability, while moderate dealumination reduced excessive hydrogen transfer reactions and slowed coke formation. Regeneration experiments confirmed that the modified catalysts retained much of their activity after repeated cycles. The study concludes that tailoring the pore architecture and acid properties of zeolites offers an effective route to more selective and durable cracking catalysts, with clear potential benefits for refinery efficiency and product quality.

Keywords: zeolites, catalytic cracking, heterogeneous catalysis, petrochemical refining, hierarchical porosity, light olefins

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FABRICATION OF COVALENT ORGANIC FRAMEWORKS FOR THE ADSORPTIVE REMOVAL OF DYES AND PHARMACEUTICAL POLLUTANTS FROM WASTEWATER

Prof. Dr. Ioana Dumitrescu, Dr. Mihai Constantin
Babeș-Bolyai University, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Cluj-Napoca, Romania

ABSTRACT

The contamination of surface waters and industrial effluents with synthetic dyes and pharmaceutical residues represents a growing environmental concern, since many of these compounds are persistent, toxic and poorly removed by conventional treatment processes. Adsorption is regarded as a simple and economical remediation technique, but its efficiency depends strongly on the properties of the adsorbent material. Covalent organic frameworks are crystalline porous polymers constructed from light elements through strong covalent bonds, offering high surface area, tunable pore size and abundant functional groups. This study aimed to fabricate and evaluate covalent organic frameworks for the adsorptive removal of representative dyes and pharmaceutical pollutants from aqueous solutions. Imine-linked and β-ketoenamine-linked frameworks were synthesised by solvothermal and mechanochemical methods, and selected materials were post-synthetically functionalised with carboxylic and sulfonic groups to enhance their affinity towards cationic species. The frameworks were characterised by powder X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, solid-state nuclear magnetic resonance, thermogravimetric analysis and gas sorption measurements. Batch adsorption experiments were conducted using methylene blue, rhodamine B, tetracycline and diclofenac, examining the influence of pH, contact time, initial concentration, temperature and coexisting ions. Kinetic and isotherm models were applied to elucidate the adsorption mechanism. The results showed that the frameworks maintained high crystallinity and chemical stability in water, and functionalised materials displayed rapid uptake and high adsorption capacity. Electrostatic interactions, hydrogen bonding and π–π stacking were identified as the dominant mechanisms. The adsorbents could be regenerated with mild solvents and reused over several cycles with only minor loss of performance. The study demonstrates that rationally designed covalent organic frameworks are promising materials for sustainable wastewater treatment.

Keywords: covalent organic frameworks, adsorption, wastewater treatment, dyes, pharmaceutical pollutants, environmental remediation

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MECHANISTIC AND KINETIC INVESTIGATION OF PALLADIUM-CATALYZED CROSS-COUPLING REACTIONS IN GREEN SOLVENTS

Assoc. Prof. Dr. Andrei Stoica, Elena Vasilescu, Dr. Tamar Beridze
University of Bucharest, Faculty of Chemistry, Department of Organic Chemistry, Biochemistry and Catalysis, Bucharest, Romania
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Faculty of Exact and Natural Sciences, Department of Chemistry, Tbilisi, Georgia

ABSTRACT

Palladium-catalysed cross-coupling reactions are among the most powerful tools for constructing carbon–carbon and carbon–heteroatom bonds and are widely applied in the synthesis of pharmaceuticals, agrochemicals and functional materials. Conventional protocols, however, frequently depend on toxic and volatile organic solvents, which contribute substantially to the environmental footprint of chemical manufacturing. The replacement of these solvents with greener alternatives requires a clear understanding of how the reaction medium affects catalytic activity, selectivity and mechanism. This study aimed to investigate the kinetics and mechanism of Suzuki–Miyaura and Heck coupling reactions performed in environmentally benign solvents, including water, ethanol, cyclopentyl methyl ether, 2-methyltetrahydrofuran and deep eutectic solvents. Model reactions between aryl halides and arylboronic acids or alkenes were monitored using in situ infrared spectroscopy, gas chromatography and nuclear magnetic resonance spectroscopy. The influence of temperature, catalyst precursor, ligand structure, base and substrate concentration was examined, and activation parameters were derived from Eyring analysis. Mechanistic insight was obtained from reaction progress kinetic analysis, kinetic isotope effects, mercury poisoning tests and density functional theory calculations. The results indicated that the nature of the solvent strongly influenced the rate-determining step, shifting it between oxidative addition and transmetalation depending on polarity and hydrogen-bonding ability. Aqueous and deep eutectic media stabilised catalytically active palladium species and suppressed the formation of inactive palladium black, leading to improved turnover. Evidence also suggested that soluble nanoparticles contributed to catalysis under certain conditions. The study concludes that green solvents can match or exceed the performance of conventional media when reaction conditions are rationally selected, supporting the development of cleaner and more sustainable coupling processes.

Keywords: palladium catalysis, cross-coupling, reaction kinetics, green solvents, reaction mechanism, sustainable chemistry

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DEVELOPMENT OF CHITOSAN-BASED BIODEGRADABLE SCAFFOLDS FOR TISSUE ENGINEERING APPLICATIONS

Dr. Levan Gelashvili
Georgian Technical University, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, Department of Chemical and Biological Technologies, Tbilisi, Georgia

ABSTRACT

The design of biodegradable materials that support cell growth while gradually degrading in the body is a central goal of tissue engineering and regenerative medicine. Natural polymers are attractive for this purpose because of their biocompatibility and similarity to components of the extracellular matrix. Chitosan, a polysaccharide derived from the deacetylation of chitin, offers intrinsic antibacterial activity, low immunogenicity and abundant reactive groups that allow chemical modification. Nevertheless, its relatively weak mechanical properties and uncontrolled degradation limit its direct application in load-bearing or long-term medical devices. This study aimed to develop and characterise chitosan-based composite scaffolds with improved mechanical stability and controlled biodegradation for tissue engineering applications. Scaffolds were fabricated by freeze-drying and electrospinning techniques, combining chitosan with gelatin, polycaprolactone and nanohydroxyapatite, and were crosslinked using genipin as a less toxic alternative to conventional crosslinkers. The resulting materials were characterised by scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction and thermal analysis. Porosity, swelling behaviour, compressive strength and enzymatic degradation were evaluated, and biological performance was assessed through cytotoxicity, adhesion and proliferation tests using fibroblast and osteoblast-like cells. The results showed that the composite scaffolds possessed interconnected porous structures suitable for cell infiltration and nutrient transport. The incorporation of polycaprolactone and nanohydroxyapatite enhanced mechanical strength and slowed degradation, while genipin crosslinking improved structural integrity without compromising cell viability. Cells adhered well to the scaffold surfaces and proliferated steadily, indicating favourable biocompatibility. The study concludes that chitosan-based composites provide a versatile platform for engineering biodegradable scaffolds, and further in vivo investigations are recommended to confirm their suitability for bone and soft tissue regeneration.

Keywords: chitosan, biopolymers, tissue engineering, biodegradable scaffolds, biomaterials, medical devices

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

VOLTAMMETRIC SENSORS BASED ON MODIFIED CARBON ELECTRODES FOR TRACE DETERMINATION OF LEAD AND CADMIUM IN NATURAL WATERS

Assoc. Prof. Dr. Nino Kiknadze, Ketevan Japaridze
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Faculty of Exact and Natural Sciences,
Department of Analytical Chemistry, Tbilisi, Georgia

ABSTRACT

Heavy metal ions such as lead and cadmium are highly toxic even at very low concentrations and can accumulate in the human body through contaminated drinking water, causing neurological, renal and developmental disorders. Reliable monitoring of these contaminants is therefore essential for public health protection. Conventional analytical techniques, including atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry, offer high sensitivity but require expensive instrumentation, trained personnel and laboratory conditions. Electrochemical methods provide a promising alternative because of their simplicity, low cost, portability and suitability for on-site analysis. This study aimed to develop sensitive and selective voltammetric sensors based on modified carbon electrodes for the simultaneous determination of trace lead and cadmium in natural and drinking waters from Georgia. Glassy carbon and screen-printed carbon electrodes were modified with bismuth films, reduced graphene oxide and conductive polymer composites in order to replace toxic mercury electrodes while improving electron transfer. The modified surfaces were characterised by scanning electron microscopy, cyclic voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy. Square-wave anodic stripping voltammetry was employed, and experimental parameters such as deposition potential, deposition time, pH and supporting electrolyte composition were systematically optimised. Interference from common ions and organic matter was evaluated, and the method was validated by comparison with a reference spectrometric technique. The results showed that the bismuth and graphene modified electrodes produced well-separated and sharp stripping peaks for both metals, with low detection limits, good reproducibility and stable performance over repeated measurements. Analysis of spring, river and tap water samples gave results in good agreement with the reference method. The study concludes that the proposed sensors are reliable, environmentally friendly tools for routine water quality monitoring.

Keywords: electrochemical sensors, stripping voltammetry, heavy metals, lead, cadmium, drinking water analysis

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

HYDROTHERMAL LIQUEFACTION OF AGRICULTURAL RESIDUES INTO BIO-OIL USING NICKEL- AND COBALT-BASED CATALYSTS

Dr. Bereket Haile, Meron Alemayehu, Assis. Prof. Dr. Dawit Bekele
Addis Ababa University, College of Natural and Computational Sciences, Department of Chemistry, Addis Ababa, Ethiopia
Adama Science and Technology University, School of Applied Natural Science, Department of Applied Chemistry, Adama, Ethiopia

ABSTRACT

The transition towards renewable energy sources has stimulated considerable interest in converting lignocellulosic biomass into liquid fuels. In Ethiopia, large quantities of agricultural residues such as teff straw, maize stover, coffee husk and sugarcane bagasse are generated annually and are often burned or left unused. Hydrothermal liquefaction offers an attractive route for transforming such wet biomass into bio-oil without energy-intensive drying, as water at elevated temperature and pressure acts as both solvent and reactant. However, the bio-oil obtained without catalysts often has high oxygen content, high viscosity and low heating value, limiting its direct use as fuel. This study aimed to investigate the catalytic hydrothermal liquefaction of locally available agricultural residues using supported nickel and cobalt catalysts to enhance bio-oil yield and quality. Catalysts were prepared by wet impregnation on alumina, activated carbon and zeolite supports and were characterised by X-ray diffraction, nitrogen physisorption, hydrogen temperature-programmed reduction and transmission electron microscopy. Liquefaction experiments were conducted in a stainless steel batch reactor under subcritical water conditions, varying temperature, residence time, biomass-to-water ratio and catalyst loading. The products were separated into bio-oil, aqueous phase, solid residue and gas, and the bio-oil was analysed by elemental analysis, gas chromatography–mass spectrometry and calorific measurements. The results showed that the catalysts considerably increased bio-oil yield compared with non-catalytic runs and promoted deoxygenation and hydrogenation reactions, producing oils with lower oxygen content and higher heating value. Nickel catalysts on zeolite exhibited the highest activity, while cobalt catalysts showed greater resistance to sintering. Catalyst reuse tests indicated gradual deactivation caused by carbon deposition. The study concludes that catalytic hydrothermal liquefaction is a promising strategy for valorising agricultural residues into sustainable biofuels.

Keywords: hydrothermal liquefaction, biomass, bio-oil, biofuels, transition metal catalysts, Ethiopia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MICROSTRUCTURE AND THERMAL STABILITY OF CERAMIC-REINFORCED ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE COMPONENTS

Prof. Dr. Firuz Saidov, Dr. Zarina Nazarova
Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi, Faculty of Metallurgy and Materials Science, Dushanbe, Tajikistan
Institute of Chemistry named after V. I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, Laboratory of Metallic Materials, Dushanbe, Tajikistan

ABSTRACT

Aluminium matrix composites reinforced with ceramic particles combine the low density and good formability of aluminium alloys with the high stiffness, hardness and thermal resistance of ceramics. These characteristics make them attractive candidates for aerospace components such as brake systems, engine parts and structural elements that must operate under elevated temperatures. Nevertheless, the performance of such composites depends strongly on the distribution of reinforcement, the quality of the matrix–reinforcement interface and the stability of the microstructure during prolonged thermal exposure. This study aimed to investigate the microstructure, mechanical properties and thermal stability of aluminium matrix composites reinforced with silicon carbide, alumina and titanium diboride particles. The composites were produced by stir casting and powder metallurgy routes, and the effects of reinforcement type, particle size and volume fraction were examined. Microstructural characterisation was carried out using optical microscopy, scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy, transmission electron microscopy and X-ray diffraction. Hardness, tensile strength and wear resistance were measured at room and elevated temperatures, and thermal stability was evaluated through prolonged isothermal exposure, thermal cycling and dilatometric analysis. The results showed that powder metallurgy produced a more uniform distribution of reinforcement and fewer pores than stir casting. Titanium diboride particles formed clean, well-bonded interfaces and contributed to significant grain refinement, resulting in superior strength retention at high temperature. Silicon carbide reinforced composites exhibited excellent wear resistance but showed interfacial reaction products after extended exposure, which reduced ductility. Thermal cycling caused limited microcracking in composites with coarse particles. The study concludes that careful selection of reinforcement and processing route enables the production of thermally stable aluminium composites suitable for demanding aerospace applications.

Keywords: metal matrix composites, aluminium alloys, ceramic reinforcement, thermal stability, microstructure, aerospace materials

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SYNTHESIS OF DOPED TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES FOR VISIBLE-LIGHT PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC CONTAMINANTS

Dr. Nilufar Rahimova, Assoc. Prof. Dr. Jamshed Safarov
Tajik National University, Faculty of Chemistry, Department of Physical and Colloid Chemistry, Dushanbe, Tajikistan

ABSTRACT

Photocatalysis using semiconductor materials is recognised as an environmentally friendly technology for the degradation of organic pollutants in water, as it can convert harmful compounds into harmless products using light energy. Titanium dioxide is the most widely studied photocatalyst because of its chemical stability, non-toxicity and low cost. Its wide band gap, however, restricts activation mainly to ultraviolet light, which represents only a small part of the solar spectrum, and the rapid recombination of photogenerated charge carriers further limits its efficiency. This study aimed to synthesise doped titanium dioxide nanoparticles with enhanced visible-light activity and to evaluate their performance in the photocatalytic degradation of organic contaminants commonly found in industrial and agricultural wastewater. Nanoparticles were prepared by sol–gel and hydrothermal methods and doped with nitrogen, iron, copper and silver, both individually and in combination. The materials were characterised using X-ray diffraction, Raman spectroscopy, transmission electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, ultraviolet–visible diffuse reflectance spectroscopy and photoluminescence spectroscopy. Photocatalytic activity was assessed through the degradation of phenol, methyl orange and a widely used pesticide under simulated solar and visible light irradiation, and the role of reactive species was examined using radical scavenging experiments. The results demonstrated that doping reduced the effective band gap and extended light absorption into the visible region. Co-doping with nitrogen and silver produced the most active photocatalyst, owing to improved charge separation and surface plasmon effects. Hydroxyl radicals and superoxide radicals were identified as the main species responsible for pollutant degradation. The photocatalysts remained stable and could be easily recovered after repeated cycles of use. The study concludes that rationally doped titanium dioxide nanostructures are effective and practical materials for solar-driven water purification.

Keywords: titanium dioxide, photocatalysis, doping, nanoparticles, visible light, water purification

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

CRYSTAL PLASTICITY AND MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION OF DEFORMATION MECHANISMS IN ULTRAFINE-GRAINED NICKEL-BASED SUPERALLOYS

Prof. Dr. Vikram Nair, Dr. Ananya Gupta, Assis. Prof. Dr. Arjun Kulkarni, Rohan Desai
Indian Institute of Technology Bombay, Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Mumbai, India
Indian Institute of Technology Madras, Department of Mechanical Engineering, Chennai, India

ABSTRACT

Nickel-based superalloys are indispensable in gas turbine engines and power generation systems because they retain high strength, creep resistance and oxidation resistance at elevated temperatures. Refining their grain structure to the ultrafine or nanocrystalline range can further increase strength, but it also changes the dominant deformation mechanisms in ways that are difficult to observe directly through experiments alone. Understanding how grain boundaries, precipitates and dislocations interact across different length scales is therefore essential for designing alloys with an optimal balance of strength and ductility. This study aimed to develop a multiscale modelling framework combining molecular dynamics simulations and crystal plasticity finite element analysis to investigate deformation mechanisms in ultrafine-grained nickel-based superalloys. At the atomic scale, molecular dynamics simulations using embedded-atom potentials examined dislocation nucleation, interactions between dislocations and gamma-prime precipitates, grain boundary sliding and twin formation under various strain rates and temperatures. The resulting information on critical resolved shear stresses and hardening behaviour was used to calibrate a crystal plasticity model, which was then applied to polycrystalline aggregates generated from experimentally measured grain size and texture distributions. Simulated stress–strain responses were validated against experimental tensile and compression data. The results revealed a transition from dislocation-dominated plasticity in larger grains to grain boundary-mediated mechanisms, including sliding and partial dislocation emission, as grain size decreased. Precipitate shearing and looping processes strongly influenced strain hardening, and local stress concentrations at triple junctions were identified as likely sites for damage initiation. The multiscale framework successfully reproduced the experimentally observed size-dependent strength and the reduced tensile ductility observed in the finest grained microstructures. The study demonstrates that linking atomistic and continuum models provides valuable predictive insight for the microstructural design of advanced high-temperature alloys.

Keywords: multiscale modelling, molecular dynamics, crystal plasticity, nickel-based superalloys, ultrafine-grained materials, deformation mechanisms

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FRICTION STIR WELDING OF ALUMINIUM AND COPPER ALLOYS: MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND MECHANICAL PROPERTIES

Assoc. Prof. Dr. Karthik Subramanian, Dr. Priya Menon, Dr. Natalia Volkova
Indian Institute of Science, Department of Materials Engineering, Bengaluru, India
Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Mechanical Engineering Technologies, Department of Welding Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

Joining dissimilar metals such as aluminium and copper is of great interest for electrical, automotive and thermal management applications, as it allows designers to combine the light weight of aluminium with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. Conventional fusion welding of these metals is problematic because of large differences in melting point and thermal properties and the formation of brittle intermetallic compounds. Friction stir welding, a solid-state joining process, offers a promising alternative since it operates below the melting temperature and reduces defects associated with solidification. This study aimed to investigate the influence of process parameters on microstructural evolution and mechanical properties of friction stir welded aluminium and copper alloy joints. Sheets were joined using various tool rotational speeds, traverse speeds, tool offsets and tool pin geometries. The joints were examined by optical microscopy, scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy, electron backscatter diffraction and X-ray diffraction to characterise material flow, grain structure and intermetallic layers. Mechanical performance was evaluated through microhardness mapping, tensile testing and fractography, while electrical resistance across the joint was also measured. The results showed that offsetting the tool towards the aluminium side and selecting moderate heat input produced sound joints with intimate mixing and a thin, continuous intermetallic layer at the interface. Excessive heat input led to thicker intermetallic layers and brittle fracture, whereas insufficient heat input resulted in tunnel defects and incomplete bonding. Dynamic recrystallisation produced fine equiaxed grains in the stir zone, contributing to increased hardness. Optimised joints exhibited good tensile strength and low electrical resistance comparable to the base metals. The study concludes that careful control of heat input and tool positioning is essential for reliable aluminium–copper joints.

Keywords: friction stir welding, dissimilar metals, aluminium, copper, intermetallic compounds, microstructure

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FABRICATION AND CHARGE TRANSPORT PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL HETEROSTRUCTURES FOR WEARABLE SENSORS

Prof. Dr. Dmitry Sokolov
Moscow Institute of Physics and Technology, Center for Photonics and Two-Dimensional Materials, Dolgoprudny, Russia

ABSTRACT

Wearable electronic devices capable of continuously monitoring physiological signals and environmental conditions require materials that are mechanically flexible, lightweight and electrically efficient. Two-dimensional materials, including graphene, transition metal dichalcogenides and hexagonal boron nitride, possess exceptional electronic, mechanical and optical properties, and their atomically thin nature makes them inherently suited to flexible platforms. Stacking these materials into van der Waals heterostructures enables the design of devices with tailored electronic behaviour that cannot be achieved with a single material. This study aimed to fabricate two-dimensional material heterostructures on flexible substrates and to investigate their charge transport properties for application in wearable strain, pressure and humidity sensors. Graphene was grown by chemical vapour deposition, while molybdenum disulphide and hexagonal boron nitride were obtained by liquid-phase exfoliation and chemical vapour deposition. Heterostructures were assembled using dry transfer techniques on polyimide and polydimethylsiloxane substrates, and electrodes were patterned by photolithography and inkjet printing. The structures were characterised by Raman spectroscopy, atomic force microscopy and transmission electron microscopy. Electrical measurements, including field-effect transport, Hall effect and temperature-dependent resistance, were performed before and after repeated bending, stretching and exposure to humidity. The results showed that encapsulation with hexagonal boron nitride markedly improved carrier mobility and stability by reducing charge scattering from the substrate and environment. Graphene–molybdenum disulphide heterostructures exhibited a highly sensitive and reversible electrical response to mechanical strain and moisture, and the devices maintained reliable performance after extensive bending cycles. The quality of the interfaces between the stacked layers was identified as the key factor determining charge transport and device reliability. The study demonstrates that engineered two-dimensional heterostructures offer a promising foundation for next-generation flexible and wearable sensing technologies.

Keywords: graphene, two-dimensional materials, heterostructures, flexible electronics, charge transport, wearable sensors

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

THERMAL SPRAY AND NANOCOMPOSITE COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE OXIDATION AND CORROSION PROTECTION OF BOILER TUBE STEELS

Assis. Prof. Dr. Olga Lebedeva, Dr. Sergey Morozov, Assoc. Prof. Dr. Pavel Belov
National University of Science and Technology MISIS, Institute of New Materials and Nanotechnology, Department of Protective Coatings, Moscow, Russia
Ural Federal University, Institute of New Materials and Technologies, Department of Heat Treatment and Physics of Metals, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

Boiler tubes and other components in thermal power plants operate under severe conditions that combine high temperature, pressure, steam and aggressive combustion products. These conditions promote oxidation, hot corrosion and erosion, leading to wall thinning, unplanned shutdowns and costly maintenance. The increasing use of low-grade coal, biomass and waste fuels, which contain higher levels of sulphur, chlorine and alkali compounds, has made material degradation an even more pressing issue. Protective coatings provide an effective means of extending component life without replacing the base steel. This study aimed to develop and evaluate advanced thermal spray and nanocomposite coatings for protecting boiler tube steels against high-temperature oxidation and corrosion. Nickel–chromium, iron–aluminium and cobalt-based alloy coatings were deposited on low-alloy and ferritic–martensitic steels using high-velocity oxy-fuel spraying, atmospheric plasma spraying and cold spraying, and selected coatings were reinforced with ceramic nanoparticles of alumina, yttria and chromium carbide. The coatings were characterised for porosity, adhesion strength, microhardness and phase composition using scanning electron microscopy, energy-dispersive spectroscopy and X-ray diffraction. Cyclic oxidation tests were performed in air and steam atmospheres, and hot corrosion behaviour was evaluated in the presence of molten salt deposits simulating combustion environments. The results revealed that high-velocity oxy-fuel coatings exhibited dense microstructures and strong adhesion, providing better protection than plasma-sprayed coatings. Nanoparticle reinforcement promoted the formation of continuous, slow-growing protective oxide scales and reduced spallation during thermal cycling. Coated specimens showed considerably lower mass change and corrosion penetration than uncoated steels. The study concludes that nanocomposite thermal spray coatings represent a practical and economical solution for improving the durability and reliability of power plant components.

Keywords: protective coatings, thermal spraying, high-temperature corrosion, oxidation, boiler steels, power plants

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ULTRASOUND-ASSISTED ENZYMATIC EXTRACTION OF FUNCTIONAL PROTEINS FROM CHICKPEA AND LENTIL VARIETIES GROWN IN KAZAKHSTAN

Prof. Dr. Gulnara Abdrakhmanova, Dr. Yerlan Nurmagambetov, Aigerim Seitkali
Almaty Technological University, Faculty of Food Technologies, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan
Kazakh National Agrarian Research University, Faculty of Technology and Bioresources, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Plant proteins are attracting growing attention as sustainable alternatives to animal proteins, driven by environmental concerns, changing dietary preferences and the need for affordable nutrition. Legumes such as chickpea and lentil are rich in protein, dietary fibre and minerals, and their cultivation is expanding in the northern and southern regions of Kazakhstan. However, conventional alkaline extraction and isoelectric precipitation often yield proteins with limited functionality, consume large amounts of water and chemicals, and may cause undesirable changes in protein structure. This study aimed to develop an ultrasound-assisted enzymatic extraction process to improve the yield and functional properties of proteins obtained from chickpea and lentil varieties grown in Kazakhstan. Defatted legume flours were treated with cellulase, pectinase and protease preparations, individually and in combination, while low-frequency ultrasound was applied to disrupt cell wall structures and enhance mass transfer. Process variables including enzyme type, enzyme concentration, sonication intensity, temperature, pH and extraction time were optimised using response surface methodology. The extracted protein isolates were evaluated for purity, amino acid composition, molecular weight distribution, solubility, water and oil holding capacity, emulsifying properties, foaming capacity and gel formation. Structural changes were examined using Fourier transform infrared spectroscopy, fluorescence spectroscopy and scanning electron microscopy. The results showed that the combined treatment markedly increased extraction efficiency compared with conventional methods, while reducing processing time and chemical consumption. Limited proteolysis improved solubility and emulsifying behaviour, and ultrasound treatment partially unfolded protein structures, exposing hydrophobic regions and enhancing interfacial activity. Lentil proteins displayed superior foaming properties, whereas chickpea proteins formed stronger gels. The study concludes that ultrasound-assisted enzymatic extraction is an efficient and environmentally friendly strategy for producing high-quality legume proteins for the domestic food industry.

Keywords: legume proteins, enzymatic extraction, ultrasound, chickpea, lentil, functional properties, Kazakhstan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ACTIVE AND INTELLIGENT PACKAGING FILMS FROM WHEAT AND POTATO STARCH ENRICHED WITH NATURAL COLORIMETRIC INDICATORS

Assoc. Prof. Dr. Bauyrzhan Iskakov, Dr. Saule Zhumabekova
Shakarim University of Semey, Faculty of Engineering and Technology, Department of Food Production Technology, Semey, Kazakhstan
Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

The accumulation of petroleum-based plastic waste has intensified the search for biodegradable packaging materials derived from renewable resources. Starch is one of the most promising biopolymers for this purpose because it is abundant, inexpensive and readily processed into films. Kazakhstan produces large quantities of wheat and potatoes, and their starch fractions represent an underused local resource for packaging development. Nevertheless, starch films are generally brittle and highly sensitive to moisture, and they provide no information about the condition of the packaged food. This study aimed to develop active and intelligent biodegradable packaging films from wheat and potato starch incorporating natural colorimetric indicators capable of signalling food spoilage. Starch was extracted from regional raw materials and plasticised with glycerol and sorbitol, while cellulose nanofibres and chitosan were added to improve mechanical strength and barrier properties. Anthocyanin-rich extracts from red cabbage and black carrot were incorporated as pH-sensitive indicators, and essential oils were added to provide antimicrobial activity. Films were produced by solution casting and characterised for thickness, tensile strength, elongation, water vapour permeability, solubility, colour, transparency and thermal stability. Structural interactions were investigated using infrared spectroscopy, X-ray diffraction and scanning electron microscopy. The indicator response was tested in buffer solutions and during the storage of fish and chicken meat, while biodegradability was assessed by soil burial. The results demonstrated that nanofibre reinforcement improved tensile strength and reduced water sensitivity. The anthocyanin films exhibited clear and visually distinguishable colour changes corresponding to increasing pH and volatile amine accumulation during spoilage. The essential oils inhibited the growth of common foodborne bacteria. The films degraded readily in soil. The study concludes that locally sourced starch can be transformed into functional smart packaging that supports food safety and environmental sustainability.

Keywords: biodegradable packaging, starch films, intelligent packaging, anthocyanins, food spoilage, Kazakhstan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

CULTIVATION OF SPIRULINA AND CHLORELLA IN AQUACULTURE WASTEWATER FOR THE PRODUCTION OF PROTEIN-RICH FOOD SUPPLEMENTS IN BANGLADESH

Prof. Dr. Shahidul Islam, Dr. Farzana Akter
Bangladesh Agricultural University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Technology, Mymensingh, Bangladesh
University of Dhaka, Faculty of Biological Sciences, Department of Botany, Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

Bangladesh faces persistent challenges of protein and micronutrient deficiency, particularly among children and women in low-income households, while its rapidly expanding aquaculture sector generates large volumes of nutrient-rich wastewater. Microalgae offer an opportunity to address both issues simultaneously, as they can recover nitrogen and phosphorus from wastewater while producing biomass rich in protein, essential fatty acids, vitamins and pigments. This study aimed to evaluate the feasibility of cultivating Spirulina and Chlorella in treated aquaculture wastewater for the production of safe, protein-rich food supplements. Wastewater was collected from intensive fish and shrimp farms, pretreated by sedimentation and filtration, and used as a growth medium in open raceway ponds and closed photobioreactors under natural light conditions. Growth performance, nutrient removal efficiency and biomass productivity were monitored throughout the cultivation period. The harvested biomass was analysed for proximate composition, amino acid profile, fatty acid composition, chlorophyll and carotenoid content, and mineral levels. Food safety was assessed by testing for heavy metals, microbial contaminants and cyanotoxins. Selected biomass was incorporated into traditional snacks and noodle products, and consumer acceptability was evaluated through sensory panels. The results indicated that both species grew well in pretreated wastewater and efficiently removed dissolved nitrogen and phosphorus, improving effluent quality. Spirulina biomass contained particularly high protein levels, while Chlorella was richer in carotenoids and polyunsaturated fatty acids. Contaminant levels remained within accepted food safety limits when appropriate pretreatment and harvesting practices were applied. Fortified products were well accepted at moderate inclusion levels. The study concludes that integrating microalgae cultivation with aquaculture can contribute to nutrition security, wastewater management and new income opportunities for rural communities in Bangladesh.

Keywords: microalgae, Spirulina, Chlorella, aquaculture wastewater, food supplements, nutrition security, Bangladesh

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EFFECTIVENESS OF LOW-COST COLD STORAGE AND EDIBLE COATINGS IN REDUCING POST-HARVEST LOSSES OF TOMATO AND MANGO IN BANGLADESH

Dr. Kamrul Hasan, Assoc. Prof. Dr. Sharmin Sultana, Dr. Rafiqul Islam, Mithila Chowdhury
Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Gazipur, Bangladesh
Sher-e-Bangla Agricultural University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Chemistry, Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

Post-harvest losses of fruits and vegetables are a major problem in Bangladesh, where hot and humid conditions, inadequate storage facilities, rough handling and long supply chains cause rapid deterioration between farm and market. These losses reduce farmers' income, raise consumer prices and contribute to food insecurity. Smallholder farmers and traders rarely have access to refrigerated storage, so affordable technologies suited to local conditions are urgently needed. This study aimed to evaluate the effectiveness of low-cost evaporative cold storage structures and plant-based edible coatings in reducing post-harvest losses of tomato and mango in Bangladeshi markets. Zero-energy cool chambers built from bricks, sand and bamboo, as well as solar-powered cold rooms, were installed at selected wholesale and rural markets. Edible coatings based on chitosan, aloe vera gel and starch enriched with plant extracts were applied to freshly harvested produce. Treated and untreated fruits were stored under ambient conditions and in the cooling structures, and quality parameters including weight loss, firmness, colour, total soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid content, decay incidence and shelf life were monitored. A survey of farmers and traders examined handling practices, losses along the supply chain and willingness to adopt the technologies. The results showed that evaporative cool chambers lowered storage temperature and maintained high humidity, thereby reducing weight loss and delaying ripening. Edible coatings further slowed respiration, preserved firmness and limited fungal decay, and the combination of coating and cool storage provided the longest shelf life for both commodities. Traders reported improved prices due to better appearance. Main barriers to adoption included limited awareness and initial construction costs. The study concludes that simple, affordable post-harvest technologies can substantially reduce losses and improve livelihoods across Bangladeshi fresh produce markets.

Keywords: post-harvest losses, cold storage, edible coatings, tomato, mango, food supply chain, Bangladesh

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EXTRUSION-BASED THREE-DIMENSIONAL FOOD PRINTING OF PROTEIN-ENRICHED PURÉES FOR ELDERLY PATIENTS WITH DYSPHAGIA

Assoc. Prof. Dr. Jonathan Lim, Dr. Michelle Chan
National University of Singapore, Faculty of Science, Department of Food Science and Technology, Singapore
Singapore Institute of Technology, Food, Chemical and Biotechnology Cluster, Singapore

ABSTRACT

Dysphagia, or difficulty in swallowing, is common among older adults and patients recovering from stroke or neurological disease, and it is closely associated with malnutrition, dehydration and aspiration pneumonia. Texture-modified diets are essential for safe swallowing, but conventional purées are often visually unappealing, monotonous and poor in nutrients, which reduces appetite and food intake. Singapore's rapidly ageing population has increased the demand for innovative solutions that combine safety, nutrition and dignity at mealtimes. Three-dimensional food printing allows the fabrication of foods with controlled shape, structure and composition, offering an opportunity to recreate the appearance of familiar dishes using texture-modified materials. This study aimed to develop protein-enriched purées suitable for extrusion-based printing and to evaluate their printability, texture and suitability for patients with dysphagia. Purées were prepared from vegetables, fish, chicken and legumes, enriched with whey and soy proteins, and formulated with hydrocolloids such as xanthan gum, gellan gum and modified starch. Rheological properties, including viscosity, yield stress, shear-thinning behaviour and recovery, were measured to predict printing performance. Printing parameters such as nozzle diameter, printing speed and layer height were optimised. Printed products were assessed for dimensional accuracy, shape retention, texture according to international dysphagia diet standards, nutritional composition and sensory acceptance among older adults. The results showed that hydrocolloid type and concentration strongly influenced extrusion behaviour and structural stability. Formulations with balanced yield stress and rapid structural recovery produced accurate and stable shapes that met transitional and puréed texture requirements. Protein enrichment improved nutritional value without compromising swallowing safety. Participants rated the printed meals more attractive than conventional purées. The study demonstrates that three-dimensional food printing can support personalised nutrition in elderly care.

Keywords: 3D food printing, dysphagia, texture-modified foods, rheology, elderly nutrition, Singapore

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MACHINE LEARNING-ASSISTED PROCESS CONTROL OF PRECISION FERMENTATION FOR THE PRODUCTION OF ALTERNATIVE DAIRY PROTEINS

Dr. Benjamin Teo, Assoc. Prof. Dr. Rachel Ong, Dr. Daniel Koh, Prof. Dr. Vincent Lau
Nanyang Technological University, School of Chemistry, Chemical Engineering and Biotechnology, Singapore
Agency for Science, Technology and Research, Singapore Institute of Food and Biotechnology Innovation, Singapore

ABSTRACT

Precision fermentation uses engineered microorganisms to produce specific food ingredients such as milk proteins, enzymes and flavour compounds, offering a sustainable alternative to conventional animal agriculture. Its industrial success, however, depends on maintaining consistent productivity and product quality during scale-up, which is difficult because fermentation processes are nonlinear, time-varying and influenced by many interacting variables. Traditional control strategies based on fixed set points and offline sampling often fail to respond adequately to process fluctuations. This study aimed to develop a machine learning-assisted process control framework for precision fermentation of recombinant whey and casein proteins using yeast expression systems. Historical and experimental data were collected from laboratory and pilot-scale bioreactors, including temperature, pH, dissolved oxygen, agitation, feed rate, off-gas composition and spectroscopic measurements. Soft sensors based on artificial neural networks and Gaussian process regression were trained to estimate biomass concentration, substrate levels and product titre in real time. These estimates were integrated into a model predictive control scheme that adjusted feeding and aeration strategies to maximise protein yield while minimising by-product formation and energy consumption. Model interpretability tools were applied to identify the most influential process variables. The results showed that the soft sensors accurately tracked key process states and reduced reliance on time-consuming offline analysis. The adaptive control strategy increased protein productivity, improved batch-to-batch consistency and lowered energy use compared with conventional fed-batch operation. Dissolved oxygen dynamics and feed timing were identified as critical factors governing yield. The framework was successfully transferred from laboratory to pilot scale with limited retraining. The study concludes that combining machine learning with process engineering can accelerate the efficient and sustainable manufacture of fermentation-derived food ingredients.

Keywords: precision fermentation, machine learning, process control, soft sensors, alternative proteins, Singapore

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

VALORISATION OF OLIVE MILL BY-PRODUCTS AS NATURAL ANTIOXIDANT SOURCES FOR IMPROVING THE OXIDATIVE STABILITY OF ALGERIAN VIRGIN OLIVE OIL

Assoc. Prof. Dr. Amina Belkacem
University of Béjaïa, Faculty of Natural and Life Sciences, Laboratory of Biomathematics, Biophysics, Biochemistry and Scientometrics, Béjaïa, Algeria

ABSTRACT

Olive oil production is an important agricultural activity in northern Algeria, particularly in the Kabylie region, where traditional and modern mills process large quantities of olives each season. The quality of virgin olive oil depends largely on its resistance to oxidation, which leads to rancidity, loss of nutritional value and reduced shelf life. At the same time, olive mills generate considerable amounts of by-products such as olive leaves, pomace and mill wastewater, which are rich in phenolic compounds but are often discarded, causing environmental problems. This study aimed to recover natural antioxidants from olive mill by-products and to evaluate their effectiveness in improving the oxidative stability of Algerian virgin olive oil. Phenolic extracts were obtained from olive leaves, pomace and wastewater using ultrasound-assisted and pressurised liquid extraction with food-grade solvents. The extracts were characterised for total phenolic content, flavonoid content and antioxidant activity, and individual compounds such as hydroxytyrosol, oleuropein and tyrosol were identified by high-performance liquid chromatography. Oils from local cultivars were enriched with the extracts and subjected to accelerated oxidation and long-term storage under different light and temperature conditions. Oxidative stability was monitored through peroxide value, specific extinction coefficients, free fatty acid content, induction time and volatile compound formation, while sensory quality was evaluated by trained panellists. The results demonstrated that the by-product extracts possessed strong radical scavenging activity, with leaf and wastewater extracts showing particularly high levels of hydroxytyrosol derivatives. Enriched oils exhibited delayed oxidation and better preservation of fresh sensory attributes than control samples, without negative effects on flavour. The study concludes that olive mill by-products are a valuable and sustainable source of natural antioxidants that can enhance olive oil quality.

Keywords: olive oil, natural antioxidants, phenolic compounds, olive by-products, oxidative stability, Algeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FORMULATION AND STABILITY MODELLING OF PLANT-BASED OIL-IN-WATER EMULSIONS FOR YOGHURT AND CHEESE ANALOGUES

Dr. Karim Boudjemaa, Assis. Prof. Dr. Lamia Hamdi, Rachid Mebarki
University of Constantine 1 Frères Mentouri, Institute of Nutrition, Food and Agri-Food Technologies, Constantine, Algeria
National Polytechnic School of Algiers, Department of Chemical Engineering, Algiers, Algeria

ABSTRACT

Demand for plant-based dairy alternatives is increasing in Algeria and across North Africa, driven by lactose intolerance, health awareness and interest in sustainable diets. Reproducing the creamy texture, mouthfeel and stability of dairy products using plant ingredients remains a significant technological challenge, since plant proteins often show weaker emulsifying and gelling properties than milk proteins. Emulsions are the structural basis of many such products, and their stability depends on complex interactions between oil droplets, proteins, polysaccharides and processing conditions. This study aimed to formulate plant-based oil-in-water emulsions suitable for yoghurt and cheese analogues and to apply mathematical models to predict and optimise their stability. Emulsions were prepared using chickpea, faba bean and pea proteins combined with olive oil and sunflower oil, and stabilised with locally produced carob gum, pectin and modified starch. Homogenisation pressure, protein concentration, oil content and polysaccharide type were varied according to a statistical experimental design. Droplet size distribution, zeta potential, viscosity, creaming behaviour and microstructure were measured, and fermentation with lactic acid bacteria was used to produce yoghurt-type products. Population balance and response surface models were developed to describe droplet coalescence and to identify optimal formulation conditions. The results showed that high-pressure homogenisation combined with moderate protein levels produced fine and uniform droplets with good physical stability. Carob gum effectively reduced creaming by increasing continuous phase viscosity, and protein–polysaccharide interactions strengthened interfacial films. The models predicted stability with good agreement to experimental observations, allowing rapid screening of formulations. Fermented analogues displayed acceptable texture and sensory properties. The study concludes that model-based design is a valuable tool for developing stable, locally sourced dairy alternatives for the Algerian food industry.

Keywords: plant-based emulsions, dairy alternatives, emulsion stability, mathematical modelling, plant proteins, Algeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

STRETCHABLE PRINTED ELECTRONIC PATCHES FOR CONTINUOUS MONITORING OF PHYSIOLOGICAL SIGNALS IN WEARABLE HEALTHCARE

Dr. Yerzhan Baimukhanov, Assis. Prof. Dr. Madina Kassymova, Arman Tokhtarov
Nazarbayev University, School of Engineering and Digital Sciences, Department of Electrical and Computer Engineering, Astana, Kazakhstan
Satbayev University, Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Wearable health monitoring systems are transforming healthcare by enabling the continuous, non-invasive collection of physiological data outside hospital settings. Such systems are particularly valuable for the early detection of cardiovascular and respiratory problems, the management of chronic diseases and remote patient follow-up in regions where access to specialised care is limited. Conventional rigid electronics, however, conform poorly to the skin, cause discomfort during prolonged use and generate motion artefacts that degrade signal quality. Flexible and stretchable electronics offer a solution by allowing devices to bend, twist and stretch together with the human body. This study aimed to design, fabricate and evaluate stretchable printed electronic patches capable of continuously monitoring electrocardiographic signals, skin temperature and respiration. Conductive inks based on silver nanowires, carbon nanotubes and liquid metal were screen-printed onto thermoplastic polyurethane and silicone substrates using serpentine interconnect geometries to accommodate deformation. Low-power analogue front-end circuits and a Bluetooth Low Energy module were integrated using flexible hybrid assembly techniques, and the patches were encapsulated with breathable, biocompatible layers. Electrical stability was examined under cyclic stretching, bending and exposure to sweat, and signal quality was compared with clinical reference instruments in healthy volunteers during rest, walking and light exercise. Signal processing algorithms were implemented to suppress motion artefacts and extract heart rate and breathing parameters. The results showed that the serpentine designs maintained stable conductivity under repeated mechanical strain, and the patches adhered comfortably to the skin for extended periods. Recorded signals closely matched reference measurements, and the artefact suppression algorithms considerably improved reliability during movement. Power consumption remained low enough for continuous operation over several days. The study concludes that stretchable printed electronics provide a practical platform for comfortable, reliable and affordable wearable healthcare devices.

Keywords: flexible electronics, wearable sensors, health monitoring, printed electronics, stretchable devices, Kazakhstan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

ENERGY HARVESTING AND DUTY-CYCLING STRATEGIES FOR LONG-LIFE WIRELESS SENSOR NODES IN PRECISION IRRIGATION

Assoc. Prof. Dr. Askar Mukhamediyev, Dr. Dana Utepova
Kazakh National Agrarian Research University, Faculty of Water, Land and Forest Resources, Department of Agricultural Engineering, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Precision irrigation is increasingly important in Kazakhstan, where agriculture in the southern regions depends heavily on limited and unevenly distributed water resources. Wireless sensor networks based on Internet of Things technologies can provide real-time information on soil moisture, temperature and microclimate, allowing farmers to irrigate only when and where water is needed. A major barrier to their wide adoption, however, is the limited lifetime of battery-powered sensor nodes deployed across large and remote fields, where frequent maintenance is impractical and costly. This study aimed to design and evaluate energy-efficient wireless sensor nodes that combine ambient energy harvesting with adaptive duty-cycling strategies to achieve long-term autonomous operation in precision irrigation systems. The nodes were built around ultra-low-power microcontrollers and long-range low-power radio modules, and were equipped with capacitive soil moisture, temperature and humidity sensors. Small photovoltaic panels and thermoelectric generators were tested as energy sources, and supercapacitors combined with rechargeable cells were used for energy storage. An adaptive duty-cycling algorithm adjusted sampling and transmission intervals according to available energy, soil moisture dynamics and irrigation events. The performance of the nodes was assessed through laboratory power profiling, network simulations and field deployment on irrigated cotton and vegetable farms. The results demonstrated that the adaptive strategy substantially reduced energy consumption compared with fixed-interval operation, while preserving the accuracy of soil moisture monitoring required for irrigation decisions. Solar harvesting supplied sufficient energy for continuous operation during most of the growing season, and the hybrid storage system buffered variations caused by cloudy periods. Field results indicated reduced water use without yield loss. The study concludes that energy-aware node design can make IoT-based precision irrigation reliable and economically viable for agricultural regions with scarce water resources.

Keywords: Internet of Things, wireless sensor networks, energy harvesting, precision irrigation, smart agriculture, low-power design

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

APPROXIMATE COMPUTING TECHNIQUES FOR LOW-POWER HARDWARE ACCELERATORS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS ON EDGE DEVICES

Prof. Dr. Mahmudul Karim, Dr. Sabrina Yasmin, Md. Habibur Rahman, Assis. Prof. Dr. Ashikur Rahman
Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Dhaka, Bangladesh
Khulna University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Department of Electronics and Communication Engineering, Khulna, Bangladesh

ABSTRACT

The deployment of artificial intelligence on edge devices such as smartphones, surveillance cameras, wearable gadgets and industrial sensors requires hardware that can execute complex neural network computations under strict power, area and latency constraints. Convolutional neural networks are particularly demanding because of the large number of multiply–accumulate operations and memory accesses they involve. Many such applications, however, are inherently tolerant to small numerical errors, which creates an opportunity to trade a limited loss of accuracy for significant savings in energy and silicon area. This study aimed to design and evaluate low-power very large scale integration architectures for convolutional neural network accelerators using approximate computing techniques. Approximate multipliers and adders based on partial product truncation, logarithmic approximation and error-compensated designs were developed and characterised in terms of error metrics, delay, area and power. These arithmetic units were integrated into a systolic array accelerator, together with reduced-precision quantisation, data reuse strategies and clock gating to minimise dynamic power consumption. A layer-wise sensitivity analysis was carried out to determine where approximation could be applied without unacceptable accuracy degradation. The designs were described in hardware description language, synthesised using a standard cell library and validated through post-layout simulation and field-programmable gate array prototyping, using image classification and object detection benchmarks. The results showed that selective approximation in less sensitive layers substantially reduced power consumption and chip area while keeping classification accuracy close to that of the exact implementation. Error-compensated multipliers offered the best balance between efficiency and accuracy, and quantisation-aware retraining further reduced accuracy loss. These findings were consistent across both image classification and detection tasks. The study concludes that approximate computing is a promising design paradigm for energy-efficient artificial intelligence hardware, supporting the wider adoption of intelligent edge devices.

Keywords: VLSI design, approximate computing, hardware accelerators, convolutional neural networks, edge computing, low-power design

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REINFORCEMENT LEARNING-BASED VOLTAGE REGULATION AND LOAD FORECASTING IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH HIGH SOLAR PENETRATION

Assoc. Prof. Dr. Mohammad Ziaul Haque, Dr. Rumana Khatun, Dr. Arif Mahmud
Rajshahi University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Rajshahi, Bangladesh
Chittagong University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Chattogram, Bangladesh

ABSTRACT

The rapid integration of rooftop solar systems and other distributed energy resources is changing the operation of electricity distribution networks in Bangladesh and many other countries. While renewable generation contributes to energy security and emission reduction, its intermittent nature causes voltage fluctuations, reverse power flows and increased losses, which conventional rule-based control devices were not designed to handle. At the same time, growing urban demand and changing consumption patterns make accurate load forecasting increasingly important for efficient network operation. This study aimed to develop an intelligent control framework that combines deep learning-based load forecasting with reinforcement learning-based voltage regulation in distribution networks with high solar penetration. Long short-term memory networks and temporal convolutional networks were trained on historical load, weather and calendar data to produce short-term forecasts of demand and photovoltaic output. These forecasts were supplied to a multi-agent deep reinforcement learning controller that coordinated on-load tap changers, capacitor banks and smart inverters to keep voltages within permissible limits while minimising losses and equipment wear. The framework was tested on standard benchmark feeders and on a model of an urban distribution network in Dhaka, under different seasonal and solar penetration scenarios. Its performance was compared with conventional control and optimisation-based approaches. The results showed that the deep learning models provided accurate forecasts, with temporal convolutional networks performing particularly well during periods of rapidly changing weather. The reinforcement learning controller maintained voltages within acceptable limits more consistently than conventional control, reduced network losses and decreased the number of tap changer operations. The controller also adapted effectively to unseen operating conditions. The study concludes that combining forecasting and reinforcement learning offers a robust approach to managing modern distribution networks.

Keywords: smart grid, deep learning, reinforcement learning, voltage regulation, load forecasting, distribution networks

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

LIQUID CRYSTAL-BASED BEAM-STEERING ANTENNA ARRAYS FOR MILLIMETRE-WAVE FIFTH-GENERATION WIRELESS SYSTEMS

Dr. Shawn Lee
Nanyang Technological University, School of Electrical and Electronic Engineering, Centre for Optoelectronics and Biophotonics, Singapore

ABSTRACT

Millimetre-wave frequency bands are a key enabler of fifth-generation wireless communication, providing the wide bandwidth necessary for high data rates and low latency. At these frequencies, however, signals suffer from high path loss and are easily blocked by obstacles, so highly directive antennas with electronic beam steering are required to maintain reliable links. Conventional phased arrays based on semiconductor phase shifters are effective but costly, power-hungry and difficult to scale to large apertures. Liquid crystal technology offers an attractive alternative, as the dielectric properties of liquid crystal materials can be continuously tuned by an applied voltage, enabling low-cost, low-power and lightweight reconfigurable antennas. This study aimed to design, fabricate and characterise liquid crystal-based beam-steering antenna arrays for millimetre-wave fifth-generation systems. Tunable phase shifters were realised using liquid crystal-loaded inverted microstrip and substrate-integrated waveguide structures, and their phase range, insertion loss and response time were evaluated. The phase shifters were integrated with patch antenna elements to form linear and planar arrays, and feeding networks were optimised using full-wave electromagnetic simulation. Prototypes were fabricated using multilayer printed circuit board and glass processing techniques, and their reflection coefficient, radiation patterns, gain and beam-steering range were measured in an anechoic chamber. The influence of temperature on liquid crystal behaviour was also investigated. The results showed that the proposed phase shifters provided continuous phase tuning with moderate loss, enabling smooth beam steering across a wide angular range without grating lobes. Measured radiation patterns agreed well with simulations, and the arrays consumed negligible bias power. Switching speed was identified as the main limitation, which was improved through thinner liquid crystal layers. Temperature compensation further stabilised the steering performance. The study concludes that liquid crystal antennas are a promising low-cost solution for millimetre-wave networks.

Keywords: reconfigurable antennas, millimetre-wave, 5G communication, beam steering, liquid crystal, phased arrays

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DESIGN OF LOW-LOSS SILICON NITRIDE AND SILICON HYBRID PHOTONIC CIRCUITS FOR HIGH-CAPACITY DATA CENTRE INTERCONNECTS

Assoc. Prof. Dr. Eugene Chia, Dr. Jasmine Yeo, Ryan Ho
National University of Singapore, College of Design and Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Singapore
Agency for Science, Technology and Research, Institute of Microelectronics, Singapore

ABSTRACT

The explosive growth of cloud computing, video streaming and artificial intelligence workloads is placing enormous demands on data centre networks, which must transmit ever larger volumes of data with low latency and reduced energy consumption. Electrical interconnects are approaching their limits in bandwidth density and power efficiency, making optical interconnects increasingly essential. Silicon photonics enables the integration of optical components on chips using manufacturing processes compatible with conventional microelectronics, but silicon waveguides suffer from relatively high propagation loss, strong temperature sensitivity and nonlinear effects at high optical power. Silicon nitride offers lower loss and better thermal stability, although it lacks the active functions available in silicon. This study aimed to design and evaluate hybrid silicon nitride and silicon photonic integrated circuits for high-capacity data centre interconnects. Low-loss silicon nitride waveguides were used for passive routing, wavelength multiplexing and filtering, while silicon layers hosted high-speed modulators and germanium photodetectors. Efficient interlayer transitions were designed using adiabatic tapers, and arrayed waveguide gratings and microring resonators were optimised for wavelength division multiplexing. Device designs were developed through finite-difference time-domain and eigenmode simulations and were fabricated on a multi-project wafer platform. Fabricated circuits were characterised for propagation loss, coupling efficiency, crosstalk, thermal stability and high-speed data transmission performance. The results demonstrated that silicon nitride waveguides exhibited considerably lower propagation loss than silicon waveguides and reduced thermal drift of filter responses. Interlayer transitions achieved efficient and broadband coupling, and the hybrid transceiver circuits supported high data rates with clear eye diagrams and low bit error rates. Thermal tuning requirements were also reduced, which lowered the overall power budget of the transceiver modules. The study concludes that hybrid integration combines the strengths of both materials and offers a scalable route to energy-efficient optical interconnects.

Keywords: silicon photonics, silicon nitride, photonic integrated circuits, optical interconnects, data centres, wavelength division multiplexing

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FABRICATION AND PERFORMANCE OF GRAPHENE FIELD-EFFECT TRANSISTOR BIOSENSORS FOR RAPID DETECTION OF PATHOGENIC BIOMARKERS

Prof. Dr. Nadia Merabet, Dr. Sofiane Boukhalfa, Assoc. Prof. Dr. Lyes Hamidi, Amel Kaci, Dr. Walid Belaid
University of Science and Technology Houari Boumediene, Faculty of Electronics and Computer Science, Algiers, Algeria
Research Center in Semiconductor Technology for Energetics, Division of Thin Films and Nanostructures, Algiers, Algeria

ABSTRACT

Rapid and sensitive detection of pathogens and disease biomarkers is essential for effective diagnosis, outbreak control and food safety monitoring. Conventional laboratory methods such as culture techniques and polymerase chain reaction are accurate but require specialised equipment, trained staff and considerable time, limiting their use at the point of care. Field-effect transistor biosensors offer label-free, real-time and highly sensitive detection by translating biomolecular binding events into measurable electrical signals. Graphene is especially suitable as a channel material because of its high carrier mobility, large surface-to-volume ratio and sensitivity to surface charge changes. This study aimed to fabricate graphene field-effect transistor biosensors and evaluate their performance for the rapid detection of pathogenic biomarkers. Monolayer graphene was synthesised by chemical vapour deposition on copper foil and transferred onto silicon dioxide and flexible polymer substrates using a polymer-assisted process. Transistor channels and electrodes were defined by photolithography and metal evaporation, and the devices were characterised by Raman spectroscopy, atomic force microscopy and electrical transfer measurements. The graphene surface was functionalised with pyrene-based linkers, onto which antibodies and DNA aptamers specific to selected bacterial and viral biomarkers were immobilised. Sensor responses were recorded in buffer solutions and in diluted serum and food extracts, and selectivity, response time, stability and reproducibility were examined. The results showed that the devices exhibited high carrier mobility and stable electrical characteristics after functionalisation. Binding of target biomarkers produced clear and concentration-dependent shifts in the Dirac point, enabling detection at very low concentrations within minutes. The sensors displayed good selectivity against non-target molecules. Devices fabricated on flexible substrates retained their sensing capability after repeated bending, supporting future wearable diagnostic applications. The study demonstrates that graphene field-effect transistor biosensors are a promising platform for portable, rapid and affordable diagnostic devices.

Keywords: graphene, field-effect transistors, biosensors, nanoelectronics, pathogen detection, point-of-care diagnostics

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

PERFORMANCE-BASED SEISMIC RETROFITTING OF SOVIET-ERA REINFORCED CONCRETE RESIDENTIAL BUILDINGS IN GYUMRI AND YEREVAN

Assoc. Prof. Dr. Hovhannes Sargsyan, Dr. Anahit Petrosyan
National University of Architecture and Construction of Armenia, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, Yerevan, Armenia
Yerevan State University, Faculty of Geography and Geology, Department of Engineering Geology and Seismology, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

Armenia is located in one of the most seismically active regions of the Caucasus, and the devastating Spitak earthquake revealed the vulnerability of much of the country's building stock. A large proportion of the population in Yerevan and Gyumri still lives in multi-storey residential buildings constructed during the Soviet period using precast panels, frame systems and stone masonry, many of which were designed according to outdated seismic codes. Replacing these buildings is economically unrealistic, so effective and affordable retrofitting strategies are urgently needed. This study aimed to assess the seismic vulnerability of typical Soviet-era reinforced concrete residential buildings and to develop performance-based retrofitting solutions appropriate for local conditions. Representative building types were identified through field surveys and archival design documents, and material properties were determined using non-destructive testing and core sampling. Nonlinear numerical models were developed and analysed using pushover and nonlinear time-history methods with ground motions representative of regional seismic hazard and local soil conditions. Several retrofitting options were evaluated, including reinforced concrete jacketing of columns, addition of shear walls, steel bracing, fibre-reinforced polymer wrapping and base isolation for selected structures. Performance was assessed in terms of interstorey drift, damage distribution, collapse probability and cost-effectiveness. The results showed that many buildings exhibited insufficient lateral stiffness and ductility, with soft-storey mechanisms and weak column–beam connections identified as critical deficiencies. Adding reinforced concrete shear walls and jacketing critical columns considerably reduced drift demands and improved collapse resistance, while fibre-reinforced polymer wrapping offered a rapid solution for enhancing column ductility with minimal disruption to residents. Base isolation proved effective but suited only critical public buildings. The study concludes that targeted performance-based retrofitting can significantly reduce seismic risk in Armenian cities and recommends prioritisation of the most vulnerable buildings in urban resilience planning.

Keywords: seismic retrofitting, earthquake engineering, reinforced concrete buildings, performance-based design, urban resilience, Armenia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

USE OF VOLCANIC TUFF AND BASALT FIBRES IN THE PRODUCTION OF LOW-CARBON CONCRETE COMPOSITES

Prof. Dr. Vahagn Martirosyan, Dr. Narine Avetisyan, Assis. Prof. Dr. Tigran Ghazaryan
National University of Architecture and Construction of Armenia, Faculty of Production of Construction Materials, Yerevan, Armenia
National Polytechnic University of Armenia, Institute of Chemical Technologies, Environmental Engineering and Biotechnology, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

The construction industry is one of the largest contributors to global carbon dioxide emissions, largely because of the energy-intensive production of Portland cement. Reducing cement content through the use of supplementary cementitious materials and natural additives is therefore an important strategy for sustainable construction. Armenia possesses abundant deposits of volcanic rocks, including tuff, pumice, scoria and basalt, which have been used as building stones for centuries but remain underused in modern concrete technology. This study aimed to evaluate the use of finely ground volcanic tuff as a partial cement replacement and basalt fibres as reinforcement in the production of low-carbon concrete composites. Tuff samples from several Armenian quarries were characterised for chemical composition, mineralogy, fineness and pozzolanic reactivity. Concrete mixtures were prepared with varying levels of cement replacement and basalt fibre content, and their fresh properties, compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity were measured at different curing ages. Durability was evaluated through water absorption, chloride penetration, freeze–thaw resistance and sulphate attack tests, and microstructure was examined using scanning electron microscopy and X-ray diffraction. A life cycle assessment was carried out to estimate the environmental impact of the proposed mixtures. The results indicated that the volcanic tuff exhibited good pozzolanic activity, and moderate replacement levels produced concretes with strength comparable to the reference mixture at later ages, along with refined pore structure and improved resistance to chloride penetration. Basalt fibres enhanced flexural and tensile strength and controlled crack propagation. Workability decreased slightly at higher fibre contents, which was addressed through the use of superplasticising admixtures. The life cycle assessment showed a clear reduction in embodied carbon. The study concludes that locally sourced volcanic materials offer a technically and environmentally viable route to sustainable concrete production in Armenia.

Keywords: low-carbon concrete, volcanic tuff, basalt fibres, pozzolanic materials, sustainable construction, Armenia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

INTEGRATING REMOTE SENSING AND HYDRODYNAMIC MODELLING FOR URBAN FLOOD RISK MAPPING AND EARLY WARNING IN RAWALPINDI

Assoc. Prof. Dr. Bilal Ahmed, Dr. Ayesha Siddiqui
University of Engineering and Technology Lahore, Faculty of Civil Engineering, Centre of Excellence in Water Resources Engineering, Lahore, Pakistan
National University of Sciences and Technology, Institute of Geographical Information Systems, Islamabad, Pakistan

ABSTRACT

Urban flooding has become a recurrent hazard in Pakistani cities, where intense monsoon rainfall, rapid and unplanned urbanisation, encroachment on natural drainage channels and inadequate stormwater infrastructure combine to cause widespread inundation. The twin cities of Rawalpindi and Islamabad are particularly affected by flash floods along the Nullah Leh, which repeatedly damage property, disrupt transport and endanger lives. Effective flood management requires accurate information on flood-prone areas and timely warnings that allow residents and authorities to respond. This study aimed to integrate remote sensing, geographic information systems and hydrodynamic modelling to develop urban flood risk maps and an early warning framework for Rawalpindi. High-resolution satellite imagery and digital elevation models were used to map land use, impervious surfaces and drainage networks, while historical rainfall and streamflow records were analysed to characterise extreme events. A coupled one-dimensional and two-dimensional hydrodynamic model was developed to simulate channel flow and surface inundation under different rainfall scenarios, and the model was calibrated using observed flood extents derived from synthetic aperture radar imagery. Flood hazard was combined with population density, building vulnerability and critical infrastructure to produce risk maps. A prototype early warning system linking rainfall forecasts, automatic rain gauges and the calibrated model was designed. The results revealed that densely built areas adjacent to the nullah and low-lying neighbourhoods with blocked drains faced the highest flood risk. The model reproduced observed flood patterns with good accuracy, and scenario analyses showed that channel widening and retention ponds could reduce inundation. The early warning prototype provided useful lead time for evacuation. Community consultations indicated strong interest in receiving flood alerts through mobile phone messages and local mosque announcements. The study concludes that combining remote sensing and modelling offers a valuable decision-support tool for urban flood management in Pakistan.

Keywords: urban flooding, flood risk mapping, hydrodynamic modelling, remote sensing, early warning systems, Pakistan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SITE ASSESSMENT AND LAYOUT OPTIMISATION OF WIND FARMS ALONG THE SINDH AND BALOCHISTAN COASTAL CORRIDOR

Prof. Dr. Imran Shah, Dr. Sadia Baloch, Assis. Prof. Dr. Kashif Raza, Hamza Iqbal
Mehran University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical, Electronics and Computer Engineering, US-Pakistan Center for Advanced Studies in Energy, Jamshoro, Pakistan
University of Balochistan, Faculty of Earth and Environmental Sciences, Department of Environmental Science, Quetta, Pakistan

ABSTRACT

Pakistan faces persistent electricity shortages and a heavy dependence on imported fossil fuels, making the development of indigenous renewable energy resources a national priority. The coastal corridor of Sindh and Balochistan, particularly the Gharo–Keti Bandar region, is recognised for its strong and consistent wind resources, and several wind farms are already in operation. However, further expansion requires careful site assessment and optimisation of turbine layouts to maximise energy production, minimise wake losses and ensure economic viability. This study aimed to assess wind resource potential along the coastal corridor and to optimise wind farm layouts using advanced modelling and optimisation techniques. Long-term meteorological mast measurements, reanalysis datasets and satellite-derived wind data were combined to characterise wind speed distribution, direction, turbulence intensity and seasonal variability at several candidate sites. Weibull analysis and wind rose diagrams were used to describe resource characteristics, while computational fluid dynamics and analytical wake models were applied to evaluate the interaction between turbines. Genetic algorithms and particle swarm optimisation were employed to determine turbine positions that maximise annual energy production under land, grid connection and environmental constraints. Economic performance was assessed using levelised cost of energy analysis, and potential impacts on coastal ecosystems and bird migration routes were reviewed. The results confirmed that the coastal corridor possesses excellent wind resources, with the strongest and most stable winds during the summer monsoon season. Optimised layouts reduced wake losses and increased energy output compared with conventional grid arrangements. Larger rotor turbines with higher hub heights further improved capacity factors. Grid integration and transmission constraints were identified as key challenges. Hybridisation with solar generation was also found to smooth seasonal variations in output. The study concludes that optimised wind farm development along the coast could make a significant contribution to Pakistan's clean energy transition.

Keywords: wind energy, wind farm layout, wake modelling, optimisation algorithms, renewable energy, coastal Pakistan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SILVER NANOPARTICLE-COATED CERAMIC FILTERS AND ACTIVATED CARBON COMPOSITES FOR HOUSEHOLD DRINKING WATER TREATMENT IN HYDERABAD

Dr. Zainab Memon
University of Sindh, Faculty of Natural Sciences, Institute of Advanced Research Studies in Chemical Sciences, Jamshoro, Pakistan

ABSTRACT

Access to safe drinking water remains a serious public health concern in Pakistan, particularly in the cities and rural districts of Sindh, where microbial contamination, arsenic, fluoride and organic pollutants frequently exceed acceptable limits. Waterborne diseases such as diarrhoea, typhoid and hepatitis place a heavy burden on communities, especially children. Centralised treatment systems are often unreliable, and many households lack access to affordable point-of-use purification technologies. Nanomaterials offer new possibilities for improving the efficiency of low-cost filters because of their high surface area, reactivity and antimicrobial properties. This study aimed to develop and evaluate silver nanoparticle-coated ceramic filters combined with activated carbon composites for household drinking water treatment in Hyderabad. Ceramic filters were produced from local clay mixed with rice husk as a pore-forming agent and coated with silver nanoparticles synthesised through a green method using plant extracts. Activated carbon was prepared from agricultural residues and modified with iron oxide nanoparticles to enhance arsenic adsorption. The materials were characterised using scanning electron microscopy, X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy and surface area analysis. Filter performance was evaluated using real water samples collected from household taps, hand pumps and canals, measuring flow rate, turbidity reduction, removal of Escherichia coli and total coliforms, arsenic and fluoride removal and organic contaminant reduction. Silver leaching into treated water was monitored to ensure safety. The results demonstrated that the combined system achieved high removal of bacterial contamination and turbidity, while the iron-modified activated carbon effectively reduced arsenic concentrations. Silver release remained well below drinking water guidelines, and filters maintained satisfactory performance over prolonged use. Household users found the filters convenient and affordable. The study concludes that locally produced nanomaterial-enhanced filters can improve drinking water safety in low-income communities.

Keywords: nanomaterials, water purification, silver nanoparticles, ceramic filters, activated carbon, drinking water, Pakistan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SEEPAGE CONTROL AND SLOPE STABILITY ANALYSIS OF RECHARGE DAMS IN WADI SYSTEMS UNDER HYPER-ARID CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Hinai, Dr. Mohammed Al-Maskari, Assis. Prof. Dr. Badar Al-Mamari
Sultan Qaboos University, College of Engineering, Department of Civil and Architectural Engineering, Muscat, Oman
University of Nizwa, College of Engineering and Architecture, Department of Civil and Environmental Engineering, Nizwa, Oman

ABSTRACT

In arid countries such as Oman, where rainfall is scarce and highly irregular, groundwater is the main source of water for domestic use and agriculture. Recharge dams constructed across wadis capture short-lived flash floods and allow water to infiltrate into underlying aquifers, playing a vital role in replenishing groundwater reserves. Most of these structures are embankment dams built from locally available soils and rockfill, and their long-term performance depends on effective seepage control and slope stability under conditions of extreme heat, rapid wetting and drying, and sediment accumulation. This study aimed to analyse seepage behaviour and slope stability of recharge embankment dams in Omani wadi systems and to propose sustainable design improvements for hyper-arid conditions. Representative dams were selected, and field investigations included geotechnical drilling, in situ permeability testing and sampling of embankment and foundation materials. Laboratory tests determined grain size distribution, compaction characteristics, shear strength, permeability and the dispersive and collapsible behaviour of soils. Numerical models based on the finite element method were developed to simulate transient seepage during flood events and subsequent drawdown, while limit equilibrium and strength reduction methods were applied to evaluate slope stability under static and seismic loading. Sediment deposition and its influence on infiltration capacity were also assessed. The results revealed that rapid drawdown following floods and the presence of dispersive soils posed significant risks of internal erosion and slope instability. Fine sediment accumulation in reservoirs considerably reduced recharge efficiency over time. Design measures such as filter zones, geosynthetic liners, upstream slope protection and periodic sediment removal improved stability and performance. Monitoring instruments such as piezometers and settlement markers were recommended to support early detection of developing problems. The study concludes that climate-sensitive design and maintenance practices are essential for the safe and efficient operation of recharge dams.

Keywords: embankment dams, recharge dams, seepage analysis, slope stability, arid regions, groundwater recharge, Oman

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

EVALUATION OF ADAPTIVE SIGNAL CONTROL AND CONNECTED VEHICLE TECHNOLOGIES FOR REDUCING CONGESTION ON URBAN CORRIDORS IN MUSCAT

Dr. Maryam Al-Lawati, Prof. Dr. Saif Al-Busaidi
Sultan Qaboos University, College of Engineering, Department of Civil and Architectural Engineering, Muscat, Oman
German University of Technology in Oman, Faculty of Engineering and Computer Science, Department of Logistics, Tourism and Service Management, Muscat, Oman

ABSTRACT

Rapid urban growth, high rates of private vehicle ownership and a linear city form stretched along the coast have made traffic congestion an increasing concern in Muscat. Congestion leads to longer travel times, higher fuel consumption, greater emissions and reduced road safety, while the scope for building new roads is limited by geography and cost. Intelligent transportation systems offer an alternative by making better use of existing infrastructure through real-time monitoring and control. This study aimed to evaluate the performance of adaptive traffic signal control and connected vehicle technologies in reducing congestion on major urban corridors in Muscat. Traffic data were collected from loop detectors, video cameras and probe vehicles along selected arterial roads and intersections, and travel time surveys were conducted during peak and off-peak periods. A microscopic traffic simulation model of the study corridors was developed and calibrated against observed traffic volumes, speeds and queue lengths. Several scenarios were evaluated, including the existing fixed-time signal plans, adaptive signal control based on real-time detection, coordinated signal timing along corridors, and vehicle-to-infrastructure communication providing speed advisories to drivers. Performance indicators included travel time, average delay, queue length, number of stops, fuel consumption and emissions. A survey of drivers explored public attitudes towards connected vehicle technologies. The results showed that adaptive signal control considerably reduced delays and queue lengths, especially during peak hours, and corridor coordination further improved traffic flow. Speed advisories reduced the number of stops and fuel consumption, with benefits increasing as the proportion of connected vehicles grew. Public transport priority at signals was also tested and improved bus travel time reliability along the corridors. Drivers expressed generally positive attitudes but raised privacy concerns. The study concludes that smart traffic management technologies can substantially improve urban mobility in Muscat and supports their phased implementation.

Keywords: smart traffic management, adaptive signal control, connected vehicles, traffic simulation, urban mobility, Oman

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF HYBRID SOLAR PHOTOVOLTAIC AND BATTERY STORAGE MICROGRIDS FOR OFF-GRID VILLAGES IN DHOFAR AND AL WUSTA

Assis. Prof. Dr. Talal Al-Kharusi, Dr. Huda Al-Zadjali, Ahmed Al-Ghafri
Sultan Qaboos University, College of Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Muscat, Oman
National University of Science and Technology, College of Engineering, Department of Electrical and Communication Engineering, Muscat, Oman

ABSTRACT

Many remote communities in the interior and southern regions of Oman are located far from the national electricity grid and have traditionally relied on diesel generators for power. Diesel supply is costly, logistically challenging and environmentally damaging, and generators are prone to breakdowns that interrupt essential services. At the same time, Oman receives some of the highest levels of solar irradiation in the world, making solar energy a natural option for rural electrification. Hybrid microgrids that combine photovoltaic generation with battery storage and backup generators can provide reliable and sustainable power for isolated villages. This study aimed to carry out a techno-economic assessment of hybrid solar photovoltaic and battery storage microgrids for off-grid villages in the Dhofar and Al Wusta governorates. Load profiles were developed through field surveys of households, schools, clinics, mosques and small businesses, while solar irradiation and temperature data were obtained from ground stations and satellite databases. Several system configurations were modelled and optimised using microgrid simulation software, considering different photovoltaic capacities, battery technologies, diesel backup options and energy management strategies. Performance indicators included net present cost, levelised cost of energy, renewable fraction, fuel consumption, emissions and supply reliability. Sensitivity analyses examined the effects of fuel prices, component costs, dust accumulation on panels and high ambient temperatures. The results showed that hybrid systems with a high solar share and lithium-ion storage achieved the lowest lifetime costs and substantially reduced diesel consumption and emissions compared with diesel-only supply. Dust and heat reduced photovoltaic output, but regular cleaning and appropriate panel cooling limited these losses. The study concludes that solar-powered hybrid microgrids are a technically reliable and economically attractive solution for electrifying remote Omani communities.

Keywords: solar energy, microgrids, battery storage, rural electrification, techno-economic analysis, Oman

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SYMMETRY PROPERTIES OF CAYLEY GRAPHS AND THEIR ROLE IN THE DESIGN OF FAULT-TOLERANT INTERCONNECTION NETWORKS

Assoc. Prof. Dr. Gor Avagyan
Yerevan State University, Faculty of Mathematics and Mechanics, Department of Algebra and Geometry, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

Symmetry plays a fundamental role in graph theory, and the automorphism group of a graph provides a precise algebraic description of its structural regularity. Cayley graphs, which are constructed from groups and their generating sets, are naturally vertex-transitive and therefore offer a rich framework for studying how algebraic properties translate into combinatorial and structural features. These graphs have attracted considerable attention in computer science because many interconnection networks used in parallel computing, data centres and distributed systems, including hypercubes, star graphs and butterfly networks, can be described as Cayley graphs. This study investigates the symmetry properties of selected families of Cayley graphs and examines their implications for the design of fault-tolerant interconnection networks. Particular attention is given to the relationship between the structure of the underlying group, the choice of generating set and the full automorphism group of the resulting graph. Conditions under which Cayley graphs are normal, arc-transitive or distance-transitive are analysed, and methods for determining their automorphism groups are discussed using techniques from permutation group theory. The connection between symmetry and key network parameters, such as diameter, connectivity, edge-connectivity, fault diameter and routing complexity, is then explored. It is shown that high symmetry allows routing algorithms and fault-tolerance strategies developed for a single vertex to be extended uniformly to the entire network, which simplifies both theoretical analysis and practical implementation. Several constructions based on semidirect products and wreath products are presented, yielding graphs with favourable trade-offs between degree, diameter and robustness. The results suggest that algebraic symmetry is not only an elegant mathematical property but also a powerful design principle for building reliable and efficient network architectures. Directions for future research on non-normal Cayley graphs and dynamic networks are outlined.

Keywords: automorphism groups, Cayley graphs, vertex-transitive graphs, interconnection networks, fault tolerance, algebraic graph theory

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

WELL-POSEDNESS AND NUMERICAL APPROXIMATION OF NONLINEAR PARABOLIC EQUATIONS WITH NONLOCAL BOUNDARY CONDITIONS

Dr. Hasmik Tadevosyan, Assis. Prof. Dr. Davit Mkrtchyan
Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Department of Differential Equations, Yerevan, Armenia
Yerevan State University, Faculty of Informatics and Applied Mathematics, Department of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

Partial differential equations form the mathematical foundation for describing diffusion, heat transfer, fluid flow, population dynamics and many other processes in science and engineering. Among them, nonlinear parabolic equations are of particular importance because they model evolution processes in which the rate of change depends on the state of the system itself. In many applications, such as thermoelasticity, chemical diffusion and biological transport, classical local boundary conditions are not sufficient, and nonlocal conditions that relate boundary values to integrals over the domain or to values at interior points arise naturally. These conditions introduce significant mathematical difficulties, since standard energy methods and maximum principles may no longer apply directly. This study addresses the well-posedness and numerical approximation of a class of nonlinear parabolic equations subject to nonlocal boundary conditions. The existence and uniqueness of weak solutions are established using the Galerkin method combined with compactness arguments and monotonicity techniques, under suitable growth and coercivity assumptions on the nonlinear terms. Continuous dependence of solutions on initial data and on the parameters of the boundary conditions is proved, and regularity results are obtained for smoother data. The long-time behaviour of solutions is also examined, and conditions for decay towards equilibrium are identified. On the computational side, a finite element discretisation in space combined with implicit time-stepping schemes is proposed, and a priori error estimates are derived. Special treatment of the nonlocal terms is developed to preserve the stability of the discrete scheme. Numerical experiments confirm the theoretical convergence rates and illustrate the influence of nonlocal effects on solution behaviour. The study contributes to a unified analytical and computational framework for nonlocal problems.

Keywords: partial differential equations, parabolic equations, nonlocal boundary conditions, well-posedness, finite element method, numerical analysis

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

MULTIPLE TIME SCALE METHODS AND BIFURCATION ANALYSIS OF COUPLED NONLINEAR OSCILLATORS IN PHYSICAL SYSTEMS

Prof. Dr. Karen Simonyan, Dr. Gayane Hovsepyan, Ashot Galstyan
Yerevan State University, Faculty of Physics, Department of Theoretical Physics, Yerevan, Armenia
Armenian State Pedagogical University after Khachatur Abovyan, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

Nonlinear dynamical systems are central to the mathematical modelling of physical phenomena, ranging from mechanical vibrations and electrical circuits to laser dynamics and biological rhythms. Systems of coupled nonlinear oscillators are especially important because they display a remarkable variety of behaviour, including synchronisation, energy transfer between modes, periodic and quasi-periodic motion and chaos. Since exact solutions are rarely available, asymptotic methods provide essential analytical tools for understanding the qualitative behaviour of such systems when small parameters are present. This study applies multiple time scale methods and bifurcation analysis to investigate the dynamics of weakly coupled nonlinear oscillators with damping and periodic forcing. Using the method of multiple scales, slow-flow equations describing the evolution of amplitudes and phases are derived, and both primary and internal resonance conditions are examined. The fixed points of the slow-flow system, corresponding to periodic responses of the original equations, are determined, and their stability is analysed through linearisation and the computation of eigenvalues. Saddle-node, pitchfork and Hopf bifurcations are identified, and the conditions under which the system undergoes transitions between synchronous and asynchronous regimes are characterised. The validity of the asymptotic approximations is assessed by comparison with direct numerical integration of the full equations and with numerical continuation techniques. The results reveal that the strength and type of coupling strongly influence the bifurcation structure, and that internal resonance can lead to efficient and sometimes irreversible energy transfer between oscillators. Regions of multistability and hysteresis are identified, which are relevant for vibration control and energy harvesting devices. The study demonstrates that combining asymptotic methods with bifurcation theory yields deep insight into complex nonlinear physical systems.

Keywords: nonlinear dynamics, coupled oscillators, multiple time scales, asymptotic analysis, bifurcation theory, mathematical physics

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

IDEAL CLASS GROUPS AND LATTICE STRUCTURES IN ALGEBRAIC NUMBER FIELDS WITH APPLICATIONS TO POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY

Assoc. Prof. Dr. Shreya Kulkarni, Dr. Aditya Venkataraman
Indian Statistical Institute, Theoretical Statistics and Mathematics Unit, Kolkata, India
Chennai Mathematical Institute, Department of Mathematics, Chennai, India

ABSTRACT

Algebraic number theory, once regarded as one of the purest branches of mathematics, has become an essential foundation for modern cryptography. Classical public-key systems rely on the presumed difficulty of factoring integers and computing discrete logarithms, but these problems can be solved efficiently by quantum algorithms, motivating the search for cryptographic schemes that remain secure in a post-quantum era. Lattice-based cryptography, particularly constructions based on ideal lattices and module lattices arising from rings of integers in number fields, is among the most promising approaches. This study investigates the arithmetic of ideal class groups and the geometry of ideal lattices in algebraic number fields, with a focus on their implications for the security and efficiency of post-quantum cryptographic schemes. The structure of ideal class groups and unit groups in cyclotomic and other families of number fields is analysed, and the relationship between algebraic invariants and geometric properties of the corresponding lattices is examined using tools from the geometry of numbers. Particular attention is given to the hardness of the shortest vector problem and related problems in ideal lattices, and to recent algorithms that exploit the algebraic structure of these lattices. The study further explores how choices of number fields, ring structures and module ranks affect key sizes, computational cost and resistance to known attacks. The results indicate that the additional algebraic structure that makes ideal lattices efficient may, in certain fields, also introduce vulnerabilities, whereas module lattices provide a more balanced compromise between security and performance. Number fields with large class groups and favourable unit structures are identified as more robust choices. The study highlights the continuing importance of deep number-theoretic research for designing secure cryptographic systems.

Keywords: algebraic number theory, ideal class groups, lattice-based cryptography, post-quantum cryptography, number fields

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

DEEP REINFORCEMENT LEARNING STRATEGIES FOR SOLVING LARGE-SCALE COMBINATORIAL OPTIMISATION PROBLEMS

Prof. Dr. Ramesh Iyer, Dr. Pooja Srinivasan, Assis. Prof. Dr. Harish Bhat
Indian Institute of Technology Delhi, Department of Mathematics, New Delhi, India
Indian Institute of Science Education and Research Pune, Department of Data Science, Pune, India

ABSTRACT

Combinatorial optimisation problems, such as the travelling salesman problem, vehicle routing, scheduling, facility location and graph partitioning, arise in logistics, manufacturing, telecommunications and many other fields. Most of these problems are computationally hard, and exact algorithms become impractical as problem size grows, so practitioners rely on heuristics and metaheuristics that often require extensive problem-specific design and tuning. Recent advances in machine learning have opened new possibilities for automatically learning effective solution strategies from data. This study investigates deep reinforcement learning strategies for solving large-scale combinatorial optimisation problems and examines their strengths and limitations relative to classical optimisation methods. Problems are formulated as sequential decision processes in which an agent constructs or improves solutions step by step, receiving rewards based on solution quality. Graph neural networks and attention-based architectures are employed to represent problem instances, enabling the learned policies to generalise across instances of different sizes and structures. Several training approaches, including policy gradient methods, actor–critic algorithms and imitation learning from solutions produced by exact solvers, are compared. Hybrid frameworks that integrate learned policies with local search, branch-and-bound procedures and large neighbourhood search are also developed. Experiments are conducted on benchmark instances of routing, scheduling and graph problems, and the approaches are evaluated in terms of solution quality, computational time and generalisation to unseen instance distributions. The results show that learned policies can produce high-quality solutions rapidly, often matching well-established heuristics, and that hybrid methods combining learning with classical search achieve the best overall performance. Generalisation to substantially larger instances remains challenging, and theoretical guarantees are limited. The study concludes that machine learning and mathematical optimisation are complementary, and their integration offers a promising direction for future research.

Keywords: machine learning, combinatorial optimisation, deep reinforcement learning, graph neural networks, heuristics, operations research

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

REACTION–DIFFUSION MODELS FOR THE SPATIOTEMPORAL SPREAD OF GROUNDWATER CONTAMINANTS IN HETEROGENEOUS AQUIFERS

Assoc. Prof. Dr. Manoj Tiwari, Dr. Kavya Reddy, Dr. Siddharth Chauhan, Neha Pandey, Dr. Gaurav Mishra
Banaras Hindu University, Institute of Science, Department of Mathematics, Varanasi, India
Indian Institute of Technology Roorkee, Department of Hydrology, Roorkee, India

ABSTRACT

Groundwater is a vital source of drinking water and irrigation in India, yet it is increasingly threatened by contamination from industrial effluents, agricultural chemicals, landfill leachates and naturally occurring substances such as arsenic and fluoride. Predicting how contaminants spread through aquifers over space and time is essential for risk assessment, remediation planning and water resource management. Mathematical models based on partial differential equations provide a rigorous framework for describing the transport and transformation of contaminants in porous media. This study develops and analyses reaction–diffusion–advection models for the spatiotemporal spread of groundwater contaminants in heterogeneous aquifers. The models incorporate advection by groundwater flow, hydrodynamic dispersion, adsorption onto the solid matrix and chemical or biological degradation, and allow spatially varying hydraulic conductivity and dispersion coefficients to represent geological heterogeneity. Existence, uniqueness and positivity of solutions are established, and stability properties of steady states are analysed. Travelling wave solutions are studied to characterise the propagation speed of contaminant fronts, and the influence of heterogeneity on front shape and speed is examined using homogenisation and perturbation methods. A finite volume numerical scheme with flux limiters is developed to accurately capture sharp concentration fronts while avoiding spurious oscillations. The models are applied to case studies of nitrate and arsenic contamination in alluvial aquifers of the Ganga basin, using field data for calibration. The results demonstrate that heterogeneity significantly accelerates contaminant spreading along preferential pathways and produces irregular plume shapes that cannot be captured by homogeneous models. Adsorption and degradation substantially slow the advance of contaminant fronts. Scenario simulations indicate that targeted pumping strategies could limit plume migration. The study highlights the value of mathematical modelling for environmental decision-making.

Keywords: partial differential equations, reaction-diffusion models, groundwater contamination, spatiotemporal modelling, numerical methods, India

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SPECTRAL THEORY AND FIXED POINT METHODS FOR NONLINEAR INTEGRAL OPERATORS IN BANACH SPACES

Assoc. Prof. Dr. Fatma Al-Kindi, Dr. Hilal Al-Siyabi
Sultan Qaboos University, College of Science, Department of Mathematics, Muscat, Oman

ABSTRACT

Nonlinear operators acting on function spaces arise naturally in the study of differential and integral equations, mathematical physics, population dynamics and control theory. Understanding their spectral properties and the existence and stability of their fixed points is essential for establishing the solvability of the underlying problems and for predicting the qualitative behaviour of their solutions. While the spectral theory of linear operators is well developed, extending its concepts to nonlinear operators presents substantial difficulties, since the familiar notions of eigenvalues, resolvents and spectra do not carry over directly. This study investigates spectral properties and fixed point methods for classes of nonlinear integral operators of Hammerstein and Urysohn type acting in Banach spaces of continuous and integrable functions. Several notions of nonlinear spectrum, including those based on asymptotic linearity, Lipschitz-type conditions and measures of noncompactness, are compared and their relationships are clarified. Conditions are established under which nonlinear eigenvalue problems admit positive solutions, using cone theory, topological degree and bifurcation arguments. Fixed point theorems of Schauder, Krasnoselskii and Darbo type are applied to prove existence results, while contraction principles are used to obtain uniqueness and continuous dependence on parameters. The stability of fixed points is analysed by relating the spectral properties of the Fréchet derivative to the local behaviour of the nonlinear operator. Illustrative applications to boundary value problems and integral equations arising in mathematical biology and heat conduction are presented. The results show that combining spectral considerations with measures of noncompactness provides sharper existence and stability criteria than classical approaches. The study contributes to the general theory of nonlinear operators and offers analytical tools applicable to a wide range of applied problems.

Keywords: nonlinear operators, spectral theory, fixed point theorems, Banach spaces, integral equations, functional analysis

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

INTUITIONISTIC FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY IN ENVIRONMENTAL AND HEALTH DATA

Dr. Yousuf Al-Hashmi, Assis. Prof. Dr. Muna Al-Farsi, Dr. Rashid Al-Jabri
Sultan Qaboos University, College of Science, Department of Mathematics, Muscat, Oman
University of Nizwa, College of Arts and Sciences, Department of Mathematical and Physical Sciences, Nizwa, Oman

ABSTRACT

Real-world data are often imprecise, incomplete or subject to subjective interpretation, which makes classical mathematical models based on crisp sets and exact values inadequate for many practical problems. Fuzzy set theory provides a framework for representing vagueness by allowing elements to belong to sets with degrees of membership, and fuzzy logic systems have been successfully applied in control, classification and decision support. However, conventional fuzzy sets assign only a single membership degree and cannot explicitly represent hesitation or lack of knowledge. Intuitionistic fuzzy sets extend this framework by assigning both membership and non-membership degrees, thereby capturing an additional dimension of uncertainty. This study develops intuitionistic fuzzy inference systems for decision-making under uncertainty and applies them to environmental and health data. The mathematical foundations of intuitionistic fuzzy sets are reviewed, and new similarity measures, distance measures and aggregation operators are proposed and their properties are proved. These tools are incorporated into an inference system with rule bases constructed from expert knowledge and data-driven learning, and defuzzification methods appropriate for intuitionistic outputs are developed. The system is applied to two case studies: the assessment of air quality and dust storm risk in arid environments, and the early risk evaluation of type 2 diabetes using clinical indicators. Its performance is compared with classical fuzzy inference systems, statistical models and machine learning classifiers. The results show that the intuitionistic fuzzy approach handles conflicting and incomplete information more effectively and produces decisions that are more consistent with expert judgement. The explicit representation of hesitation provides decision-makers with valuable information about the reliability of model outputs. The study concludes that intuitionistic fuzzy systems are powerful tools for modelling uncertain real-world data.

Keywords: fuzzy logic, intuitionistic fuzzy sets, uncertainty modelling, decision-making, inference systems, applied mathematics

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SPATIAL ANALYSIS OF INFORMAL SETTLEMENT EXPANSION AND FUTURE URBAN GROWTH SCENARIOS IN HERAT CITY, AFGHANISTAN

Mohammad Nasir Rahimi, Prof. Dr. Hiroshi Takeuchi
Hokkaido University, Graduate School of Engineering, Division of Architecture and Urban Planning, Sapporo, Japan

ABSTRACT

Afghan cities have experienced rapid and largely unplanned growth over recent decades, driven by rural-to-urban migration, the return of refugees, internal displacement and limited employment opportunities in rural areas. Herat, one of the country's oldest and most important urban centres, has expanded considerably beyond its historic core, with a large share of new development taking the form of informal settlements built without formal permits, infrastructure or tenure security. This uncontrolled expansion places pressure on agricultural land, water resources and public services, and makes long-term planning increasingly difficult. This study aimed to analyse the spatial patterns of informal settlement expansion in Herat and to develop future urban growth scenarios that can inform planning decisions. Multi-temporal satellite imagery was classified to map land use and land cover changes, and the expansion of built-up areas was quantified using landscape metrics and spatial statistics. Factors influencing the location of informal growth, including proximity to roads, the city centre, irrigation canals and employment areas, as well as slope, land ownership and existing services, were examined using logistic regression and multi-criteria evaluation within a geographic information system. A cellular automata and Markov chain model was then calibrated to simulate future growth under alternative scenarios, ranging from continued trends to compact development and agricultural land protection. The results revealed that informal settlements expanded mainly along major roads and on the urban fringe, consuming productive farmland and creating fragmented, low-density patterns. Accessibility to transport networks and affordability of land were the strongest drivers of expansion. Scenario simulations indicated that guided compact growth could accommodate future population while preserving agricultural areas. Such patterns also raised the cost of infrastructure. The study recommends integrating informal areas into formal planning through land regularisation and infrastructure provision.

Keywords: urban growth, informal settlements, land use change, cellular automata, urban planning, Afghanistan

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

THE ROLE OF SENSE OF PLACE AND STREET DESIGN QUALITIES IN PEDESTRIAN ACTIVITY: A COMPARISON OF HISTORIC STREETS IN TABRIZ AND FAMAGUSTA

Assoc. Prof. Dr. Shahram Mahdavinejad, Dr. Negar Saberi
Eastern Mediterranean University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Famagusta, North Cyprus
University of Tabriz, Faculty of Civil Engineering, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Walkability has become a central concern in contemporary urban design because of its contribution to public health, social interaction, local economic vitality and environmental sustainability. While research on walkability has traditionally focused on physical factors such as density, land use mix, connectivity and pedestrian infrastructure, there is growing recognition that the meaning and identity of places also shape how people experience and use streets. Historic streets in particular carry strong cultural and symbolic associations that may encourage people to walk, linger and engage in social activities. This study investigated the role of sense of place and street design qualities in pedestrian activity through a comparative analysis of two historic mixed-use streets: a traditional bazaar street in Tabriz, Iran, and Istiklal Avenue in the walled city of Famagusta, North Cyprus. A mixed-methods approach was adopted, combining systematic observation of pedestrian flows and stationary activities, behavioural mapping, audits of urban design qualities such as enclosure, human scale, transparency, complexity and imageability, and questionnaire surveys of residents, shopkeepers and visitors. The questionnaire measured place attachment, place identity, perceived safety, comfort and walking frequency. Structural equation modelling was used to explore relationships between physical qualities, sense of place and pedestrian behaviour. The results showed that both streets attracted high levels of pedestrian activity, but for partly different reasons. In Tabriz, strong place identity rooted in commercial traditions and social networks was the primary motivator, whereas in Famagusta, historic architecture, active frontages and leisure uses played a more important role. In both cases, sense of place mediated the effect of physical design on walking. The study concludes that preserving place identity should be an integral part of walkability strategies in historic urban areas.

Keywords: walkability, sense of place, place identity, historic streets, urban design, pedestrian behaviour

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

TRANSFORMING POST-INDUSTRIAL RIVERFRONTS: PUBLIC SPACE QUALITIES AND SPATIAL CONFIGURATION IN CONTEMPORARY GERMAN CITIES

Prof. Dr. Katrin Hofmann, Jonas Weber, Dr. Matthias Schulze
Technical University of Munich, School of Engineering and Design, Department of Architecture, Chair of Urban Design, Munich, Germany
HafenCity University Hamburg, Faculty of Urban Planning, Hamburg, Germany

ABSTRACT

Waterfront areas have long been central to the economic and social life of cities, serving as ports, industrial zones and transport hubs. The decline of traditional port and industrial activities in the late twentieth century left many urban waterfronts vacant or underused, creating both challenges and opportunities for urban regeneration. In recent decades, German cities have undertaken ambitious waterfront redevelopment projects that seek to reconnect urban populations with rivers and harbours while accommodating housing, offices, cultural facilities and recreational spaces. This study examined the spatial conditions and public space qualities of renewed riverfronts as a distinct contemporary urban space typology, focusing on selected projects in Hamburg, Düsseldorf, Frankfurt and Cologne. A comparative case study approach was applied, combining morphological analysis of plans and sections, space syntax analysis of spatial configuration and accessibility, field observations of public life and interviews with planners, designers and users. The analysis considered the relationship between buildings and water, the continuity and permeability of waterfront promenades, the integration of flood protection infrastructure, the diversity of activities and the presence of ecological features. The findings revealed that successful waterfronts shared certain spatial characteristics, including continuous public access along the water, strong visual and physical links to the existing city fabric, flexible open spaces that could host varied activities and careful integration of flood defences into the public realm. Projects dominated by high-end office and residential uses tended to produce less inclusive spaces with limited activity outside working hours. Space syntax results indicated that waterfronts well integrated into the urban street network supported more intensive public use. Ecological features also enhanced biodiversity and user comfort. The study concludes that renewed waterfronts can become vibrant public spaces when design prioritises accessibility, diversity and climate adaptation.

Keywords: urban waterfronts, public space, urban regeneration, space syntax, spatial typology, Germany

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

RETHINKING STREETS FOR PEOPLE: MICROCLIMATE, GREEN INFRASTRUCTURE AND ACTIVE MOBILITY IN THE SUPERBLOCKS OF VITORIA-GASTEIZ

Dr. Emily Carter
HafenCity University Hamburg, Faculty of Urban Planning, Hamburg, Germany

ABSTRACT

Cities around the world are reconsidering the role of streets, which in the twentieth century were largely designed to accommodate motor vehicles at the expense of pedestrians, cyclists and public life. The superblock model, which reorganises groups of urban blocks so that through traffic is diverted to perimeter roads while interior streets are reclaimed for people, has attracted international attention as a strategy for improving environmental quality and liveability. Vitoria-Gasteiz in the Basque Country was one of the pioneers of this approach and offers a valuable case for examining its long-term effects. This study investigated the interaction between microclimate, green infrastructure and active mobility at the human scale within the superblocks of Vitoria-Gasteiz. Field measurements of air temperature, humidity, wind speed, surface temperature, noise and air pollutants were conducted in transformed interior streets and in conventional streets with traffic. Daylight and shading conditions were analysed using three-dimensional modelling, and the distribution of trees, permeable surfaces and sustainable drainage elements was mapped. Pedestrian and cyclist counts, activity mapping and intercept surveys were used to assess changes in use and perceptions of comfort and safety. Environmental simulation tools were applied to evaluate thermal comfort under summer heat conditions. The results showed that superblock streets had lower noise levels, reduced concentrations of traffic-related pollutants and improved thermal comfort, particularly where tree canopies and permeable surfaces were extensive. Sustainable drainage features contributed to stormwater management. Walking, cycling and stationary activities such as sitting and children's play increased considerably, and residents reported a stronger sense of community. Concerns were raised about traffic displacement to perimeter roads. The study concludes that superblocks can create healthier and more ecological urban environments when integrated with citywide mobility planning.

Keywords: superblocks, urban ecology, microclimate, green infrastructure, active mobility, human-scale design

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

OPERATIONAL PERFORMANCE AND SAFETY EVALUATION OF ROUNDABOUTS CONVERTED TO SIGNALISED INTERSECTIONS IN ENUGU METROPOLIS

Assoc. Prof. Dr. Chukwuemeka Obiora Nnadi, Dr. Ifeoma Agu
University of Nigeria, Enugu Campus, Faculty of Environmental Studies, Department of Urban and Regional Planning, Enugu, Nigeria

ABSTRACT

Rapid urbanisation and increasing vehicle ownership in Nigerian cities have placed growing pressure on road networks, resulting in congestion, delays and road safety problems, particularly at intersections. In many cities, roundabouts and priority-controlled junctions that functioned adequately under lower traffic volumes have been converted to signal-controlled intersections in an effort to improve traffic flow. Such conversions involve significant public investment, yet their actual effects on traffic operations and safety are rarely evaluated systematically after implementation. This study aimed to evaluate the operational performance and safety outcomes of roundabouts converted to signalised intersections in Enugu metropolis. Selected intersections were studied before and after conversion using traffic volume counts, turning movement surveys, travel time measurements, queue length observations and video recordings during morning, midday and evening peak periods. Intersection performance was analysed using capacity and level of service methods, and microscopic traffic simulation was employed to compare the existing signal timing with optimised timing plans and alternative designs. Road traffic crash records were obtained from the relevant authorities and complemented by traffic conflict analysis to assess safety. Pedestrian movements and the behaviour of commercial motorcycles and tricycles, which form a large part of urban traffic, were also examined. Surveys of drivers, pedestrians and traffic wardens explored perceptions of the changes. The results showed that signalisation improved traffic discipline and reduced conflicts between turning vehicles at some intersections, but delays and queue lengths increased at others because signal timings were not adapted to actual traffic demand. Frequent power outages disrupted signal operation, and inadequate pedestrian facilities exposed walkers to risk. Optimised timing and improved pedestrian crossings substantially enhanced performance in simulations. Motorcycle and tricycle movements further complicated signal operations. The study recommends evidence-based intersection design and reliable power supply for signals.

Keywords: traffic signals, intersection performance, roundabouts, road safety, traffic simulation, Nigeria

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

FLEXIBILITY AND RIGIDITY IN TERRITORIAL SPATIAL PLANNING: THE IMPLEMENTATION OF URBAN MASTER PLANS IN YUZHONG DISTRICT, CHONGQING

Li Wenjing, Prof. Dr. Chen Guoliang, Dr. Wang Haoran
Chongqing University, School of Architecture and Urban Planning, Chongqing, China
Tongji University, College of Architecture and Urban Planning, Department of Urban Planning, Shanghai, China

ABSTRACT

Urban master plans in China are intended to provide long-term guidance for land use, infrastructure and spatial development, yet in practice they are frequently revised before the end of their planning period. Rapid economic growth, shifting national policies, investment pressures and local government priorities have often led to repeated adjustments, raising concerns about the authority, stability and effectiveness of planning. The recent reform towards an integrated territorial spatial planning system seeks to resolve conflicts between different types of plans and strengthen the legal status of planning, but the tension between flexibility and rigidity remains a key issue. This study examined the implementation and adjustment of urban master plans in Yuzhong District, the historic and commercial core of Chongqing, as a case for understanding this tension. Successive master plans and their revisions were analysed through document review, and spatial changes in land use, density and functional zoning were mapped using geographic information systems and remote sensing data. Semi-structured interviews were conducted with planning officials, designers, developers and community representatives to explore the motivations behind plan adjustments and the decision-making processes involved. The analysis distinguished between adjustments responding to legitimate changes in development conditions and those driven mainly by short-term economic interests. The findings revealed that frequent adjustments were associated with land-based fiscal dependence, major infrastructure projects and urban renewal initiatives, and that the mountainous topography and limited land supply of Yuzhong intensified development pressures. While some adjustments improved adaptability, others weakened the protection of historic areas and public spaces. Public participation in these adjustment processes was found to be limited. The study concludes that a balanced planning system should combine strict control of essential elements, such as ecological and heritage protection, with transparent and participatory procedures for adapting other elements.

Keywords: urban master planning, territorial spatial planning, plan adjustment, planning implementation, urban governance, China

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

SHARED LIVING IN DIVIDED CITIES: ARCHITECTURE, COLLECTIVE HOUSING AND EVERYDAY COEXISTENCE IN NICOSIA

Assoc. Prof. Dr. Andreas Constantinou, Dr. Eleni Georgiou
University of Nicosia, School of Architecture, Engineering and Design, Department of Architecture, Nicosia, Cyprus
University of Cyprus, Polytechnic School, Department of Architecture, Nicosia, Cyprus

ABSTRACT

Contemporary cities are increasingly shaped by overlapping crises, including economic instability, housing shortages, climate change, migration and, in some places, long-standing political division. These conditions challenge conventional models of housing and urban life and call for new architectural approaches that support adaptability, solidarity and coexistence. Nicosia, the last divided capital in Europe, offers a unique context in which the physical separation of communities, the decline of the historic centre and changing social needs intersect. This study explored emerging forms of hybrid and shared living in Nicosia and examined how architecture and collective housing can foster everyday coexistence in a divided city. The research combined architectural and urban analysis of selected housing projects, adaptive reuse schemes and informal shared living arrangements in the walled city and its surroundings, with ethnographic observation and interviews with residents, architects, community organisations and local authorities. Particular attention was paid to the design of thresholds between private and communal spaces, the flexibility of dwelling units, the integration of workspaces and cultural activities, and the use of courtyards, rooftops and streets as shared environments. Design workshops with students and residents were used to test speculative proposals. The findings revealed that hybrid living arrangements, which mix housing with work, cultural production and social support, were emerging as practical responses to economic pressures and as spaces where people from different backgrounds could meet. Traditional Cypriot spatial elements, such as courtyards and semi-open spaces, proved particularly effective in mediating between privacy and community. Regulatory frameworks and property fragmentation were identified as obstacles. The study concludes that architecture can play an active role in building resilient and inclusive communities across divisions.

Keywords: hybrid living, collective housing, shared space, divided cities, architecture, Nicosia

BALKAN 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 24 – 29, 2026 – SKOPJE
ISBN NR: 978-625-8795-50-9

BOARD INTERLOCKS, OWNERSHIP CONCENTRATION AND FIRM PERFORMANCE IN CENTRAL EUROPEAN LISTED COMPANIES

Dr. Tomáš Dvořák, Assoc. Prof. Dr. Lucie Svobodová
Prague University of Economics and Business, Faculty of Finance and Accounting, Department of Corporate Finance, Prague, Czech Republic
Masaryk University, Faculty of Economics and Administration, Department of Finance, Brno, Czech Republic

ABSTRACT

Corporate governance plays a crucial role in shaping how companies are directed and controlled, influencing investor confidence, access to capital and long-term performance. In the post-transition economies of Central Europe, governance structures have been shaped by privatisation processes, concentrated ownership, the presence of business groups and evolving legal frameworks. One distinctive feature of these economies is the prevalence of interlocking directorates, in which the same individuals sit on the boards of multiple companies. Board interlocks can facilitate information sharing, resource access and strategic coordination, but they may also reduce board independence, encourage collusion and entrench the interests of dominant shareholders. This study examined the relationships between board interlocks, ownership concentration and firm performance among listed companies in the Czech Republic, Slovakia, Poland and Hungary. Data on board composition, director affiliations, ownership structure and financial performance were collected from annual reports, stock exchange disclosures and commercial databases. Social network analysis was used to map the network of interlocking directorates and to calculate measures of centrality, density and clustering. Panel regression models, controlling for firm size, leverage, industry and macroeconomic conditions, were estimated to assess the effects of network position and ownership concentration on accounting and market-based performance indicators. Instrumental variable methods were applied to address potential endogeneity. The results showed that the director networks were relatively dense and concentrated around a small number of highly connected individuals and financial institutions. Moderate levels of interlocking were associated with improved performance, particularly for firms with dispersed ownership, whereas extensive interlocks combined with concentrated ownership were linked to weaker market valuation. Firms connected to state-owned enterprises or banks displayed distinctive patterns, reflecting the lasting influence of privatisation on networks. The study concludes that governance reforms should promote board independence and transparency regarding director affiliations.

Keywords: corporate governance, interlocking directorates, ownership concentration, firm performance, social network analysis, Czech Republic