CONFERENCE BOOK

AKDENİZ 16. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

TUNUS
17 - 22 EYLÜL 2026

AKDENİZ
16. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



AKDENIZ
16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 17 - 22, 2026
TUNIS

ISBN: 978-625-8795-48-6
Published by : Academy Global Publishing House

www.akdenizkongresi.org

AKDENIZ 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 17 - 22, 2026
TUNIS

Edited By
PROF. DR. HULYA CICEK

Issued: 20.10.2026
ISBN NR. : 978-625-8795-48-6

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 31 papers have been presented by Turkish participants and 37 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.akdenizkongresi.org Contact: akdenizkongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

AKDENIZ 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

SEPTEMBER 17 - 22, 2026

TUNIS

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Tanzania – Nigeria- Japan- Romania- Indonesia- Moldova- Azerbaijan- Greece- Qatar- Singapore- UAE -

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

Head of Conference: Prof. Dr. Hülya Çiçek

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

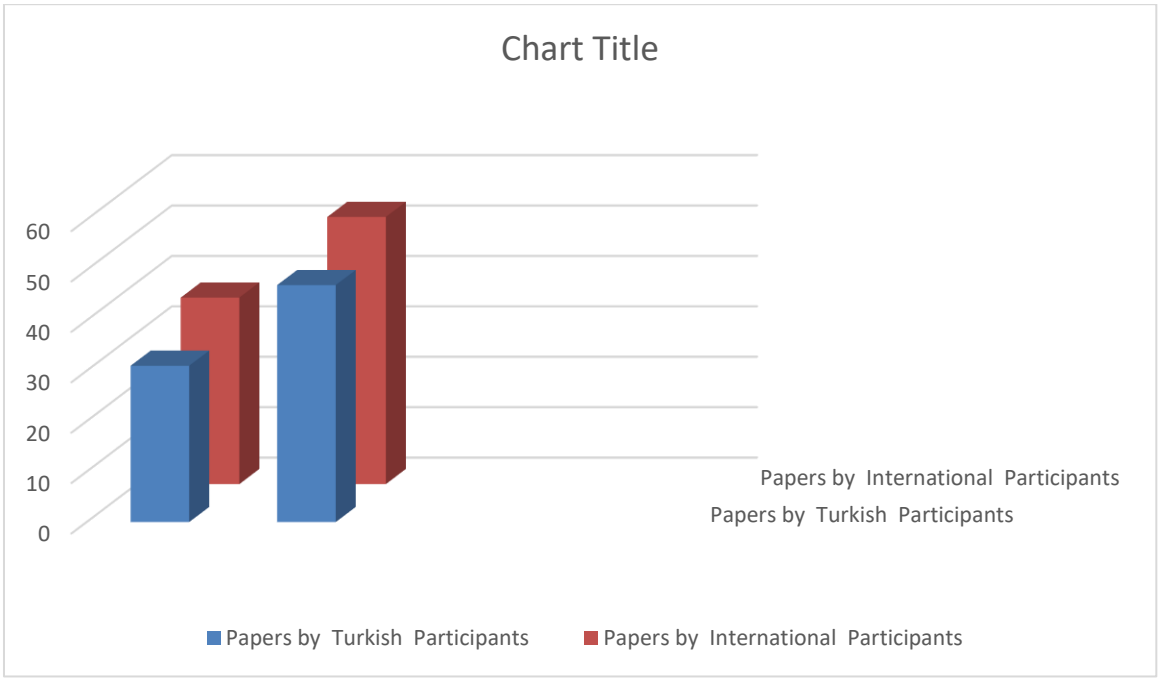
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	31	47
Papers by International Participants (11 Countries)	37	53



AKDENIZ 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
SEPTEMBER 17 - 22, 2026 - TUNIS

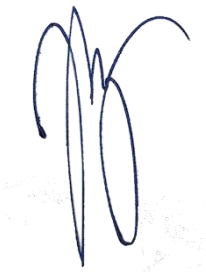
NO : **AC- 16A - 2026. 361T– 3864**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 20/10/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **AKDENIZ 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PPLIED SCIENCES** kongresi 17-22 Eylül 2026 tarihlerinde Tunus'ta 12 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 68 bildirinin 31'i Türkiye'den, 37'si ise farklı 11 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 Çiçek

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.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AKDENIZ ART 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
September 17 - 22, 2026
TUNIS

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,

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Hayati MAMUR**	1	Multi-Class Classification of Diabetes Health Indicators Using Deep Neural Networks and SMOTE	Dr. Öğr. Üyesi Gözde Özsert Yiğit Dr. Öğr. Üyesi İlkay Sibel Kervancı
		2	HALKA AÇIK KANSER GENOMU ATLASI (TCGA-GBM) KLİNİK VERİ SETİNİN TEMİZLENMESİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ	Dr.öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI Dr.öğr.Üyesi Gözde Özsert YİĞİT
		3	CLOUD-BASED ACCOUNTING SYSTEMS FOR FINANCIAL ANALYSIS AND FORECASTING USING OCR AND MACHINE LEARNING	MSc. Student, Berkay KOŞAK Assoc. Prof. Dr. Fatih YÜCALAR
		4	APPLICATION OF A CAN-BASED COMMUNICATION SYSTEM FOR SECURE VOICE COMMUNICATION IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS	Efe İSHAKOĞLU Hayati MAMUR
		5	DESIGN AND DIGITAL TWIN-BASED ANALYSIS OF A GRAVITY-BASED ENERGY STORAGE SYSTEM FOR WIND ENERGY APPLICATIONS	Alperen VARDAR Hayati MAMUR
		6	INVESTIGATION OF SEASONALITY IN MATHEMATICAL MODELS USING FRACTIONAL DERIVATIVES	Asistant Professor, Mehmet Akif ÇETİN

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN**	1	NEOFUTURISM: THE NEW FUTURE OF ARCHITECTURE? OR THE ARCHITECTURE OF THE FUTURE?	Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN
		2	PARASİTİC ARCHITECTURE	Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN
		3	İÇ MİMARİ GÖRSELLEŞTİRMEDE ANTİ-RENDER YAKLAŞIMI: YAPAY ZEKÂ DESTEĞİYLE İDEALİZE EDİLMİŞ TEMSİLDEN KULLANILAN MEKÂNIN TEMSİLİNE	Arş. Gör. Dr. Emre PINAR
		4	EKOTURİZM ARAŞTIRMALARINDA AHP KULLANIMI: ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ, TEMALAR VE BİLİMSEL AĞLARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Prof. Dr. Tuğba KİPER Dr. Öğr. Üyesi Emine KELEŞ ÖZGENÇ
		5	ECO-ANGER IN THE CLIMATE CRISIS: UNDERSTANDING AN EMOTIONAL RESPONSE TO ENVIRONMENTAL DEGRADATION	Doç. Dr. Çiçek EDİZ Doç. Dr. Derya YANIK
		6	TEMPERATURE, AIR POLLUTION, AND MENTAL HEALTH: NEW ENVIRONMENTAL THREATS TO PSYCHIATRIC WELL-BEING	Doç. Dr. Çiçek EDİZ Doç. Dr. Derya YANIK

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Prof.Dr.Ramazan İLGÜN**	1	MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE KALİTE GÜVENCE AÇISINDAN AMBALAJ KAYNAKLI RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Kalite Güvence Mühendisi, Özgü Nur KAHRAMAN
		2	MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE TEDARİKÇİ YÖNETİMİNİN GIDA GÜVENLİĞİ VE KALİTE PERFORMANSINA ETKİSİ	Kalite Güvence Yöneticisi, Hilal TÜFENK TEKERCİOĞLU
		3	Salmonella Anatum Foodborne Outbreak Associated with Cheese Consumption: Epidemiological, Microbiological, and Public Health Evaluation	Dr. Öğr. Üyesi Salim YAKUT Dr. Süleyman YALÇIN Dr. Öğr. Üyesi Aydın BOZKAYA Doç. Dr. Tuba DAMAR ÇAKIRCA Prof. Dr. Fadile YILDIZ ZEYREK
		4	BIOTECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN THE MANAGEMENT OF THE EUROPEAN GRAPEVINE MOTH (Lobesia botrana Denis & Schiffermüller) IN VINEYARDS	Prof. Dr. Mehmet KAPLAN
		5	BIOTIC FACTORS ADVERSELY AFFECTING INSECT REPRODUCTION IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS	Prof. Dr. Mehmet KAPLAN
		6	EVALUATIONS OF MACRO-ANATOMICAL CHANGES IN DAIRY CATTLE AGED 1–5 YEARS FROM PREGNANCY TO THE DRY PERIOD	Prof.Dr.Ramazan İLGÜN
		7	APPROACHES TO DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN VETERINARY MEDICINE AND RURAL LIVESTOCK FARMING	Prof.Dr.Ramazan İLGÜN

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR**	1	DEVELOPMENT OF A RUBBER-TIPPED GLOVE PROTOTYPE AND EVALUATION OF ITS PERFORMANCE IN THE FEATHER PLUCKING OPERATION	Gülcan AVCIOĞLU Kıvılcım ATEŞ ÇAKIROĞLU
		2	EFFECT OF STRESS RELIEF HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF LASER POWDER BED FUSION 316L STAINLESS STEEL	Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR Prof. Dr. Ali Fatih YETİM
		3	Low-Velocity Impact Performance and Optimum Alloy Selection of Aluminum Alloys Used in Aerospace	Mustafa Dündar
		4	OPTIMIZATION OF VENTILATION SYSTEMS AGAINST FIRE RISK IN UNDERGROUND COAL MINES THROUGH NUMERICAL MODELING AND SCENARIO ANALYSIS	Berke SAĞIR Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR
		5	UTILIZATION OF IRON ORE PROCESSING WASTES IN CEMENT-BASED MORTARS THROUGH MECHANICAL AND CHEMICAL ACTIVATION	Zeynep Tuana ÜÇÜNCÜ Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL
		6	EFFECT OF VOLUMETRIC REPLACEMENT OF NATURAL SAND WITH BLACK MASS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT MORTARS	Lect. Serpil AĞIRMAN Assoc. Prof. Dr. Barış BAYRAK Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
		7	DEMİRYOLU YOLCU TAŞIMA HİZMETLERİNDE TEKNİK İYİLEŞTİRME ÖNCELİKLERİNİN KALİTE EVİ İLE BELİRLENMESİ	Yousef ALGHUSHAIMI Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ziyaeddin BULUM

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. HÜSEYİN ÜNAL**	1	TOXIC DYE REMOVAL USING AEROGEL-BASED MATERIALS	Dr., NERGİZ KANMAZ Doç. Dr., ŞEYDA KARADİREK Doç. Dr., MEHMET BUĞDAYCI
		2	THE USAGE OF METAL-ORGANIC FRAMEWORK-SUPPORTED COMPOSITE IN ANTIBIOTIC ADSORPTION	Doç. Dr., BATUHAN YARDIMCI Dr., NERGİZ KANMAZ
		3	FLEXURAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED THERMOSET POLYURETHANE (PUR) POLYMER COMPOSITES	Chemical Engineer AHMET ÇETİNTAŞ Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL
		4	A COMPARISON OF THE COMPRESSIVE PROPERTIES OF POLYURETHANE-BASED COMPOSITES WITH DIFFERENT GLASS FIBER LENGTHS	Chemical Engineer AHMET ÇETİNTAŞ Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL
		5	EFFECT OF POLYMER ENCAPSULATION ON THE PHOTOCATALYTIC EFFICIENCY OF SEMICONDUCTOR MATERIAL IN THE PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE	Dr Refik ARAT

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assist. Prof. Duygu YAMAN**	1	DİJİTAL PAZARLAMADA ALGORİTMİK KÜRATÖRLÜK: TÜKETİCİ ÖZERKLİĞİNİN SATIN ALMA NİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Dr. Öğretim Üyesi, Şeyda OK
		2	DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN MUHASEBE BİLGİ SİSTEMLERİNDEKİ RAPORLAMA SÜREÇLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Doktora Öğrencisi, Büşra UTANGAÇ Doç. Dr. Murat KARAHAN
		3	THE NEW FACE OF SMART SHOPPING: PERCEIVED LUXURY PRICE UNFAIRNESS AND DUPE PURCHASE INTENTION	Dr. Öğr. Üyesi, Burak LEBLEBİCİOĞLU
		4	İNSAN MERKEZLİ YAPAY ZEKA VE İŞİN GELECEĞİ: BİBLİYOMETRİK ANALİZ ÇALIŞMASI	Öğr. Gör., Beyza ÖZDEM Doç. Dr., Canan YILDIRAN
		5	THE TRANSFORMATION OF SUSTAINABILITY COMMUNICATION IN THE CONTEXT OF GREENWASHING AND GREENHUSHING	Öğr. Gör, Merve BABAL
		6	FRIENDSHORING AND NEARSHORING STRATEGIES: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GLOBAL SUPPLY CHAIN RESILIENCE AND COMPETITIVENESS	Öğr. Gör, Merve BABAL
		7	FROM SUSTAİNABİLİTY RHETORİC TO GREENWASHİNG: A DOCUMENT ANALYSİS WİTHİN THE FRAMEWORK OF THE SİNCERİTY PARADOX	Assist. Prof. Duygu YAMAN

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ**	1	TÜRKİYE'DE SOSYAL HİZMET LİSANS PROGRAMLARINDA TOPLUMA HİZMET ODAKLI DERSLERİN YAYGINLIĞI, MÜFREDATTAKİ KONUMU VE STANDARTLAŞMA DÜZEYİ	Dr. Öğr. Üyesi, Hazal SWEARINGER Cumali KAYGISIZ
		2	KRALİÇE ARI SENDROMU: TOPLUMSAL CİNSİYET TEMELLİ BİR DEZAVANTAJIN SOSYAL HİZMET PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		3	OKUL SOSYAL HİZMETİ GEREKLİLİK DEĞİL ZORUNLULUKTUR	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		4	ÇOCUK GELİNLER VE SOSYAL HİZMET	Doç.Dr. Hüseyin BATMAN Doç.Dr. Cumhur GÜNGÖR
		5	SUÇA SÜRÜKLENEN ÇOCUKLAR, EĞİTİM TEDBİRİ VE OKUL SOSYAL HİZMETİ UYGULAMASI	Doç.Dr. Hüseyin BATMAN Doç.Dr. Cumhur GÜNGÖR
		6	Physical Literacy Among Parents: Active Living and Individual Differences	Yüksek Lisans Öğrencisi, Nazire YİĞİTER Dr.Öğr.Üyesi, Mensur PEHLİVAN
		7	ÇOCUKLAR İÇİN BÜYÜYEN BİR RİSK: SHARENTING	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		8	YAS SÜRECİNİN SOSYAL HİZMET PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr., BEYZA HATİPOĞLU ERKOÇ
		9	TÜRKİYE'DE DAMGALA(N)MA KONULU TEZLERE İLİŞKİN BİR KAPSAM DERLEMESİ	Arş. Gör. Dr. Ayşe Nur BOZ Arş. Gör. Sümeyye AYDOĞDU KUZUCU

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Levan Beridze**	1	INTEGRATING DIGITAL TECHNOLOGIES IN RURAL KAZAKHSTANI PRIMARY EDUCATION FOR ENHANCED STUDENT ENGAGEMENT	Dr. Aigerim Nurgaliyeva Dr. Yerzhan Kairatov Dana Sarsenova
		2	STEM EDUCATION REFORMS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN KAZAKHSTAN URBAN HIGH SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva Nursultan Tolegenov Aidana Bekbolatova
		3	TEACHER TRAINING PROGRAMS FOR INCLUSIVE EDUCATION IN IRANIAN SPECIAL NEEDS SCHOOLS	Dr. Reza Ahmadi Soraya Mahmoudi
		4	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR CULTURAL HERITAGE EDUCATION IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Hassan Rezaei Fatemeh Karimi
		5	BLENDED LEARNING MODELS IMPACT ON STUDENT PERFORMANCE IN PAKISTANI PUBLIC UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Imran Malik Dr. Sana Rehman
		6	VOCATIONAL EDUCATION REFORMS ADDRESSING UNEMPLOYMENT IN RURAL PAKISTAN	Ayesha Zubair Muhammad Faisal
		7	BILINGUAL EDUCATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN GEORGIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Nino Tsiklauri Dr. Levan Beridze
		8		

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Blerta Shala**	1	POSTCOLONIAL THEMES IN CONTEMPORARY PHILIPPINE NOVELS ADDRESSING LABOR MIGRATION TRAUMA	Prof. Dr. Maria Theresa Santos Dr. Jose Rizalino Cruz Luzviminda Reyes
		2	FEMINIST REINTERPRETATIONS OF MYTHOLOGY IN MODERN FILIPINO POETRY ANTHOLOGIES	Assoc. Prof. Dr. Elena Vasquez Ramon Dela Cruz Sofia Magdalena
		3	ARABIC POETIC FORMS EVOLUTION IN EGYPTIAN CONTEMPORARY LITERATURE UNDER POLITICAL CENSORSHIP	Dr. Ahmed El-Sayed Fatma Nour Karim Abdel Rahman
		4	NARRATIVES OF IDENTITY CRISIS IN POST-REVOLUTIONARY EGYPTIAN SHORT FICTION	Prof. Dr. Layla Hassan Mohamed Salem
		5	BALKAN IDENTITY CONFLICTS IN ALBANIAN DIASPORA LITERATURE WRITTEN IN TIRANA	Assoc. Prof. Dr. Luan Rama Ermal Hoxha Anila Kuci
		6	OTTOMAN LEGACIES IN MODERN ALBANIAN NOVELS EXPLORING COSMOPOLITAN ISTANBUL MEMORIES	Dr. Blerta Shala Flamur Leka
		7	POST-SOVIET GEORGIAN POETRY CYCLES REFLECTING CIVIL WAR TRAUMA AND NATIONAL REVIVAL	Prof. Dr. Nino Tsiklauri Levan Beridze Mariam Kapanadze
		8	SYMBOLISM OF MOUNTAIN MYTHOLOGY IN CONTEMPORARY GEORGIAN FOLK TALE ADAPTATIONS	Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze Giorgi Gelashvili Dr. Irakli Chikhradze Nato Javakhishvili

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Eleni Papadakis**	1	DIGITAL TRANSFORMATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR NIGERIAN SMEs IN POST-PANDEMIC ECONOMY	Prof. Dr. Chinedu Okeke Emeka Nwankwo
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN PRACTICES IN NIGERIA'S OIL AND GAS INDUSTRY	Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf Adebayo Ogunleye Chioma Adewale
		3	TOURISM MARKETING STRATEGIES FOR GREEK ISLANDS IN COMPETITIVE MEDITERRANEAN MARKET	Dr. Eleni Papadakis Nikos Stavrou Maria Kostopoulos
		4	FAMILY BUSINESS GOVERNANCE MODELS IN CONTEMPORARY GREEK ENTERPRISES	Prof. Dr. Dimitri Karamanos Sophia Antoniou
		5	AGILE PROJECT MANAGEMENT ADOPTION IN ALBANIAN IT STARTUP ECOSYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Erion Veliaj Anita Hoxha Lorin Kuka
		6	CROSS-BORDER E-COMMERCE DEVELOPMENT PROSPECTS FOR ALBANIAN RETAIL SECTOR	Dr. Blerta Lame Flamur Basha
		7	OIL DEPENDENCY DIVERSIFICATION THROUGH NON-ENERGY EXPORT PROMOTION IN AZERBAIJAN	Prof. Dr. Elnur Mammadov Dr. Aysel Karimova Farid Huseynov
		8		

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Fatima Begum**	1	THE IMPACT OF CHINA'S BELT AND ROAD INITIATIVE ON BANGLADESH'S FOREIGN POLICY AUTONOMY	Assis. Prof. Dr. Rahman Karim Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum Dr. Arif Hossain
		2	INDO-BANGLADESH WATER SHARING DISPUTES AND THEIR IMPLICATIONS FOR REGIONAL STABILITY	Sadia Islam Dr. Md. Faisal Ahmed Nusrat Jahan
		3	IRAQI-KURDISH FEDERALISM TENSIONS AND THEIR EFFECTS ON REGIONAL SECURITY DYNAMICS	Dr. Ali Hassan Al-Rawi Dr. Sara Mahmoud
		4	IRAN-IRAQ RELATIONS POST-ISIS: ENERGY DIPLOMACY AND SECTARIAN RECONCILIATION	Assoc. Prof. Dr. Khalid Omar Zainab Al-Sayed
		5	ALBANIA'S EU ACCESSION NEGOTIATIONS AND NATO INTEGRATION CHALLENGES	Prof. Dr. Liridon Sinani Dr. Anila Suljoti Ermal Deda
		6	TURKISH INFLUENCE IN THE WESTERN BALKANS: ALBANIA'S STRATEGIC POSITIONING	Assoc. Prof. Dr. Dorina Thanasi Blerta Hoxha
		7	AZERBAIJAN-GEORGIA-TÜRKIYE ENERGY CORRIDOR AND CASPIAN REGIONAL STABILITY	Prof. Dr. Elnur Paşa Dr. Leyla Aliyeva Assoc. Prof. Dr. Vugar Salamov

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Asanalieva**	1	MICROFINANCE IMPACTS ON RURAL HOUSEHOLD INCOME DIVERSIFICATION IN BANGLADESH	Prof. Dr. Rahman Karim Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum Dr. Md. Alamgir Hossain
		2	CLIMATE CHANGE EFFECTS ON BANGLADESH RICE PRODUCTION AND FOOD SECURITY POLICY	Dr. Shafiqul Islam Sultana Akter Md. Rafiqul Hasan
		3	AGING POPULATION CHALLENGES AND PENSION SYSTEM REFORMS IN JAPAN	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Assoc. Prof. Dr. Yumi Sato Kenji Nakamura
		4	ABENOMICS FISCAL POLICY EVALUATION AND JAPANESE PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY	Dr. Aiko Yamamoto Takeshi Kobayashi
		5	REMITTANCE FLOWS AND ECONOMIC GROWTH DYNAMICS IN KYRGYZSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Asanalieva Dr. Bakyt Torogeldiev Aida Tursunalieva
		6	ENERGY SECTOR REFORMS AND MACROECONOMIC STABILITY IN KYRGYZSTAN	Prof. Dr. Erlan Abdyldaev Nurlanbek Omuraliev

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet**	1	STRATEGIC MANAGEMENT OF OCCUPATIONAL HEALTH SERVICES IN LARGE-SCALE INDUSTRIAL ORGANIZATIONS: IMPROVING EMPLOYEE WELL-BEING, PRODUCTIVITY, AND CORPORATE SUSTAINABILITY	Prof. Dr. Youssef El Mansouri Dr. Salma Benjelloun Karim Ait Haddou
		2	THE ROLE OF OCCUPATIONAL PHYSICIANS IN REDUCING WORKPLACE STRESS AND PREVENTING PROFESSIONAL BURNOUT: EVIDENCE FROM MODERN BUSINESS ENVIRONMENTS	Assoc. Prof. Dr. Nadia El Amrani Omar Chafik
		3	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF WORKPLACE HEALTH PROMOTION PROGRAMS IN ENHANCING EMPLOYEE PERFORMANCE AND ORGANIZATIONAL COMMITMENT	Prof. Dr. Arben Kola Dr. Elira Hoxha Klevis Dervishi Mirela Shehu
		4	DIGITAL TRANSFORMATION IN OCCUPATIONAL MEDICINE: UTILIZING HEALTH INFORMATION SYSTEMS FOR WORKFORCE RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT	Assis. Prof. Dr. Gentian Leka Erisa Marku
		5	THE IMPACT OF OCCUPATIONAL HEALTH SURVEILLANCE ON EMPLOYEE RETENTION AND CORPORATE PERFORMANCE IN THE PRIVATE SECTOR	Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi Dr. Reem Al-Shammari Abdullah Al-Enezi
		6	INTEGRATING PREVENTIVE OCCUPATIONAL MEDICINE INTO HUMAN RESOURCE STRATEGIES: A FRAMEWORK FOR HEALTHIER AND MORE PRODUCTIVE WORKPLACES	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Harbi
		7	ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN WORK ENVIRONMENT QUALITY, OCCUPATIONAL HEALTH INDICATORS, AND EMPLOYEE SATISFACTION IN KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATIONS	Prof. Dr. Jean-Luc Martin Claire Dubois Dr. Antoine Lefevre
		8	OCCUPATIONAL HEALTH RISK MANAGEMENT IN MULTINATIONAL COMPANIES: CHALLENGES, BEST PRACTICES, AND POLICY IMPLICATIONS	Assis. Prof. Dr. Sophie Bernard Dr. Mathieu Laurent

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Assoc. Prof. Dr. Dorian Leka**	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND SME PERFORMANCE IN EMERGING MOROCCAN MARKETS	Prof. Dr. Youssef El Mansouri Dr. Nadia Benkirane Amine El Fassi
		2	STRATEGIC INNOVATION AND ENTREPRENEURIAL GROWTH IN MOROCCAN FAMILY BUSINESSES	Assoc. Prof. Dr. Karim Ait Baha Salma Rachidi
		3	SUSTAINABLE TOURISM MANAGEMENT AND REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT IN ALBANIA	Prof. Dr. Arben Kodra Dr. Elira Hoxha Assoc. Prof. Dr. Dorian Leka Besa Marku
		4	DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION IN ALBANIAN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES	Dr. Ilir Meta Erion Kallaku Arta Gjini
		5	ISLAMIC FINTECH ADOPTION AND FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES IN KUWAIT	Prof. Dr. Abdullah Al-Mutairi Dr. Sara Al-Harbi Nasser Al-Fahad
		6	CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND OIL-DEPENDENT ECONOMY DIVERSIFICATION IN KUWAIT	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Sabah Mariam Al-Otaibi
		7	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS DECISION MAKING AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN FRANCE	Prof. Dr. Jean-Luc Moreau Dr. Sophie Lambert Assoc. Prof. Dr. Pierre Dubois Claire Martin
		8		

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet**	1	Ebeveynliğin Dijital Boyutu: Annelerin Paylaşan Ebeveynlik Davranışlarında Öz-Yeterlik ve Stresin Rolü	Dr., Ebru ÇANAKÇI UĞUR Arş. Gör. Dr., Seyyide Şifa GÖKTAŞ Arş. Gör. Dr., Erkin SARI
		2	Dijital Kimliğin İnşasında Problemli Sosyal Medya Kullanımı: FoMO, Dijital Estetik ve Cinsiyetin Rolü	Dr., Ebru ÇANAKÇI UĞUR Arş. Gör. Dr., Seyyide Şifa GÖKTAŞ Dr. Öğr. Üyesi, Hasan BATMAZ
		3	ÖZGÜL ÖĞRENME BOZUKLUĞUNUN PSİKOSOSYAL MÜDAHALESİ	Arş. Gör. Dr., Sevim ADALI KARLIĞA Dr. Öğr. Üyesi, Özge SARIOT-ERTÜRK
		4	YAYGIN KAYGI BOZUKLUĞUNUN TEDAVİSİNDE UYGULAMALI GEVŞEMENİN ETKİLİLİĞİ: SİSTEMATİK BİR DERLEME	Arş. Gör. Dr. Sevim ADALI KARLIĞA
		5	MARITAL QUALITY AS A PREDICTOR OF INFIDELITY TENDENCY IN MARRIED INDIVIDUALS	Öğr. Gör. Ahmet TÜRK Dr. Öğr. Üyesi Cezmi ERVÜZ Dr. Öğr. Üyesi Feyza ÖZLER ERVÜZ
		6	FEAR OF MARRIAGE (GAMOPHOBIA) WITH ITS COGNITIVE, EMOTIONAL, AND BEHAVIORAL DIMENSIONS: A COMPARISON OF INDIVIDUALS FROM DIVORCED AND NON-DIVORCED FAMILIES	Öğr. Gör. Ahmet TÜRK Dr. Öğr. Üyesi Cezmi ERVÜZ Dr. Öğr. Üyesi Feyza ÖZLER ERVÜZ
		7	SERVİKAL YETERSİZLİK TANISI ALAN GEBELERDEKİ DOĞUM KORKUSU ÜZERİNE	Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet
		8	FROM COMMON FATE TO PSYCHOLOGICAL WELL-BEING: SOCIAL IDENTITY, SOCIAL SUPPORT, AND COLLECTIVE EFFICACY	Süleyman Barış ABAY Assistant Professor Nuri AKDOĞAN

No: 2

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026
TUNIS
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

18 Eylül / Sept 18, 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	DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA	1	TÜRKİYE'DEN ALMANYA'YA ÖĞRETMEN GÖREVLENDİRME UYGULAMASININ BOLMAN VE DEAL'İN DÖRT ÇERÇEVE MODELİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	Aysel DERELİOĞLU Prof. Dr. Yılmaz TONBUL
		2	Cyber-loafing in Classes: A Comparative Study on University Students	Doç. Dr. Tebessüm Ayyıldız DURHAN Arş. Gör. Seyfettin YILMAZ Prof. Dr. Serkan KURTİPEK
		3	An Investigation of University Students' Academic Life Satisfaction in Terms of Various Variables	Doç. Dr. Tebessüm Ayyıldız DURHAN Arş. Gör. Seyfettin YILMAZ Prof. Dr. Serkan KURTİPEK
		4	TEACHER CANDIDATES' PERCEPTIONS OF THE CONCEPT OF CRIME: A METAPHOR ANALYSIS STUDY	Prof.Dr.Sevda KOÇ AKRAN
		5	Examining the Relationship Between Leisure Time Management Skills and Orientation Toward Sporting Events Among University Students Residing in Dormitories Affiliated with the General Directorate of Credit and Dormitories	Dr. Mesut BULUT Muhammed Sabit ÇAKMAK Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Prof. Dr. Mehmet Fatih KARAHÜSEYİNOĞLU Merve DURAN
		6	Examining Faculty of Sport Sciences Students' Attitudes Toward Sports Technologies and Hedonic Consumption in Sports	Muhammed Sabit ÇAKMAK Dr. Mesut BULUT Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Prof. Dr. Mehmet Fatih KARAHÜSEYİNOĞLU Merve DURAN
		7	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNDE MÜKEMMELLİYETÇİLİK VE TEKNOLOJİK SPORTİF EKİPMAN BAĞIMLILIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	PROF. DR. SELAHATTİN AKPINAR DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZNUR AKPINAR DOÇ. DR. MELEK KURŞUNEL
		8	SPORCULARDA AKILLI TELEFON BAĞIMLILIĞI İLE BEYİN SİSİ DÜZEYİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA PROF. DR. SELAHATTİN AKPINAR DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZNUR AKPINAR DOÇ. DR. MELEK KURŞUNEL

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Gültekin Gürçay**	1	FROM JANUARY 24 TO SEPTEMBER 12: ECONOMIC PARADIGM SHIFT AND MILITARY RESTORATION IN TURKEY	Dr. Öğr. Üyesi, Şeyda BÜKRÜCÜ KAZKONDU
		2	KAMU MALLARI TEORİSİ PERSPEKTİFİNDEN DİN HİZMETLERİNİN EKONOMİK NİTELİĞİ VE FİNANSMAN MODELLERİ: ULUSLARARASI BİR KARŞILAŞTIRMA	Dr. Öğretim Üyesi, İsmail KOÇ Dr. Öğretim Görevlisi, Ercan YELMAN
		3	DÖNGÜSEL EKONOMİYE GEÇİŞTE YEŞİL VERGİ POLİTİKALARININ VE VERGİSEL TEŞVİKLERİN ROLÜ	Dr. Öğretim Üyesi, İsmail KOÇ Doç. Dr., Aydın BAĞDAT
		4	TÜRKİYE'DE MAKROFİNANSAL BORÇ KIRILGANLIĞI: PCA TABANLI BİLEŞİK ENDEKS VE YAPISAL KIRILMA ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Nedim DİKMEN

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Fatma İNCE**	1	EXAMINING THE RELATIONSHIPS BETWEEN OCCUPATIONAL BURNOUT AND DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS: AN EMPIRICAL STUDY OF HEALTHCARE PROFESSIONALS	Assoc. Prof. Yusuf ÖCEL Assist. Prof. Buket OĞUZ ALRAMAZANOĞLU
		2	RESULT AWARENESS PERCEPTIONS AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS: A CROSS-SECTIONAL STUDY	Assoc. Prof. Yusuf ÖCEL Assist. Prof. Buket OĞUZ ALRAMAZANOĞLU
		3	BUY NOW, PAY LATER: FRICTIONLESS SPENDING, CONSUMER BEHAVIOR, AND FINANCIAL STRESS IN THE DIGITAL ECONOMY	Prof. Dr. Fatma İNCE
		4	HEALTH MISINFORMATION IN THE DIGITAL AGE: RETHINKING TRUST IN HEALTHCARE	Prof. Dr. Fatma İNCE
		5	EMPLOYEE TRUST IN AI-DRIVEN DECISIONS: FAIRNESS IN THE ALGORITHMIC WORKPLACE	Prof. Dr. Fatma İNCE
		6	SAĞLIK HUKUKUNDA MAHREMİYETİN KARŞILAŞTIRMALI HUKUKTA YERİ	Av. Esma Mina BAYRAM

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Amaneh Manafidizaji**	1	LİSE ÖĞRENCİLERİNİN TURİZM ALANINDA EĞİTİM ALMA ve KARİYER YAPMA HEDEFLERİNİN İNCELENMESİ	Lisans Öğrencisi, Doğukan MARAL Arş. Gör. Dr., Gamze ALP
		2	TRANSLATING TRADITIONAL CUISINE INTO CONTEMPORARY GASTRONOMY: A CONCEPTUAL FRAMEWORK PROPOSAL ON AZERBAIJANI CUISINE	Dr. Öğr. Üyesi Damla KILIÇ
		3	THE BLUE PEARL OF LAKE VAN: THE GASTRONOMICAL IDENTITY OF THE PEARL MULLET AND ITS CONTRIBUTION TO REGIONAL TOURISM	Emir TOSUN Dr. Öğr. Üyesi, Erol GEÇGİN
		4	Sağlık Okuryazarlığının Diyet Yapan Bireylerde Diyet Uyum Niyeti Üzerindeki Etkisi : Van İli Örneği	Yüksek Lisans Öğrencisi, Edanur BERGE Dr. Öğretim Üyesi Erol GEÇGİN
		5	THE INFLUENCE OF EMOTİONS ON EATING BEHAVIOR	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Doç. Dr. Rabia BÖLÜKBAŞ
		6	YİYECEK VE İÇECEK SEKTÖRÜNDE DİJİTALLEŞME VE YENİ BİR İŞLETME MODELİ OLARAK BULUT MUTFAKLAR	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Doç. Dr. Rabia BÖLÜKBAŞ

No: 4

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof . Nazile Abdullazade**	1	PAKİSTAN'S DİPLOMATİC SUPPORT FOR TURKEY İN THE CYPRUS ISSUE: 1954–1974	Arş. Gör. Dr. Çiğdem ULUTAŞ
		2	FƏRDİN ŞƏXSİYYƏT KİMİ FORMALAŞMASINDA PEDAQOJİ ÜNSİYYƏT AMİLİ THE FACTOR OF PEDAGOGICAL COMMUNICATION IN THE FORMATION OF AN INDIVIDUAL AS A PERSONALITY	Assoc. Prof . Nazile Abdullazade
		3	EŞME'DE (UŞAK) ARAZİ KULLANIMININ ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ	Dr.Öğr.Üyesi, Sevgi DÖNMEZ
		4	SİNANPAŞA (AFYONKARAHİSAR) İLÇESİNDE TOPOGRAFİK ÖZELLİKLER VE ARAZİ KABİLİYET SINIFLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Öğrt.Üyesi, Sevgi DÖNMEZ

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Zennube ŞAHİN YILMAZ**	1	SOCIAL JUDGMENT IN BERTOLT BRECHT'S SHORT STORY "DIE UNWÜRDIGE GREISIN"	Prof. Dr. Zennube ŞAHİN YILMAZ
		2	THE TECHNIQUE OF INTERNAL FOCALIZATION IN LUISE RINSER'S SHORT STORY "DIE ROTE KATZE"	Prof. Dr. Zennube ŞAHİN YILMAZ
		3	ANNE ARKETİPİ BAĞLAMINDA ALKARISI İNANCI VE ATLAR	Doç. Dr., Ece SERRİCAN KABALCI
		4	BİR ÖYKÜ SEÇKİSİ: ALKARISI	Doç. Dr., Ece SERRİCAN KABALCI
		5	FROM MESOPOTAMIAN MYTHOLOGY TO ABRAHAMIC TEXTS: INDIVIDUAL AND AUTHORITY	Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammet SUNGUR Prof. Dr. Arslan TOPAKKAYA
		6	THE CONSTRUCTION OF SACRED AUTHORITY AND OBJECTIFICATION OF THE INDIVIDUAL IN MESOPOTAMIAN MYTHS: A COMPARISON OF GILGAMESH AND ENUMA ELISH	Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammet SUNGUR Prof. Dr. Arslan TOPAKKAYA

No: 5

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Zainab Musa**	1	CRITICAL DISCOURSE ANALYSIS IN MODERN ARABIC LITERATURE AND IDENTITY CONSTRUCTION	Prof. Dr. Amina El Mansouri Dr. Youssef Benkirane Dr. Salma Rachidi
		2	DIGITAL TRANSFORMATION OF LANGUAGE TEACHING IN MOROCCAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Kettani Dr. Omar Zahir Prof. Dr. Hicham El Amrani
		3	POSTCOLONIAL NARRATIVES AND POWER STRUCTURES IN WEST AFRICAN LITERARY TEXTS	Prof. Dr. Chinedu Okafor Dr. Aisha Bello Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Sani Dr. Grace Nwosu
		4	LINGUISTIC HYBRIDITY AND CULTURAL MEMORY IN CONTEMPORARY NIGERIAN FICTION	Dr. Tunde Adebayo Dr. Zainab Musa Dr. Nkechi Umeh
		5	ORAL TRADITIONS AND MODERN POETIC FORMS IN LIBYAN LITERARY HERITAGE	Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Maghrebi Dr. Salma Faraj Prof. Dr. Abdul Rahman El-Hadi
		6	TRANSLATION STRATEGIES AND SEMANTIC LOSS IN ARABIC-ENGLISH LITERARY TRANSFER Dr. Mariam Al-Darsi	Dr. Fathi Ben Ali Dr. Yasser Mahmoud Dr. Lina Al-Khouri
		7	CULTURAL MEMORY AND INDIGENOUS LANGUAGE PRESERVATION IN CHILEAN LITERATURE	Prof. Dr. Isabel Valdivia Dr. Camila Rojas Assoc. Prof. Dr. Rodrigo Mendoza
		8	NARRATIVE IDENTITY AND SOCIAL TRANSFORMATION IN CONTEMPORARY CHILEAN NOVELS	Dr. Pablo Herrera Prof. Dr. Fernanda Salazar Dr. Matías Contreras Assoc. Prof. Dr. Elena Vargas
		9	ECOCRITICISM AND LANDSCAPE REPRESENTATION IN LATIN AMERICAN POETRY	Assoc. Prof. Dr. Javier Molina Dr. Sofía Reyes Prof. Dr. Diego Fernández

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Madina Kassenova**	1	EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL ETHICS IN MODERN NORTH AFRICAN THOUGHT	Prof. Dr. Youssef El Amrani Dr. Salma Bennis
		2	PHENOMENOLOGICAL READINGS OF IDENTITY AND MEMORY IN CONTEMPORARY MAGHREB PHILOSOPHY	Assoc. Prof. Dr. Amina El Khatib Dr. Rachid Benali Dr. Leila Zahir
		3	AFRICAN COMMUNALISM AND THE LIMITS OF WESTERN INDIVIDUALISM IN MORAL PHILOSOPHY	Dr. John M. Nyerere Assoc. Prof. Dr. Asha K. Mboya Prof. Dr. Elias M. Chuma
		4	ONTOLOGY OF TRADITION: RETHINKING UBUNTU-LIKE CONCEPTS IN EAST AFRICAN EPISTEMOLOGY	Dr. Neema S. Mwinyi Prof. Dr. David O. Kileo
		5	THE DIALECTICS OF MODERNIZATION AND CULTURAL MEMORY IN CENTRAL ASIAN PHILOSOPHICAL DISCOURSE	Dr. Ayan Tursynbek Dr. Madina Kassenova
		6	LOGICAL STRUCTURES AND ETHICAL FORMALISM IN POST-SOVIET PHILOSOPHICAL THOUGHT	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Akhmetov Dr. Gulnara Sadykova Prof. Dr. Timur Zhakupov
		7	CONTEMPORARY SPANISH PRAGMATISM AND THE RECONSTRUCTION OF PUBLIC REASON	Prof. Dr. Javier M. Ortega Dr. Lucia Fernández Assoc. Prof. Dr. Marta I. Ríos
		8		

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Dimitri Papadakis**	1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS	Prof. Dr. Elnur Hasanov Dr. Aysel Mammadova Nigar Aliyeva
		2	PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION	Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov Dr. Leyla Ibrahimova Dr. Farid Rahimov
		3	MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE	Dr. Dimitri Papadakis Eleni Stavrou Prof. Dr. Nikos Karamanos
		4	THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE	Maria Kostopoulou Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos
		5	NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES	Dr. Fatima Al-Mansoori Khalid Rahman Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil
		6	PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN	ARID CLIMATES Prof. Dr. Noor Al-Harethi Sara Hassan
		7	ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE	Dr. Wei Ling Tan Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar Mei Ling Wong
		8	GENOMIC SEQUENCING OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA FROM SINGAPORE AQUACULTURE	Dr. Lim Hui Min Dr. Amir Singh

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Sophia Kiriakou**	1	IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS	Prof. Dr. Elnur Hasanov Assoc. Dr. Aysel Mammadova Nigar Aliyev Kamran Ibrahimov
		2	AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS	Prof. Dr. Chen Li Wei Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini Marcus Tan
		3	VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming Dr. Tan Hui Ling Rajesh Kumar
		4	SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS	Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed Sara Al-Mansoori
		5	WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES	Dr. Fatima Al-Thani Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser Mariam Rahman
		6	ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE	Dr. Sophia Kiriakou Andreas Manolis
		7	OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS	Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas Elena Stavrou Nikos Theodorou
		8	BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY	Dr. Farid Gurbanov Leyla Karimova Rashad Nuriyev

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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	**Dr. Agus Setiawan**	1	ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING	Dr. Aiko Nakamura Kenji Sato
		2	NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi Takeshi Yamamoto Mika Fujimoto
		3	TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS	Dr. Ionela Popa Victor Rusu
		4	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS	Prof. Dr. Maria Ceban Andrei Lupascu Elena Bodarev
		5	TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES	Dr. Sari Wijaya Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso
		6	MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA	Nyoman Pratiwi Dr. Agus Setiawan Lina Kusuma
		7	ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS	Dr. Andrei Popescu Dr. Maria Ionescu

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Fatima Rahman**	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS	Prof. Dr. Reza Jalali Dr. Soraya Mahmoudi Ali Karimi
		2	DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS	Assis. Prof. Dr. Hassan Ahmadi Fatemeh Rezaei
		3	QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES	Dr. Ahmed El-Sayed Nadia Hassan Karim Abdel
		4	GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS	Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem Fatma Ibrahim
		5	ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori Noor Hassan Dr. Fatima Rahman
		6	NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING	Omar Saeed
		7	THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS	Prof. Dr. Andrei Popescu Dr. Maria Ionescu Ionela Dragomir

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES September 17 - 22, 2026 TUNIS Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
18 Eylül / Sept 18, 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. Lucas Kileo**	1	NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato Takeshi Yamamoto
		2	RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION	Dr. Chinedu Okonkwo Ngozi Eze Emeka Nwankwo
		3	BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY	Prof. Dr. Aisha Bello Tunde Adeyemi
		4	TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS	Dr. Juma Mtui Fatuma Ally Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko
		5	NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE	Zainab Mwamba Dr. Lucas Kileo
		6	GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES	Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Beridze Lasha Kapanadze
		7	SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL	Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili Irakli Lomidze Dr. Tamar Chikhradze

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Contents

Multi-Class Classification of Diabetes Health Indicators Using Deep Neural Networks and SMOTE 1

HALKA AÇIK KANSER GENOMU ATLASI (TCGA-GBM) KLİNİK VERİ SETİNİN TEMİZLENMESİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ 16

CLOUD-BASED ACCOUNTING SYSTEMS FOR FINANCIAL ANALYSIS AND FORECASTING USING OCR AND MACHINE LEARNING 23

DESIGN AND DIGITAL TWIN-BASED ANALYSIS OF A GRAVITY-BASED ENERGY STORAGE SYSTEM FOR WIND ENERGY APPLICATIONS 35

APPLICATION OF A CAN-BASED COMMUNICATION SYSTEM FOR SECURE VOICE COMMUNICATION IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS 40

INVESTIGATION OF SEASONALITY IN MATHEMATICAL MODELS USING FRACTIONAL DERIVATIVES..... 45

PARAZİT MİMARİ 46

NEO-FÜTÜRİZM: MİMARİNİN YENİ GELECEĞİ Mİ, GELECEĞİN MİMARİSİ Mİ? 59

İÇ MİMARİ GÖRSELLEŞTİRMEDE ANTİ-RENDER YAKLAŞIMI: YAPAY ZEKÂ DESTEĞİYLE İDEALİZE EDİLMİŞ TEMSİLDEN KULLANILAN MEKÂNIN TEMSİLİNE 78

EKOTURİZM ARAŞTIRMALARINDA AHP KULLANIMI: ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ, TEMALAR VE BİLİMSEL AĞLARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ 79

SICAKLIK, HAVA KİRLİLİĞİ VE RUH SAĞLIĞI: PSİKİYATRİK REFAHI TEHDİT EDEN YENİ ÇEVRESEL TEHDİTLER 97

İKLİM KRİZİNDE EKO-ÖFKE: ÇEVRESEL BOZULMAYA YÖNELİK DUYGUSAL BİR TEPKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 105

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE KALİTE GÜVENCE AÇISINDAN AMBALAJ KAYNAKLI RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 114

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE TEDARİKÇİ YÖNETİMİNİN GIDA GÜVENLİĞİ VE KALİTE PERFORMANSINA ETKİSİ 115

PEYNİR TÜKETİMİYLE İLİŞKİLİ *SALMONELLA ANATUM* GIDA KAYNAKLI SALGIN: EPİDEMİYOLOJİK, MİKROBİYOLOJİK VE HALK SAĞLIĞI DEĞERLENDİRMESİ 116

ÜZÜM BAĞLARINDA SALKIM GÜVESİ (*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller), MÜCADELESİNDE BİYOTEKNOLOJİK GELİŞMELER 119

TARIMSAL EKOSİSTEMDE BÖCEKLERİN ÇOĞALMASINI OLUMSUZ ETKİLEYEN BİYOTİK FAKTÖRLER 129

APPROACHES TO DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN VETERINARY MEDICINE AND RURAL LIVESTOCK FARMING 141

EVALUATIONS OF MACRO-ANATOMICAL CHANGES IN DAIRY CATTLE AGED 1–5 YEARS FROM PREGNANCY TO THE DRY PERIOD 145

KAUÇUK UÇLU ELDİVEN PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE TÜY YOLMA OPERASYONUNDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ 149

DEVELOPMENT OF A RUBBER-TIPPED GLOVE PROTOTYPE AND EVALUATION OF ITS PERFORMANCE IN THE FEATHER PLUCKING OPERATION 150

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EFFECT OF STRESS RELIEF HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF LASER POWDER BED FUSION 316L STAINLESS STEEL 152

HAVACILIKTA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÜŞÜK HIZLI DARBE PERFORMANSI VE OPTİMUM ALAŞIM SEÇİMİ 164

YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE YANGIN RİSKİNE KARŞI HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN SAYISAL MODELLEME VE SENARYO ANALİZİYLE OPTİMİZASYONU 180

DEMİR MADENİ PROSES ATIKLARININ MEKANİK VE KİMYASAL AKTİVASYONLA ÇİMENTO ESASLI HARÇLARDA DEĞERLENDİRİLMESİ 189

EFFECT OF VOLUMETRIC REPLACEMENT OF NATURAL SAND WITH BLACK MASS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT MORTARS 198

DEMİRYOLU YOLCU TAŞIMA HİZMETLERİNDE TEKNİK İYİLEŞTİRME ÖNCELİKLERİNİN KALİTE EVİ İLE BELİRLENMESİ 205

THE USAGE OF METAL-ORGANIC FRAMEWORK-SUPPORTED COMPOSITE IN ANTIBIOTIC ADSORPTION 206

TOXIC DYE REMOVAL USING AEROGEL-BASED MATERIALS 213

FLEXURAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED THERMOSET POLYURETHANE (PUR) POLYMER COMPOSITES 220

A COMPARISON OF THE COMPRESSIVE PROPERTIES OF POLYURETHANE-BASED COMPOSITES WITH DIFFERENT GLASS FIBER LENGTHS 230

EFFECT OF POLYMER ENCAPSULATION ON THE PHOTOCATALYTIC EFFICIENCY OF SEMICONDUCTOR MATERIAL IN THE PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE 243

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS 246

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION 247

MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE 248

THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE 249

NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES 250

PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES 251

ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE 252

IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS 253

AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS 254

VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE 255

SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS 256

WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES.. 257

ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE 258

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS 259

BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY 260

ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING 261

NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT 262

TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS 263

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS .. 264

TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES 265

MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA 266

ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS 267

NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT 268

RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION 269

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY 270

TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS 271

NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE 272

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Multi-Class Classification of Diabetes Health Indicators Using Deep Neural Networks and SMOTE

Dr. Öğr. Üyesi Gözde Özsert Yiğit

Gaziantep University, Computer Engineering Department, gozsertyigit@gantep.edu.tr -

ORCID: 0000-0002-8871-6024

Dr. Öğr. Üyesi İlkay Sibel Kervancı

Gaziantep University, Computer Engineering Department, skervanci@gantep.edu.tr -

ORCID: 0000-0001-5547-1860

ABSTRACT

Diabetes is a chronic disease affecting millions of people worldwide, and early detection of the borderline (prediabetic) stage is critical for effective intervention. Most existing studies treat diabetes prediction as a binary problem and give limited attention to the prediabetic class, even though this group benefits the most from early intervention. This study proposes a deep learning-based framework for three-class diabetes risk classification, Healthy, Borderline, and Diabetic, using the BRFSS 2015 health indicators dataset collected by the U.S. Centers for Disease Control and Prevention. Since the dataset shows strong class imbalance, the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) was applied to balance the training data. A Deep Neural Network (DNN) with three hidden layers was designed on the balanced data and compared with two classical algorithms, Random Forest and Logistic Regression. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, and ROC-AUC. Results show that Random Forest reached the highest overall accuracy (93.16%), while the DNN model, supported by SMOTE, produced more balanced results across all three classes and clearly improved detection of the borderline group compared to training without SMOTE. Logistic Regression performed noticeably worse, especially for the borderline class, reflecting the difficulty of linear models in capturing nonlinear patterns in health survey data. These findings highlight the importance of handling class imbalance in health datasets and show the potential of deep learning to support fair, interpretable, and accurate multi-class diabetes risk assessment for early intervention and clinical decision support.

Keywords: BRFSS, Diabetes, Deep Neural Networks, SMOTE, Multi-class Classification, Random Forest

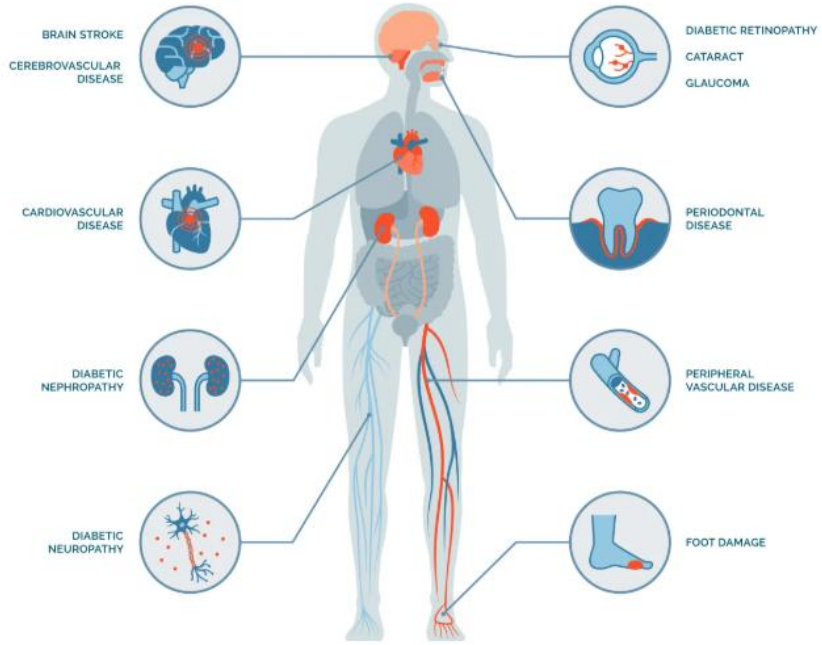
1. INTRODUCTION

Diabetes is a chronic disease that occurs when the pancreas does not produce enough insulin or when the body cannot effectively use the insulin it produces. Insulin is a hormone that regulates blood glucose [1]. Hyperglycemia, also known as high blood glucose, is a common consequence of uncontrolled diabetes and, over time, leads to serious damage to many systems in the body, especially the nerves and blood vessels [2]. Diabetes is a chronic condition

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

affecting millions of people worldwide, and early diagnosis followed by timely treatment is of vital importance [3]. The latest IDF Diabetes Atlas (2025) reports that 11.1% of the adult population (aged 20-79), or 1 in 9 adults, are living with diabetes, and 4 in 10 of them are unaware of their condition [4].

Accurate classification of diabetes, especially the identification of individuals in the "borderline" or prediabetic state, is critical in preventing the progression of the disease. Traditional studies often rely on binary classification, distinguishing only between diabetic and non-diabetic individuals. This approach limits the identification of "borderline" individuals and reduces opportunities for early intervention [5]. Görsel 1 presents a representative illustration depicting the impacts of diabetes on human health, emphasizing the seriousness of the condition.



Görsel 1. The Impacts of Diabetes on Human Health [6]

The increasing use of artificial intelligence in the healthcare domain is enabling the development of novel approaches in areas such as early diagnosis and risk prediction. This study aims to classify individuals into three distinct categories, healthy, borderline, and diabetic, using deep learning methods, based on the Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS) 2015 dataset collected by the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) in the United States.

Due to significant class imbalance in the dataset, SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) was applied to create a more balanced model. This approach enhances the representation of minority classes, allowing the deep neural network to effectively learn from these underrepresented categories. The deep neural network model was evaluated using various

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

performance metrics and compared to traditional methods such as Random Forest and Logistic Regression.

In recent years, numerous machine learning algorithms have been utilized in the literature for diabetes prediction [7, 8]. However, the majority of these studies have focused solely on binary classification problems concerning the presence or absence of diabetes. Studies that directly address the borderline (prediabetic) group remain limited. Moreover, techniques like SMOTE, which generate synthetic data to address class imbalance, have not been adequately explored in the literature [9, 10]. Even newer work published between 2024 and 2026 still mostly treats diabetes prediction as a two-class problem or tests on small clinical datasets, so multi-class detection of the borderline group on a large public survey such as BRFSS is still rare [37, 38, 39].

AI-powered diabetes detection, particularly with the rise of deep learning models, has made significant progress in addressing multi-class classification problems [11, 12]. Although it is not image-based, the BRFSS dataset, rich in behavioral and demographic indicators, serves as a valuable resource for studies in this domain. Researchers are increasingly turning to SMOTE to mitigate the class imbalance issue, which is crucial for the accurate identification of prediabetic individuals [13, 14].

In this context, one of the key contributions of this study is its focus on three-class diabetes classification, the mitigation of data imbalance through SMOTE, and the comparative evaluation of modern approaches such as deep neural networks (DNN) with traditional methods like Random Forest (RF) and Logistic Regression (LR).

Çizelge 1. Literature Studies in Diabetes Prediction

Study	Key Findings
Fernández et al., 2018 [15]	Evaluated the impact of SMOTE on learning performance and provided significant insights for imbalanced datasets
López et al., 2013 [16]	Provided a comprehensive analysis of the effect of SMOTE variations on classification performance
Kaissis et al., 2020 [17]	Presented general insights on medical imaging with a focus on federated learning and secure model training
Javeed et al., 2021 [18]	Achieved high performance in diabetes classification using DNN, with a specific focus on the prediabetic class

The aforementioned studies highlight the effectiveness of various approaches in diabetes classification and further underscore the contribution of the present work, as summarized in Çizelge 1. Fernández et al. [15] and López et al. [16] emphasized the positive impact of the SMOTE technique on classification performance; however, these studies predominantly focused on binary classification tasks. Kaissis et al. [17] explored federated learning in the context of medical imaging, but did not address behavioral data-based multi-class classification

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

scenarios. Although Javeed et al. [18] achieved high accuracy rates using DNN, their analysis specifically targeting the classification of prediabetic individuals remained limited in depth.

Recent studies from 2024 to 2026 confirm that this gap is still open. Abousaber et al. combined several oversampling methods with ensemble models to handle imbalance across multiple diabetes datasets, but their target variable stayed binary [37]. Chowdhury et al. tested different data augmentation techniques directly on the BRFSS dataset, again for a two-class outcome [38]. Islam et al. built an explainable model with SHAP and LIME on a multi-class diabetes dataset, showing that interpretability and multi-class prediction can work together, though their dataset was smaller and clinic-based rather than population-based like BRFSS [39]. Talukder et al. improved diabetes prediction through better data engineering, and Darwish et al. proposed an evaluation framework for prediabetes models ready for clinical use [40, 41]. None of these studies combine a large population-level BRFSS sample, three-class labels, and SMOTE-based balancing with a deep neural network in the way the present study does.

In this context, the present study provides a significant contribution by performing three-class diabetes classification using a behavioral and demographic dataset such as BRFSS 2015, with a particular emphasis on the accurate identification of the prediabetic class. The results demonstrate that DNN architecture, supported by SMOTE, offers an effective approach in terms of both classification accuracy and class balance.

2. DATASET AND METHODS

2.1. Dataset

The dataset used in this study is titled "Diabetes 012 Health Indicators", which was published by the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and made publicly available on the Kaggle platform [19]. This dataset was constructed based on health survey data from the Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS) 2015. It contains health information from a total of 253,680 individuals, including indicators such as physical activity level, alcohol and tobacco use, body mass index (BMI), age, gender, history of hypertension, sleep patterns, and psychological health.

The dataset includes 21 features, presented in Çizelge 2, representing various health indicators related to individuals' medical histories and lifestyle habits.

Çizelge 2. List of Features in the Diabetes 012 Health Indicators Dataset

Feature Name	Description
HighBP	Diagnosis of high blood pressure (0 = No, 1 = Yes)
HighChol	Diagnosis of high cholesterol (0 = No, 1 = Yes)
CholCheck	Cholesterol check within the past 5 years (0 = No, 1 = Yes)
BMI	Body Mass Index
Smoker	Has smoked at least 100 cigarettes in their lifetime (0 = No, 1 = Yes)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Feature Name	Description
Stroke	Has experienced a stroke (0 = No, 1 = Yes)
HeartDiseaseorAttack	History of heart disease or heart attack (0 = No, 1 = Yes)
PhysActivity	Physical activity in the past 30 days (0 = No, 1 = Yes)
Fruits	Regular consumption of fruits (0 = No, 1 = Yes)
Veggies	Regular consumption of vegetables (0 = No, 1 = Yes)
HvyAlcoholConsump	Heavy alcohol consumption (0 = No, 1 = Yes)
AnyHealthcare	Has any kind of health care coverage (0 = No, 1 = Yes)
NoDocbcCost	Could not see a doctor in the past 12 months due to cost
GenHlth	Self-reported general health status (1 = Excellent to 5 = Poor)
MentHlth	Days of poor mental health in the past 30 days
PhysHlth	Days of poor physical health in the past 30 days
DiffWalk	Serious difficulty walking or climbing stairs (0 = No, 1 = Yes)
Sex	Gender (0 = Female, 1 = Male)
Age	13-level age category
Education	Education level (categorical scale)
Income	Income level (categorical scale)

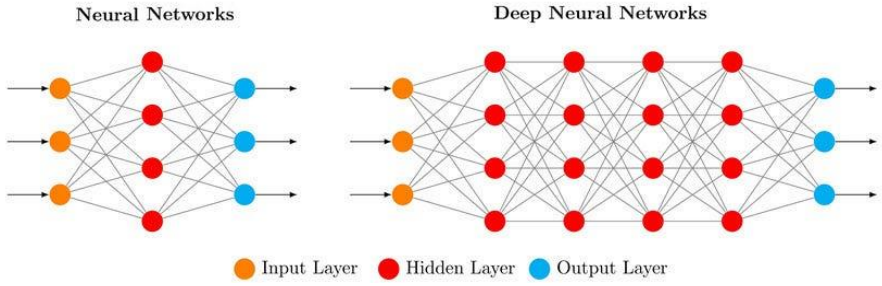
The target variable, Diabetes_012, represents individuals' diabetes status in three categories: 0 = Healthy, 1 = Borderline (Prediabetic), and 2 = Diabetic. A notable class imbalance was observed in the original distribution, class 0 included 213,703 individuals, class 1 contained only 4,631 individuals, and class 2 represented 35,346 individuals. No missing values were found, and all features were standardized to a common scale, an essential step for the DNN model as it facilitates effective learning and ensures equal sensitivity to all input features [20].

The dataset was divided into training and testing subsets. To address the imbalance in the training data, SMOTE was applied [21]. This method generates synthetic instances resembling the minority class samples, achieving a balanced class distribution [22]. Following this process, all three classes were balanced, and the model was trained using the augmented dataset. In recent studies, similar techniques have demonstrated promising results in both diabetes classification [23] and general health prediction tasks [24].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2.2. Deep Neural Networks

Deep neural networks (DNN) are more sophisticated versions of artificial neural networks, which integrate deep architecture with advanced training algorithms to gain higher levels of data abstraction and complexity [25]. A network with more than three layers (two or more hidden layers) qualifies as a "deep" neural network, whereas those with up to three are shallow networks [26, 27]. The 'deep' aspect mainly consists of an input layer, multiple hidden layers, and an output layer (Görsel 2). Because of the structural depth, these networks can obtain more compact representations of the input-output relation compared to shallow networks [28]. Training in DNNs is a compute-intensive process, and the traditional back-propagation algorithm has been the default training method [29]; however, deeper networks trained this way can suffer from vanishing gradients and overfitting, which is addressed with techniques such as Dropout.



Görsel 2. The Structural Difference Between Neural Networks and DNN [30]

In domains such as healthcare, where data consists of high-dimensional and interrelated variables, DNNs offer superior accuracy and generalization performance compared to traditional methods [31, 32]. In this study, the proposed DNN architecture was designed as a multi-layer artificial neural network model. The input layer was configured to accept 21 health indicators as features. Following the input layer, the model includes three hidden layers: the first with 128 neurons (ReLU activation and Dropout), the second with 64 neurons (ReLU and Dropout), and the third with 32 neurons (ReLU and Dropout). This structure enhances the model's depth, enabling it to learn complex patterns, while the Dropout layers help mitigate overfitting. The output layer consists of 3 neurons with a Softmax activation function, producing class probabilities. For model optimization, the Adam optimizer was employed with CrossEntropyLoss, and the model was trained for 20 epochs.

Çizelge 3. Proposed Deep Neural Network Architecture and Parameters

Layer Type	Number of Neurons	Activation Function	Notes
Input Layer	21	-	21 input features
Hidden Layer 1	128	ReLU	Dropout (p = 0.5)
Hidden Layer 2	64	ReLU	Dropout (p = 0.5)
Hidden Layer 3	32	ReLU	Dropout (p = 0.5)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Layer Type	Number of Neurons	Activation Function	Notes
Output Layer	3	Softmax	Multi-class output
Loss Function	-	-	CrossEntropyLoss
Optimization	-	-	Adam (learning rate = 0.001)

2.3. Comparative Models

Random Forest. Random Forest is an ensemble learning method that generates multiple decision trees during classification, then combines them to form a decision forest, where each tree is built from a randomly selected subset of the data. This approach provides prediction validity and model interpretability due to random sampling and batch-method features, and generally offers good generalization. The accuracy of Random Forest estimates comes from low bias and low correlation between trees; low bias is achieved by growing large trees, and low correlation is obtained by making the trees as different from each other as possible [33]. Random Forest is widely used in healthcare data because of its high accuracy and strong generalization, reducing overfitting by repeatedly training on different subsamples of the data [34].

Çizelge 4. Hyperparameters of the Random Forest Model

Parameter	Value
n_estimators	100
max_depth	20
min_samples_split	10
min_samples_leaf	4
random_state	42

Logistic Regression. Logistic Regression is one of the most commonly used baseline methods for classification problems, particularly favored in healthcare data analysis due to its high interpretability [35]. The model estimates class probabilities by learning weight coefficients for each feature; given the multi-class nature of the problem, it was implemented as softmax regression, trained with solver = lbfgs, multi_class = multinomial, max_iter = 1000, and random_state = 42. Logistic Regression exhibited particularly low performance in the borderline class, indicating that linear decision boundaries struggle to distinguish between classes in this scenario, though it serves as a useful baseline for comparison.

2.4. Performance Metrics

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Model performance was evaluated using standard classification metrics derived from the confusion matrix (Çizelge 5): True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), and True Negative (TN).

Çizelge 5. Confusion Matrix

	Predicted Positive	**Predicted Negative**
Actual Positive	TP	FN
Actual Negative	FP	TN

Accuracy (AC), the proportion of correctly predicted instances out of all predictions, is given by Equation (1):

$$AC = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (1)$$

Precision, the correctness of positive predictions, is given by Equation (2):

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (2)$$

Sensitivity (recall), the proportion of true positives correctly detected, is given by Equation (3):

$$Sensitivity = TP / (TP + FN) \quad (3)$$

Specificity, the proportion of true negatives correctly detected, is given by Equation (4):

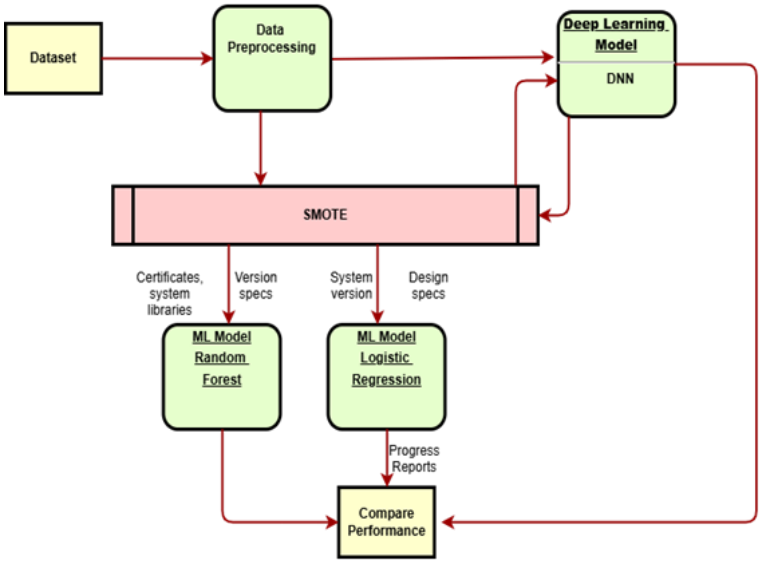
$$Specificity = TN / (FP + TN) \quad (4)$$

F1-score is the harmonic mean of precision and recall. In multi-class classification, these metrics are typically computed per class and then macro-averaged, giving equal weight to each class, which is particularly important for imbalanced datasets [36].

2.5. Proposed Method

The proposed method classifies diabetes risk into three categories, Healthy, Borderline, and Diabetic, based on behavioral and demographic health indicators. Görsel 3 shows the full process from data preprocessing to final model evaluation. The BRFSS 2015 dataset was loaded and cleaned; since no missing values were found, one-hot encoding was not required. After splitting the dataset into training and test sets, the DNN model was first trained without SMOTE and evaluated on the imbalanced data; at this stage the model classified the dominant "Healthy" class with high accuracy but underperformed on the Borderline and Diabetic classes. SMOTE was then applied to the training set, specifically increasing the number of borderline-class examples, and the DNN model was retrained on the balanced data. This retraining produced significant improvements in the F1-scores of the minority classes.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 3. The Flow Chart of the Proposed Method

Model performance was evaluated using accuracy, F1-score, precision, recall, and ROC-AUC, and the DNN model was compared against Logistic Regression and Random Forest, enabling a comprehensive evaluation from both deep learning and traditional modeling perspectives.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, individuals were classified into three groups, Healthy, Borderline, and Diabetic, using the 2015 BRFSS health indicators dataset. Due to the significant imbalance between classes, SMOTE was used to increase the representation of minority classes for training. A DNN model was developed to achieve consistent performance across classes and was compared with Random Forest (RF) and Logistic Regression (LR). After applying SMOTE, the DNN model produced balanced results across all classes, while the RF model demonstrated high performance for each class; the LR model performed less effectively, likely due to the nonlinear characteristics of the dataset. Overall, the DNN model achieved a good balance between class-specific and overall performance, while RF achieved the highest overall accuracy.

3.1. Model-Based Results

Çizelge 6. Results for Logistic Regression

Class	Description	F1-Score	Precision	Recall
0	Healthy	0.63	0.61	0.66
1	Borderline	0.37	0.44	0.33
2	Diabetic	0.55	0.51	0.59

Overall Performance: the model achieved 52.7% accuracy and a macro F1-score of 0.518. Logistic Regression demonstrated particularly low performance in the Borderline class,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

reflecting the inability of classical linear models to capture the nonlinear relationships inherent in the dataset.

Çizelge 7. Results for the DNN

Class	Description	F1-Score	Precision	Recall
0	Healthy	0.66	0.598	0.751
1	Borderline	0.68	0.786	0.609
2	Diabetic	0.62	0.601	0.657

Overall Performance: 66.2% accuracy with a macro F1-score of 0.66. After applying SMOTE, the DNN produced balanced results across all classes; the high recall achieved in the Borderline class is critically important for enabling early intervention.

Çizelge 8. Results for Random Forest

Class	Description	F1-Score	Precision	Recall
0	Healthy	0.91	0.90	0.92
1	Borderline	0.97	0.98	0.97
2	Diabetic	0.90	0.91	0.89

Overall Performance: Random Forest achieved 93.16% accuracy and a macro F1-score of 0.9316, standing out with balanced, high-performance classification results across all classes, demonstrating strong potential for healthcare data.

Çizelge 9. Comparative Analysis Before and After Applying SMOTE (DNN model)

Status	Accuracy	F1 (Class 0)	F1 (Class 1)	F1 (Class 2)	Macro F1
Before SMOTE (Imbalanced)	84.92%	0.91	0.90	0.26	0.39
After SMOTE (Balanced)	66.16%	0.66	0.68	0.62	0.66

This table clearly demonstrates the impact of class imbalance on model performance. Although overall accuracy decreased after applying SMOTE, it enabled the model to learn all three classes in a balanced manner, most notably raising the F1-score of the minority Borderline and Diabetic classes.

3.2. General Discussion

Çizelge 10. Comparison of All Models

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

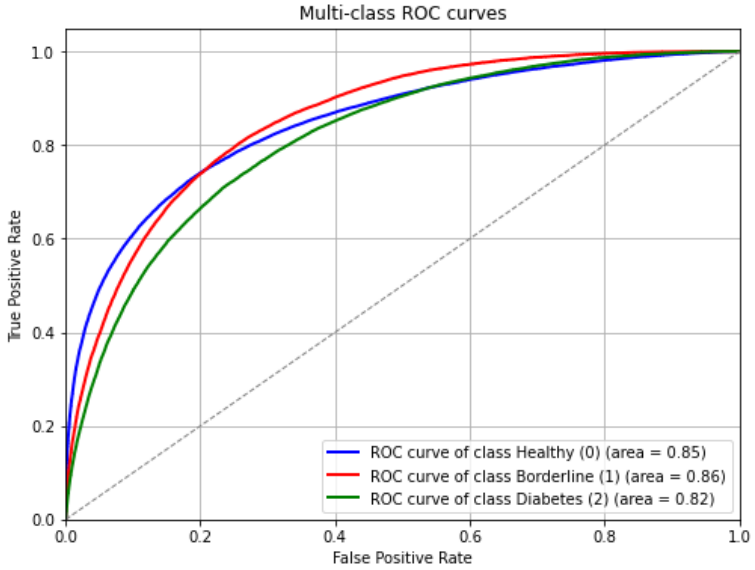
Model	Accuracy	Macro F1	Notes
Logistic Regression	0.52	0.51	Low performance in the Borderline class, limited by linear assumptions
DNN (with SMOTE)	0.66	0.66	Balanced performance across all classes, improvement in minority classes
Random Forest	0.93	0.93	High performance across all classes, highest overall accuracy

Random Forest achieved the highest overall accuracy, while the DNN model, after applying SMOTE, offered a more balanced performance across classes. Logistic Regression failed to capture complex patterns effectively due to its linear limitations.

3.3. Evaluation of ROC and AUC

Çizelge 11. AUC Score of Each Class

Class	AUC Score
Healthy Individuals	0.85
Borderline Diabetes	0.86
Diabetes Patients	0.82



Görsel 4. Graphical Representation of ROC Curves for Each Class

These scores indicate that the model possesses strong classification ability for all three classes, with AUC values above 0.80. In particular, the AUC of 0.86 for the Borderline (prediabetic) class demonstrates the model's high effectiveness in distinguishing this critical group, offering

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

significant contributions for early diagnosis and the identification of individuals with high clinical value.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSION

This study used the BRFSS 2015 health indicators dataset to tackle multi-class diabetes classification. A Deep Neural Network (DNN) was combined with SMOTE to address class imbalance, which helped the model represent diabetes risk more fairly across underrepresented classes. The DNN was also compared against Logistic Regression and Random Forest to see where each model's strengths and limits lie.

Random Forest reached the highest overall accuracy, but the DNN with SMOTE gave more balanced results across minority classes. This shows that DNN-based approaches fit well in medical studies, especially for identifying vulnerable or underrepresented groups accurately.

For future work, the addition of different sampling techniques, advanced model architectures such as Transformer-based structures or ensemble deep learning methods, and interpretability tools such as LIME or Integrated Gradients are recommended to increase the model's robustness and generalizability. Additionally, using time-series health indicator datasets can enable the development of more adaptive and dynamic forecasting models.

Ethical Statement on the Use of Artificial Intelligence: During the writing process of this study, the artificial intelligence tool "ChatGPT", developed by OpenAI, was used to a limited extent for linguistic editing purposes only. The scientific content, analysis, and results belong entirely to the authors.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest with any person or institution regarding this article.

REFERENCES

[1] A. M. Egan and S. F. Dinneen, "What is diabetes?," Medicine, vol. 50, no. 10, pp. 615-618, 2022, doi: 10.1016/j.mpmed.2022.07.011.

[2] D. Giugliano, A. Ceriello, and K. Esposito, "Glucose metabolism and hyperglycemia," Am. J. Clin. Nutr., vol. 87, no. 1, pp. 217S-222S, 2008, doi: 10.1093/ajcn/87.1.217S.

[3] R. Ambady and S. Chamukuttan, "Early diagnosis and prevention of diabetes in developing countries," Rev. Endocr. Metab. Disord., vol. 9, pp. 193-201, 2008, doi: 10.1007/s11154-008-9079-5.

[4] International Diabetes Federation, "Diabetes facts & figures." [Online]. Available: https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures/

[5] P. Aungle and E. Langer, "The borderline effect for diabetes: When no difference makes a difference," Front. Psychol., vol. 15, 1333248, 2024, doi: 10.3389/fpsyg.2024.1333248.

[6] Endocrine Society, "Diabetes complications." [Online]. Available: https://www.endocrine.org/patient-engagement/endocrine-library/diabetes-complications

[7] T. N. Poly, M. M. Islam, and Y. C. J. Li, "Early diabetes prediction: A comparative study using machine learning techniques," in Advances in Informatics, Management and Technology in Healthcare, IOS Press, 2022, pp. 409-413, doi: 10.3233/SHTI220859.

[8] E. Afsaneh et al., "Recent applications of machine learning and deep learning models in the prediction, diagnosis, and management of diabetes: A comprehensive review," Diabetol. Metab. Syndr., vol. 14, p. 196, 2022, doi: 10.1186/s13098-022-00969-9.

[9] S. A. Alex, N. Jhanjhi, M. Humayun, A. O. Ibrahim, and A. W. Abulfaraj, "Deep LSTM model for diabetes prediction with class balancing by SMOTE," Electronics, vol. 11, no. 17, p. 2737, 2022, doi: 10.3390/electronics11172737.

[10] A. Selvaraj et al., "Deep learning ensemble for diabetes prediction: Integrating LSTM, DCNN, and SMOTE for enhanced risk assessment," in Proc. Int. Conf. Comput. Intell. Data Sci., Springer, 2024, pp. 365-373, doi: 10.1007/978-3-031-51401-6_30.

[11] H. Kaur and V. Kumari, "Predictive modelling and analytics for diabetes using a machine learning approach," Appl. Comput. Inform., vol. 18, no. 1-2, pp. 90-100, 2022, doi: 10.1016/j.aci.2020.08.001.

[12] M. García-Jaramillo, C. Luque, and F. León-Vargas, "Machine learning and deep learning techniques applied to diabetes research: A bibliometric analysis," J. Diabetes Sci. Technol., vol. 18, no. 2, pp. 287-301, 2024, doi: 10.1177/19322968231221883.

[13] P. Sampath et al., "Robust diabetic prediction using ensemble machine learning models with synthetic minority oversampling technique," Sci. Rep., vol. 14, p. 28984, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-35764-4.

[14] B. H. Aubaidan, R. A. Kadir, and M. T. Ijab, "A comparative analysis of SMOTE and CSSF techniques for diabetes classification using imbalanced data," J. Comput. Sci., vol. 20, pp. 1146-1165, 2024, doi: 10.3844/jcssp.2024.1146.1165.

[15] A. Fernández et al., Learning from Imbalanced Data Sets, vol. 10. Springer, 2018.

[16] V. López et al., "An insight into classification with imbalanced data: Empirical results and current trends on using data intrinsic characteristics," Inf. Sci., vol. 250, pp. 113-141, 2013, doi: 10.1016/j.ins.2013.07.007.

[17] G. A. Kaissis, M. R. Makowski, D. Rückert, and R. F. Braren, "Secure, privacy-preserving and federated machine learning in medical imaging," Nat. Mach. Intell., vol. 2, no. 6, pp. 305-311, 2020, doi: 10.1038/s42256-020-0186-1.

[18] A. Javeed et al., "An intelligent learning system based on random search algorithm and optimized random forest model for improved heart disease detection," IEEE Access, vol. 7, pp. 180235-180243, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2959039.

[19] Centers for Disease Control and Prevention, Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS) 2015 Data. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/alexteboul/diabetes-health-indicators-dataset

[20] A. E. W. Johnson, T. J. Pollard, and R. G. Mark, "MIMIC-IV: A freely accessible electronic health record dataset," Sci. Data, vol. 9, no. 1, pp. 1-9, 2022, doi: 10.1038/s41597-022-01797-1.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[21] M. Buda, A. Maki, and M. A. Mazurowski, "A systematic study of the class imbalance problem in convolutional neural networks," Neural Netw., vol. 106, pp. 249-259, 2018, doi: 10.1016/j.neunet.2018.07.011.

[22] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, "SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique," J. Artif. Intell. Res., vol. 16, pp. 321-357, 2002, doi: 10.1613/jair.953.

[23] H. Kaleem et al., "An intelligent healthcare system for detecting diabetes using machine learning algorithms," Lahore Garrison Univ. Res. J. Comput. Sci. Inf. Technol., vol. 6, no. 3, pp. 1-11, 2022.

[24] Y. Li, Q. Hu, G. Xie, and G. Chen, "Prediction of the health status of older adults using oversampling and neural network," Mathematics, vol. 11, no. 24, p. 4985, 2023, doi: 10.3390/math11244985.

[25] I. D. Mienye and T. G. Swart, "A comprehensive review of deep learning: Architectures, recent advances, and applications," Information, vol. 15, no. 12, p. 755, 2024, doi: 10.3390/info15120755.

[26] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," Nature, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.

[27] O. I. Abiodun et al., "Comprehensive review of artificial neural network applications to pattern recognition," IEEE Access, vol. 7, pp. 158820-158846, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2945545.

[28] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, Deep Learning. MIT Press, 2016.

[29] J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," Neural Netw., vol. 61, pp. 85-117, 2015, doi: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.

[30] Zemim, "Deep neural network (DNN) explained." Medium. [Online]. Available: https://medium.com/@zemim/deep-neural-network-dnn-explained-0f7311a0e869

[31] A. Rajkomar et al., "Deep learning for electronic health records: A comparative review of multiple deep neural architectures," J. Biomed. Inform., vol. 101, p. 103337, 2019, doi: 10.1016/j.jbi.2019.103337.

[32] Q. Kong et al., "Machine learning models for diabetes management in acute care using electronic medical records: A systematic review," J. Clin. Med., vol. 11, no. 15, p. 4437, 2022, doi: 10.3390/jcm11154437.

[33] M. Khalilia, S. Chakraborty, and M. Popescu, "Predicting disease risks from highly imbalanced data using random forest," BMC Med. Inform. Decis. Mak., vol. 11, p. 51, 2011, doi: 10.1186/1472-6947-11-51.

[34] L. Breiman, "Random forests," Mach. Learn., vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.

[35] H. Lai, H. Huang, K. Keshavjee, A. Guergachi, and X. Gao, "Predictive models for diabetes mellitus using machine learning techniques," BMC Endocr. Disord., vol. 19, p. 1, 2019, doi: 10.1186/s12902-019-0383-4.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[36] O. Rainio, J. Teuho, and R. Klén, "Evaluation metrics and statistical tests for machine learning," Sci. Rep., vol. 14, p. 6086, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-56706-x.

[37] I. Abousaber, H. F. Abdallah, and H. El-Ghaish, "Robust predictive framework for diabetes classification using optimized machine learning on imbalanced datasets," Front. Artif. Intell., vol. 7, 1499530, 2025, doi: 10.3389/frai.2024.1499530.

[38] M. M. Chowdhury, R. S. Ayon, and M. S. Hossain, "An investigation of machine learning algorithms and data augmentation techniques for diabetes diagnosis using class imbalanced BRFSS dataset," Healthc. Analyt., vol. 5, 100297, 2024, doi: 10.1016/j.health.2023.100297.

[39] M. M. Islam, H. R. Rifat, M. S. B. Shahid, A. Akhter, M. A. Uddin, and K. M. M. Uddin, "Explainable machine learning for efficient diabetes prediction using hyperparameter tuning, SHAP analysis, partial dependency, and LIME," Eng. Rep., vol. 7, no. 1, e13080, 2025, doi: 10.1002/eng2.13080.

[40] M. A. Talukder, M. M. Islam, M. A. Uddin, M. Kazi, M. Khalid, A. Akhter, and M. M. Ali, "Toward reliable diabetes prediction: Innovations in data engineering and machine learning applications," Digit. Health, vol. 10, 2024, doi: 10.1177/20552076241271867.

[41] R. Darwish, G. Abu-Sharia, and A. E. Butler, "Multi-stage evaluation framework for identifying deployment-ready prediabetes prediction models," Mach. Learn. Knowl. Extr., vol. 8, no. 7, p. 192, 2026, doi: 10.3390/make8070192.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

HALKA AÇIK KANSER GENOMU ATLASI (TCGA-GBM) KLİNİK VERİ SETİNİN TEMİZLENMESİ VE TANIMLAYICI İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ

Dr.öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI

Gaziantep Üniversitesi, skervanci@gantep.edu.tr -0000-0001-5547-1860

Dr.öğr.Üyesi Gözde Özsert YİĞİT

Gaziantep Üniversitesi, gozsertyigit@gantep.edu.tr- 0000-0002-8871-6024

ÖZET

Bu çalışmada, Genomic Data Commons (GDC) portalından temin edilen TCGA-GBM klinik veri paketinin araştırmaya hazır hale getirilmesi amacıyla sistematik bir veri temizleme süreci uygulanmıştır. Öncelikle GDC'nin standart eksik veri işareti olan "'--" kodu gerçek eksik değere (NaN) dönüştürülmüş, ardından her dosyada tüm gözlemler için tamamen boş olan sütunlar ile tek bir değer içeren ve bilgi taşımayan sabit sütunlar analiz dışı bırakılmıştır. Hasta başına birden fazla tanı ve tedavi kaydı içeren çok satırlı ham yapı, hasta, tanı ve tedavi düzeyinde üç ayrı ve tekilleştirilmiş tabloya normalize edilmiştir. Bu adımlar Python programlama dili ve pandas kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve süreç sonunda 617 hastaya ait temiz, analiz edilebilir bir veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veri seti üzerinden kategorik değişkenler için frekans ve yüzde, sayısal değişkenler için ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum değerler hesaplanarak tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Çalışma, açık kaynaklı klinik onkoloji veri setlerinin karşılaştığı yapısal karmaşıklığı sistematik ve tekrarlanabilir bir protokolle çözmeyi amaçlamakta; bu protokol benzer veri setleriyle çalışan araştırmacılara uygulanabilir bir yol haritası sunmakta ve ileride yapılacak sağkalım analizlerine temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: TCGA-GBM, Glioblastoma, Veri Temizleme, Tanımlayıcı İstatistik, Klinik Veri Madenciliği

1. GİRİŞ

Glioblastoma (GBM), Dünya Sağlık Örgütü'nün merkezi sinir sistemi tümörleri sınıflandırmasında grade 4 diffüz gliom olarak tanımlanan [1], merkezi sinir sisteminin en sık görülen ve en agresif seyirli primer malign tümörüdür [2]; tedaviye rağmen ortalama sağkalım süresi kısa kalmaktadır. The Cancer Genome Atlas (TCGA) projesi kapsamında toplanan TCGA-GBM kohortu, genomik ve klinik verilerin bir arada sunulduğu, dünya genelinde araştırmacılara açık en kapsamlı kaynaklardan biridir [3]. Ancak Genomic Data Commons (GDC) portalından indirilen ham klinik veri dosyaları, çok sayıda değişkenin klinik pratikte nadiren doldurulmuş olması, tanı/tedavi kayıtlarının hasta başına çoklanması ve standart bir eksik veri kodlaması ("'--") kullanılması nedeniyle doğrudan istatistiksel analize uygun değildir. Moleküler düzeyde glioblastomanın PDGFRA, IDH1, EGFR ve NF1 gibi genlerdeki anormalliklere dayalı olarak klinik açıdan farklı alt tiplere ayrıldığı gösterilmiştir [4].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Bu ihtiyaca yanıt olarak National Cancer Institute bünyesinde geliştirilen Genomic Data Commons (GDC), farklı kanser genomik projelerinden elde edilen ham ve klinik verileri ortak, harmonize bir platformda bir araya getirmeyi amaçlamaktadır [5].

Literatürde klinik veri setlerinin kalitesinin, sonraki analizlerin güvenilirliğini doğrudan etkilediği sıklıkla vurgulanmaktadır. Bu nedenle, ham veriden anlamlı ve tekrarlanabilir sonuçlar üretmeden önce sistematik bir veri temizleme ve doğrulama aşamasının uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, TCGA-GBM klinik veri paketinin temizlenme sürecini adım adım ortaya koymak ve elde edilen temiz veri üzerinden hastaların demografik ve klinik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikleri sunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

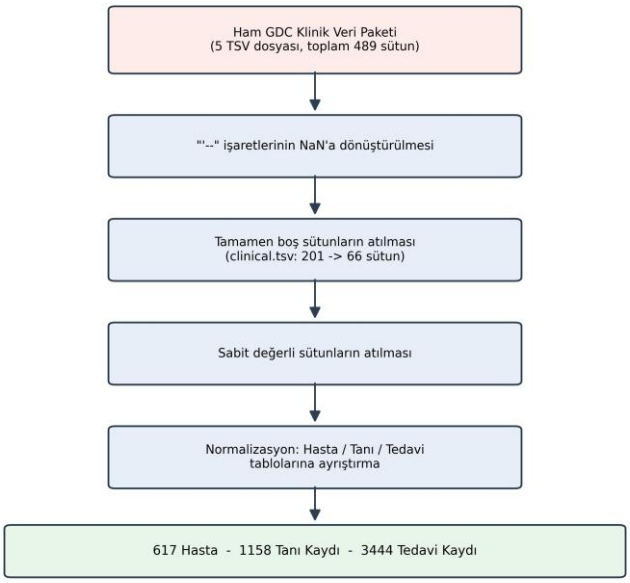
2.1. Veri Seti

GDC portalı, 60'tan fazla NCI destekli projeden elde edilen genomik ve ilişkili klinik verileri ortak bir veri modeli ve standart uygulama programlama arayüzü (API) üzerinden araştırmacılara sunmaktadır [6]. Çalışmada kullanılan veri seti, bu API üzerinden indirilen TCGA-GBM [7] projesine ait beş ayrı TSV (tab-separated values) dosyasından oluşmaktadır: clinical.tsv (3495 satır, 201 sütun), follow_up.tsv (2482 satır, 152 sütun), pathology_detail.tsv (596 satır, 87 sütun), exposure.tsv (4 satır, 35 sütun) ve family_history.tsv (0 satır, tamamen boş). Veri setinde toplam 617 benzersiz hasta kaydı bulunmaktadır. clinical.tsv dosyası, hasta demografisi, tanı ve tedavi bilgilerini tek bir çizelgede birleştirdiğinden, her hasta için birden fazla satır içermektedir (ortalama 5,6 tedavi kaydı/hasta).

2.2. Veri Temizleme ve Analiz Süreci

Veri temizleme süreci Python programlama dili ve pandas kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan pandas kütüphanesi, istatistiksel ve finansal alanlarda yaygın olan tablo formatındaki veri kümelerini işlemek üzere tasarlanmış temel yapı taşları sunmaktadır [8]; tanınması ve dönüştürülmesi aşamasında doğrudan kullanılmıştır. Nitekim klinik araştırmalarda eksik verinin sistematik olarak ele alınmasının analiz güvenilirliği açısından kritik önemde olduğu vurgulanmaktadır [9]. Ayrıca literatürde TCGA verilerinin TCGA verilerinin indirilmesi ve araştırmaya hazır hale getirilmesi sürecini kolaylaştırmaya yönelik özelleştirilmiş ön işleme boru hatlarının (pipeline) geliştirilmesine duyulan ihtiyaç vurgulanmaktadır [10]. Süreç sırasıyla şu adımlardan oluşmaktadır: (1) GDC'nin standart eksik veri işareti olan "'--" değerlerinin gerçek eksik veri (NaN) olarak yeniden kodlanması; (2) her dosyada tüm gözlemler için eksik olan (%100 boş) sütunların analiz dışı bırakılması; (3) tek bir değer içeren ve bilgi taşımayan sabit sütunların çıkarılması; (4) clinical.tsv dosyasının hasta (demografi), tanı ve tedavi olmak üzere üç ayrı, tekilleştirilmiş tabloya normalize edilmesi. Bu adımların genel akışı Görsel 1'de şematik olarak sunulmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



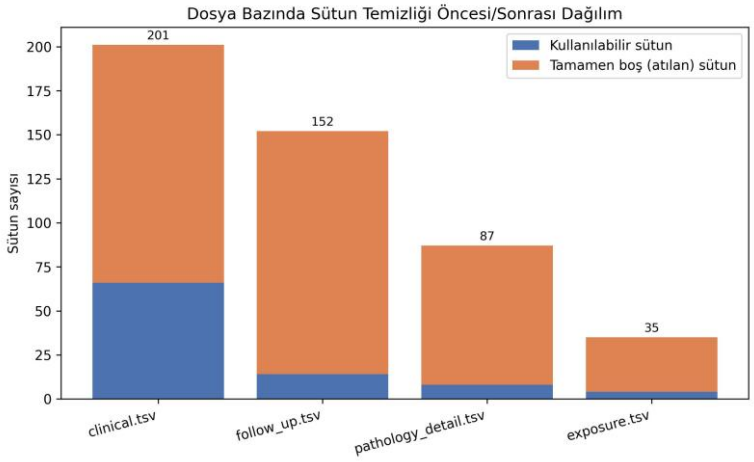
Görsel 1. Veri Temizleme Sürecinin Akış Şeması

GDC, farklı kaynaklardan gelen genomik verileri standart ve tekdüze biyoinformatik iş akışlarıyla işlemektedir [11]; ancak bu standardizasyon, klinik meta-veri alanlarının doldurulma oranını garanti etmediğinden, klinik değişkenler için ayrıca bir temizleme adımı gerekmektedir. Temizleme sonrasında elde edilen tanımlayıcı istatistikler; kategorik değişkenler için frekans ve yüzde, sayısal değişkenler için ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum değerler hesaplanarak özetlenmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Temizleme sürecinin dosya bazında etkisi Görsel 2'de gösterilmektedir. clinical.tsv dosyasındaki 201 sütunun 135'i (%67,2), follow_up.tsv dosyasındaki 152 sütunun 138'i (%90,8) ve pathology_detail.tsv dosyasındaki 87 sütunun 79'u (%90,8) tamamen boş olduğu için analiz dışı bırakılmıştır. Bu durum, GDC klinik şablonunun tüm kanser türlerini kapsayacak şekilde standartlaştırılmış olmasından, dolayısıyla glioblastoma için klinik olarak anlamsız birçok alanın (örn. melanom veya meme kanserine özgü evreleme değişkenleri) boş kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu bulgu, GDC'nin eski (legacy) ve harmonize edilmiş veri sürümleri arasında önemli yapısal farklılıklar bulunduğunu ve ham klinik verilerin analiz öncesinde dikkatli bir doğrulama sürecinden geçirilmesi gerektiğini ortaya koyan önceki çalışmalarla da uyumludur [12].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 2. Dosya Bazında Sütun Temizliği Öncesi ve Sonrası Dağılımı

Normalizasyon sonrası elde edilen 617 hastalık temiz veri setinin demografik ve klinik özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Hastaların Demografik ve Klinik Özellikleri (Kategorik Değişkenler)

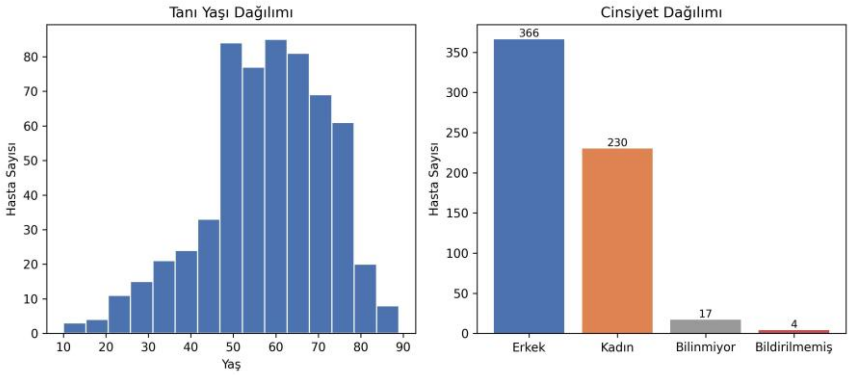
Değişken	**Kategori**	**n**	**%**
Cinsiyet	Erkek	366	59.3
Cinsiyet	Kadın	230	37.3
Cinsiyet	Bilinmiyor / Bildirilmemiş	21	3.4
Irk	Beyaz	507	82.2
Irk	Siyah / Afrikalı-Amerikalı	51	8.3
Irk	Asyalı	13	2.1
Irk	Bildirilmemiş / Bilinmiyor	46	7.5
Yaşam Durumu	Eksitus (Dead)	492	79.7
Yaşam Durumu	Sağ (Alive)	102	16.5
Yaşam Durumu	Bilinmiyor / Bildirilmemiş	23	3.7
Birincil Tanı	Glioblastoma	1124	97.1
Birincil Tanı	Diğer / Bilinmiyor	34	2.9
En Sık Tedavi Türü	Kemoterapi	1120	32.5
En Sık Tedavi Türü	Radyoterapi (NOS)	687	19.9
En Sık Tedavi Türü	Farmakoterapi (NOS)	608	17.7
En Sık Tedavi Türü	Eksternal Işın Radyoterapisi	466	13.5
En Sık Tedavi Türü	Cerrahi (NOS)	142	4.1

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Çizelge 2. Sayısal Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

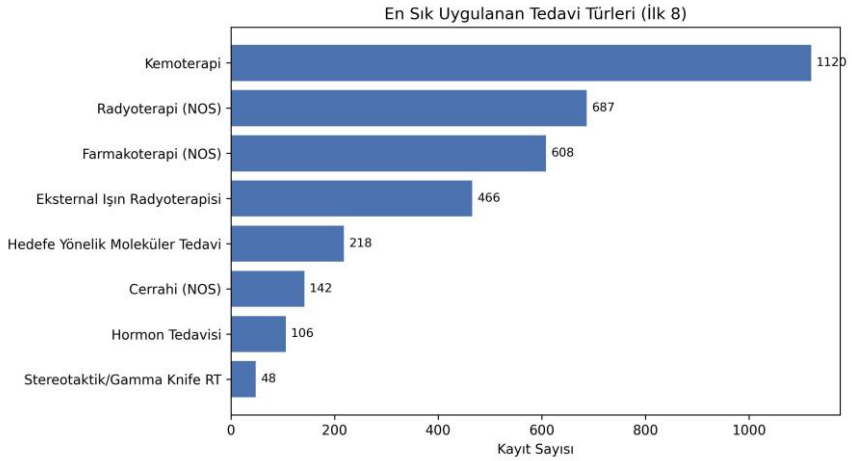
Değişken	n	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Min	Maks
Tanı Yaşı (yıl)	596	57.8	14.4	59.0	10	89
Ölüme Kadar Geçen Süre (gün)	491	504.1	538.2	382.0	3	3881

Hastaların yaş dağılımı ve cinsiyet oranı Görsel 3'te sunulmuştur. Tanı yaşının 50-70 aralığında yoğunlaştığı, bu bulgunun literatürde glioblastomanın orta-ileri yetişkinlik döneminde daha sık görüldüğü bilgisiyle uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen medyan sağkalım süresi (382 gün), temozolomid tedavisinin yaygınlaştığı dönemde bildirilen glioblastoma sağkalım verileriyle genel olarak uyumludur [13].



Görsel 3. Hastaların Tanı Yaşına Göre Dağılımı ve Cinsiyet Oranı

Tedavi türlerinin dağılımı incelendiğinde (Görsel 4), kemoterapinin en sık uygulanan tedavi yöntemi olduğu, bunu çeşitli radyoterapi türlerinin izlediği görülmektedir. Bu dağılım, glioblastoma tedavisinde standart yaklaşım olan cerrahi rezeksiyon sonrası eş zamanlı kemoradyoterapi protokolüyle (Stupp protokolü) genel olarak uyumludur [14].



Görsel 4. En Sık Uygulanan Tedavi Türlerinin Dağılımı

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Bu çalışmada, TCGA-GBM klinik veri paketinin araştırmaya hazır hale getirilmesi için izlenen sistematik temizleme süreci ve elde edilen temiz veri setinin tanımlayıcı istatistikleri sunulmuştur. Bulgular, ham GDC klinik verilerinin doğrudan analiz edilebilir olmadığını; sütunların büyük bir kısmının hastalığa özgü olmayan alanlardan kaynaklı olarak boş kaldığını ve hasta başına çoklu tanı/tedavi kayıtlarının normalizasyon gerektirdiğini göstermektedir.

Çalışmanın temel sınırlılığı, TCGA-GBM kohortunun tanı toplama döneminin 2013 yılında sona ermiş olması ve family_history.tsv dosyasının tamamen boş olması nedeniyle aile öyküsüne dair hiçbir bilginin değerlendirilememesidir. Buna karşın, temizlenmiş ve normalize edilmiş hasta/tanı/tedavi tabloları, ileride yapılacak sağkalım analizleri [15] için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Bu çalışmanın, benzer açık kaynaklı klinik onkoloji veri setleriyle çalışan araştırmacılara uygulanabilir bir temizleme protokolü sunması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Louis, D.N., ve ark., The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: A Summary, Neuro-Oncology, 23(8), 1231-1251, 2021.

[2] Ostrom, Q.T., ve ark., CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2015-2019, Neuro-Oncology, 24(Supplement_5), v1-v95, 2022.

[3] The Cancer Genome Atlas Research Network, Comprehensive Genomic Characterization Defines Human Glioblastoma Genes and Core Pathways, Nature, 455(7216), 1061-1068, 2008.

[4] Verhaak, R.G.W., ve ark., Integrated Genomic Analysis Identifies Clinically Relevant Subtypes of Glioblastoma Characterized by Abnormalities in PDGFRA, IDH1, EGFR, and NF1, Cancer Cell, 17(1), 98-110, 2010.

[5] Grossman, R.L., ve ark., Toward a Shared Vision for Cancer Genomic Data, New England Journal of Medicine, 375(12), 1109-1112, 2016.

[6] Heath, A.P., ve ark., The NCI Genomic Data Commons, Nature Genetics, 53(3), 257-262, 2021.

[7] National Cancer Institute, Genomic Data Commons Data Portal, TCGA-GBM Project. https://portal.gdc.cancer.gov (Erişim tarihi: 09.09.2026).

[8] McKinney, W., Data Structures for Statistical Computing in Python, Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 56-61, Austin, 2010.

[9] Sterne, J.A.C., ve ark., Multiple Imputation for Missing Data in Epidemiological and Clinical Research: Potential and Pitfalls, BMJ, 338, b2393, 2009.

[10] Baumann, A.A., Wolkenhauer, O. ve Wolfien, M., TCGADownloadHelper: Simplifying TCGA Data Extraction and Preprocessing, Frontiers in Genetics, 16, 1569290, 2025.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[11] Zhang, Z., ve ark., Uniform Genomic Data Analysis in the NCI Genomic Data Commons, Nature Communications, 12(1), 1226, 2021.

[12] Gao, G.F., ve ark., Before and After: Comparison of Legacy and Harmonized TCGA Genomic Data Commons' Data, Cell Systems, 9(1), 24-34, 2019.

[13] Johnson, D.R. ve O'Neill, B.P., Glioblastoma Survival in the United States Before and During the Temozolomide Era, Journal of Neuro-Oncology, 107(2), 359-364, 2012.

[14] Stupp, R., ve ark., Radiotherapy Plus Concomitant and Adjuvant Temozolomide for Glioblastoma, New England Journal of Medicine, 352(10), 987-996, 2005.

[15] Kaplan, E.L. ve Meier, P., Nonparametric Estimation from Incomplete Observations, Journal of the American Statistical Association, 53(282), 457-481, 1958.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

CLOUD-BASED ACCOUNTING SYSTEMS FOR FINANCIAL ANALYSIS AND FORECASTING USING OCR AND MACHINE LEARNING

MSc. Student, Berkay KOŞAK

Manisa Celal Bayar University, 2540135010@ogr.cbu.edu.tr – 0009-0002-1602-6320

Assoc. Prof. Dr. Fatih YÜCALAR

Manisa Celal Bayar University, fatih.yucalar@cbu.edu.tr – 0000-0002-1006-2227

ABSTRACT

Unstructured financial documents stored in cloud-based accounting systems are often underutilized in analytical processes. This study considers these documents from the perspective of "dark data" and proposes an end-to-end decision support approach that integrates OCR-based data extraction, data transformation, and financial forecasting. Due to limited access to real-world invoice data, a synthetic financial dataset comprising 60 months of daily records from the technology, retail, and manufacturing sectors was used. Linear Regression, SARIMA, Random Forest, and XGBoost models were evaluated on monthly total expense time series, and their performance was assessed using MAE, RMSE, MAPE, and R^2. The experimental results showed that SARIMA achieved the best forecasting performance, with an MAE of TRY 41,640, an RMSE of TRY 58,463, an MAPE of 1.3%, and an R^2 of 0.97. The findings indicate that seasonal time-series models may be particularly effective for expense series exhibiting pronounced annual seasonality. This study proposes an integrated decision support architecture that transforms cloud-stored financial documents into actionable financial insights through OCR-based data extraction, financial forecasting, and managerial alerts.

Keywords: Cloud Accounting, Financial Forecasting, Optical Character Recognition, Machine Learning, Dark Data, Decision Support Systems.

1. INTRODUCTION

With the widespread adoption of cloud computing, businesses increasingly store their accounting and financial documents in cloud-based systems accessible over the Internet rather than relying on local infrastructure. The Software as a Service (SaaS) model provides an attractive solution, particularly for small and medium-sized enterprises, due to advantages such as accessibility, scalability, automated maintenance, and low initial costs. However, storing data in the cloud does not necessarily create analytical value. A substantial portion of invoices, receipts, and income and expense records may be archived without content-level analysis and therefore remain underutilized in decision support processes [1].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Such data, although generated and stored during operational activities, can be considered “dark data” when they are not used for analytical or strategic purposes. In the context of financial documents, the primary challenge is to transform unstructured file-based content into machine-readable and structured data and integrate these data into financial analysis and decision support processes. Optical Character Recognition (OCR) techniques [2] enable the extraction of fields such as dates, suppliers, taxes, total amounts, and expense items from invoices and similar documents, while Extract, Transform, Load (ETL) processes support the cleaning, transformation, and organization of the extracted information into structures suitable for analysis [3].

Financial expense time series may exhibit various temporal characteristics, including long-term trends, seasonal variations, irregular fluctuations, and outliers [4]. Therefore, no single forecasting method can be expected to achieve superior performance across all expense patterns. While Linear Regression provides an interpretable baseline, classical time-series models such as SARIMA allow trends and seasonality to be modeled explicitly. Random Forest and XGBoost, on the other hand, can capture more complex expense patterns through their ability to learn nonlinear relationships [5, 6]. Studies comparing ARIMA and deep learning models for financial time series [7, 8], as well as machine learning approaches for stock and market index forecasting [9, 10], have shown that forecasting performance depends not only on the selected model but also on the temporal characteristics of the underlying dataset.

The aim of this study is to demonstrate how analytically underutilized unstructured financial documents stored in cloud-based accounting systems can be processed within an end-to-end decision support architecture that integrates OCR-based data extraction, ETL, feature engineering, and financial forecasting. Due to access, sharing, and privacy constraints associated with real-world corporate invoice data, a synthetic dataset designed to represent the fundamental temporal characteristics of real financial data was used for the experimental evaluation of the forecasting models. This approach enables the data-generation mechanism to be defined in a controlled manner and allows Linear Regression, SARIMA, Random Forest, and XGBoost to be compared on the same financial time series.

The key contribution of this study lies in integrating unstructured financial documents with managerial decision support through a unified process that extends beyond the comparison of forecasting models. The proposed architecture combines document acquisition, OCR-based data extraction, ETL, feature engineering, forecasting, dashboard visualization, and an alert mechanism within a unified workflow. Through this architecture, forecasting results can be converted into managerial alerts related to potential budget overruns or unusual spending patterns. Thus, the study presents a practical approach that integrates document processing and financial forecasting within a cloud-based decision support architecture.

2. MATERIALS AND METHODS

This section presents the methodological framework of the study, covering dataset preparation and feature engineering, forecasting models and performance metrics, end-to-end system design, experimental evaluation, and considerations related to data quality, privacy, and practical applicability.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2.1. Dataset Preparation and Feature Engineering

The data preparation process was designed at two levels. The first focuses on transforming unstructured financial documents stored in the cloud into structured data within a real-world usage scenario, while the second involves generating synthetic financial time series for the experimental evaluation of the forecasting models. This distinction separates the document-processing layer of the proposed system from the experimental evaluation of the forecasting models.

At the document-processing level, invoice images are first subjected to preprocessing operations such as noise removal, skew correction, and binarization. PDF/image parsing, OCR-based text extraction, invoice field and table detection, and schema validation are then performed to convert the extracted information into structured JSON data. Tesseract OCR, Google Cloud Vision, and EasyOCR were considered alternative OCR solutions for this purpose. Tesseract is an open-source and trainable OCR engine, Google Cloud Vision provides cloud-based OCR capabilities, and EasyOCR is an open-source deep learning-based OCR solution [11], [12].

The primary fields targeted for OCR-based extraction include the date, supplier, expense category, net amount, value-added tax (VAT), total amount, and invoice line items. The extracted information is organized into structured JSON records and subsequently passed to the ETL process. During the ETL stage, data cleaning, format and category standardization, and monthly aggregation are performed to construct financial time series suitable for the forecasting models.

Due to restrictions on accessing and sharing real-world corporate invoice data, controlled synthetic financial data were used for the experimental evaluation of the forecasting models. The dataset consists of daily observations covering a 60-month period across three sectors: technology, retail, and manufacturing. Two companies were modeled for each sector, and a company-specific scaling factor was sampled from a uniform distribution, U(0.85, 1.15), to represent differences in company size. In total, approximately 43,800 daily observations were generated. The expense series were designed to represent fixed, seasonal, irregular, and variable spending patterns.

Synthetic observations were generated by combining long-term trend, annual seasonality, Gaussian noise, and sparse anomaly components. the expense value on day *t* is defined in Equation (1):

$$Y_t = B(1 + \alpha t)\left[1 + \beta sin\left(\frac{2\pi t}{365.25}\right)\right] + \varepsilon_t + \eta_t \quad (1)$$

where *B* denotes the category-specific baseline expense, α represents the linear growth/trend coefficient, β represents the amplitude of annual seasonality, ε_t represents daily random variation, and η_t represents the sparse anomaly component. Depending on the expense characteristics, the noise level was set to approximately 5–28% of the baseline amount. Anomalies were generated using a Bernoulli process with a probability of approximately p = 0.004. When an anomaly occurred, an additional spike approximately 2.5–4.5 times the baseline

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

expense was introduced. This mechanism resulted in 163 anomalous observations, corresponding to approximately 0.37% of the dataset. Thus, rather than generating a dataset consisting solely of random values, a controlled proxy dataset incorporating long-term trends, annual cycles, daily variability, and sparse financial shocks was constructed. Before forecasting, the generated daily expense records were aggregated into monthly totals. Figure 1 illustrates the resulting monthly total expenditure patterns for the technology, retail, and manufacturing sectors over the 60-month period.

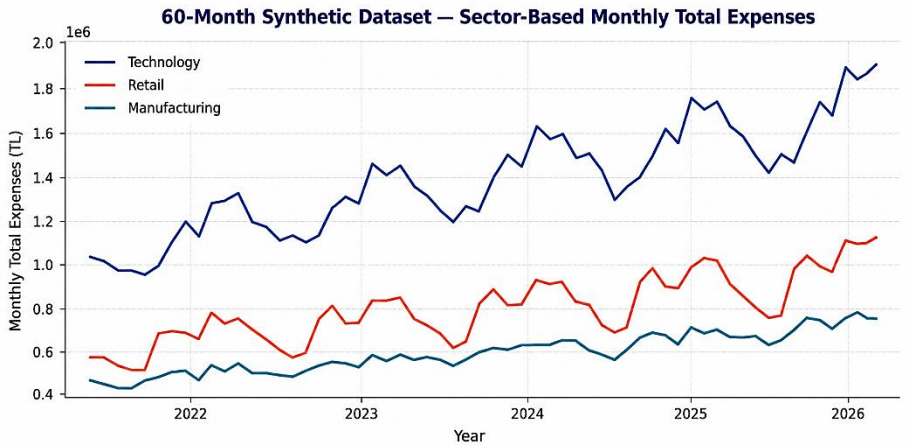


Figure 1. Sector-based monthly total spending pattern of a 60-month synthetic dataset.

The daily expense records were aggregated into monthly totals prior to the forecasting stage. As part of the feature engineering process, a chronological time index, sine and cosine transformations representing the cyclical nature of the month, lagged expense values, and expense category information were used. The sine and cosine transformations preserve the cyclical relationship between consecutive periods, particularly between December and January, while the lagged variables enable historical expense information to be incorporated into future-period forecasts. These features constituted the common input structure for the machine learning-based forecasting models.

2.2. Forecasting Models

In this study, four forecasting models – Linear Regression (LR), Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA), Random Forest (RF), and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) – were employed to compare their forecasting performance on financial expense series with different structural characteristics. These models were selected to represent and compare different modeling approaches capable of capturing simple linear relationships, temporal dependencies and seasonality, and nonlinear patterns.

LR served as the baseline model in this study. Its primary purpose was to capture the overall linear trend in expenses and provide a simple and interpretable reference against which the forecasting performance of more complex methods could be evaluated.

SARIMA was employed to model trends, autoregressive dependencies, and particularly annual seasonality in the monthly aggregated financial expense series. The model is generally expressed as SARIMA$(p,d,q)(P,D,Q)_s$, where p, d, and q denote the autoregressive order,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

degree of differencing, and moving-average order, respectively, while *P*, *D*, and *Q* represent their seasonal counterparts [13]. In this study, a SARIMA$(1,1,1)(1,1,0)_{12}$ configuration was used for the monthly expense series, with the seasonal period set to $s = 12$ to represent annual seasonality.

RF is an ensemble learning approach based on bagging that employs multiple decision trees [5]. By combining the outputs of trees trained on different subsets of the data, RF can produce more stable predictions than an individual decision tree. In this study, RF was evaluated for its ability to model nonlinear relationships and interactions among features in the financial expense series.

XGBoost is a gradient boosting-based ensemble learning method in which decision trees are constructed sequentially [6]. Each new tree is trained to reduce the prediction errors of the preceding models, enabling the method to capture complex and nonlinear relationships. In this study, XGBoost was employed as an alternative machine learning approach capable of learning nonlinear patterns in expense series using temporal and seasonal features.

The fundamental modeling approaches and the rationale for selecting the four models are summarized in Table 1. This experimental design enables a comparison of a linear baseline model, a classical time-series model that explicitly accounts for seasonality, and two tree-based ensemble learning approaches using the same experimental dataset.

Table 1. Comparing forecasting models

Model	**Approach**	**Key Role/Advantage in the Study**
LR	Linear regression / baseline	Interpretable base patterns and modeling of linear trends
SARIMA	Seasonal time series model	Direct modeling of temporal dependence and annual seasonality
RF	Bagging-based tree ensemble	Modeling of nonlinear relationships and feature interactions
XGBoost	Gradient boosting-based tree ensemble	Modeling of complex nonlinear patterns

2.3. Performance Metrics

Since financial expenses are predicted as continuous values, four complementary metrics appropriate for regression problems were used to evaluate model performance: Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the Coefficient of Determination (R^2). MAE and RMSE were used to assess the magnitude of prediction errors, MAPE to measure relative errors in percentage terms, and R^2 to evaluate the proportion of variance in the observed values explained by the model.

MAE measures the mean absolute deviation between the observed and predicted values [14]. As defined in Equation (2), a lower MAE indicates a lower average prediction error.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

RMSE assigns greater weight to large prediction errors than MAE because it is based on squared errors [15]. As shown in Equation (3), a lower RMSE indicates that large deviations between actual and predicted values are more limited.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

MAPE evaluates model performance in percentage terms by expressing absolute prediction errors relative to the actual observed values [16]. As given in Equation (4), a lower MAPE indicates that the predictions are proportionally closer to the actual values.

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \quad (4)$$

The Coefficient of Determination (R^2) was used to evaluate the extent to which the model explains the variability in the observed values. As defined in (5), R^2 is calculated as follows:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

An R^2 value approaching 1 indicates that the model explains a greater proportion of the observed variability, whereas values close to 0 indicate limited explanatory power. However, R^2 can also take negative values, particularly when evaluated on test data. A negative R^2 indicates that the model performs worse than a baseline prediction based on the mean of the actual values. Therefore, a fixed range of 0 – 1 was not assumed for R^2 in the model comparisons, and higher R^2 values were interpreted as indicating better predictive performance. Here, *n* denotes the total number of observations; y_i, the actual expense value, $\hat{y}_i$ the expense value predicted by the model, and $\bar{y}$ the mean of the actual expense values. MAE and RMSE are expressed in the same unit as the expense values, whereas MAPE is reported as a percentage. Overall, lower MAE, RMSE, and MAPE values and higher R^2 values indicate better forecasting performance.

2.4. End-to-End System Design

The proposed system architecture consists of six main layers: (i) document processing and OCR, (ii) ETL, (iii) feature engineering, (iv) forecasting, (v) dashboard visualization, and (vi) an alert mechanism. In the first layer, invoices and similar financial documents are processed using OCR to extract and transform fields such as date, supplier, expense category, net amount, value-added tax (VAT), and total amount into structured data. To reduce the propagation of

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

OCR-related errors to subsequent stages, schema validation is applied to fields such as date format, amount consistency, and category information. In the ETL layer, the extracted records are cleaned, standardized, and aggregated at the monthly level. Features such as the chronological time index, sine and cosine transformations of the month, lagged expense values, and expense category information are then prepared and passed to the forecasting layer. In this layer, Linear Regression, SARIMA, Random Forest, and XGBoost are employed to generate expense forecasts. The resulting forecasts are presented through a dashboard, and managerial alerts are generated when a predefined budget threshold is exceeded or an unusual deviation is detected. The proposed end-to-end data flow and system layers are illustrated in Figure 2.

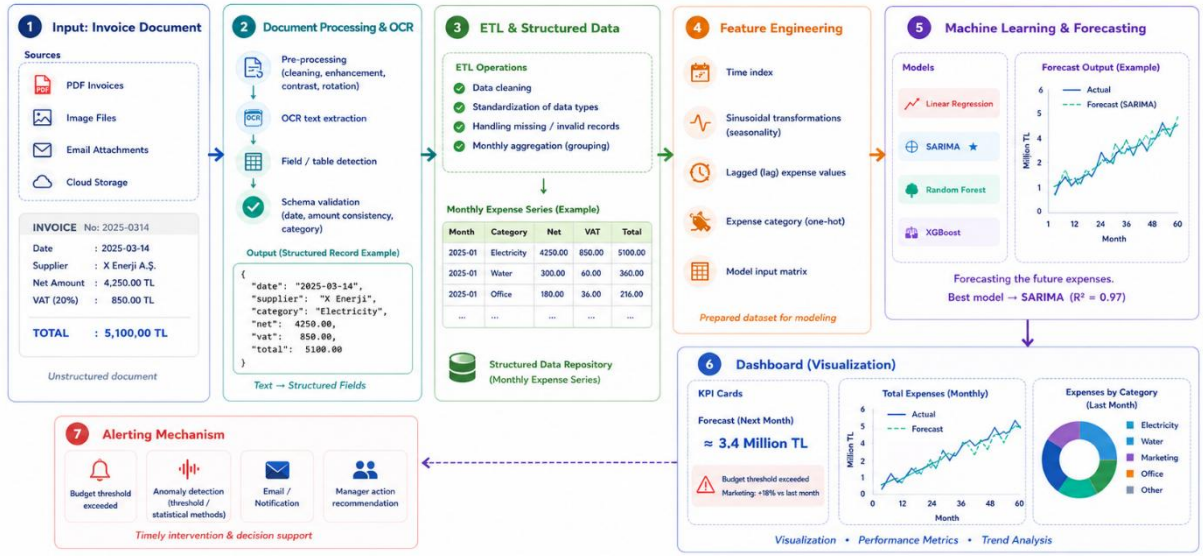


Figure 2. Proposed end-to-end cloud-based financial analytics and forecasting architecture.

Due to access and data-sharing restrictions associated with real-world corporate invoice data, controlled synthetic financial data were used in the experimental evaluation rather than direct OCR outputs. Therefore, the experimental results do not represent the performance of the entire architecture under real-world operating conditions; instead, they primarily reflect the performance of its analytical and forecasting components. Future work will evaluate the system using real-world financial documents, with particular emphasis on OCR accuracy, field extraction performance, and the impact of different invoice layouts on overall end-to-end system performance.

2.5. Experimental Design and Model Comparison Procedure

The experimental evaluation was conducted using 60 months of daily synthetic financial data, with the daily records aggregated into monthly total expense series prior to forecasting. To preserve the chronological structure of the data, the first 48 months were used as the training set, while the final 12 months were reserved as the test set. This chronological split prevented future observations from being incorporated into the training process.

Linear Regression, SARIMA, Random Forest, and XGBoost were compared over the same test period using the MAE, RMSE, MAPE, and R^2 metrics defined in Section 2.3. The evaluation was performed on both the overall monthly expense series and individual expense categories

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

exhibiting different temporal characteristics. In addition, feature importance was examined for the Random Forest and XGBoost models to interpret their forecasting behavior and assess the relative contribution of different features to the predictions.

2.6. Data Quality, Privacy, and Applicability

Since accounting documents contain sensitive financial information, data privacy and access control are among the fundamental system requirements in real-world deployment environments. As real-world corporate invoice data were not used in this study, no financial information belonging to any actual organization was processed. In a real-world implementation, however, OCR outputs, structured financial records, and forecasting results should be protected through appropriate access control and secure data transmission mechanisms [17]. Although the use of synthetic data provides advantages in terms of privacy and reproducibility, it does not fully capture OCR errors, missing records, or organization-specific characteristics that may arise in real-world data.

The proposed modular architecture is designed to be integrated into existing cloud-based accounting systems as an analytical layer. Structured data obtained through OCR and ETL processes are intended to be transferred to the forecasting layer, while the resulting outputs are presented through a dashboard and alert mechanism. This modular design separates core accounting operations from analytical decision support functions and enables the forecasting models to be updated independently.

3. FORECASTING MODELS AND PERFORMANCE EVALUATION

Model performance was evaluated using a single time series obtained by aggregating the monthly expenses of all companies, without distinguishing between sectors or expense categories. The final 12 months were reserved as the test set, and the four forecasting models were compared over the same test period. The resulting MAE, RMSE, MAPE, and R^2 values are presented in Table 2.

Table 2. Model performance across the entire expense series.

Model	**MAE (TL)**	**RMSE (TL)**	**MAPE (%)**	**R^2**
Linear Regression	227,715	276,489	7.5	0.29
SARIMA	**41,640**	**58,463**	**1.3**	**0.97**
Random Forest	205,407	227,769	6.5	0.52
XGBoost	160,556	179,774	4.9	0.70

As shown in Table 2, SARIMA was the best-performing model across all performance metrics. It achieved high forecasting accuracy over the test period, with an R^2 of 0.97 and a MAPE of 1.3%, whereas Linear Regression exhibited the lowest performance, with an R^2 of 0.29. XGBoost (R^2 = 0.70) and Random Forest (R^2 = 0.52) achieved intermediate performance between these two models. The actual and predicted total expense series for the final 12-month test period are presented in Figure 3.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

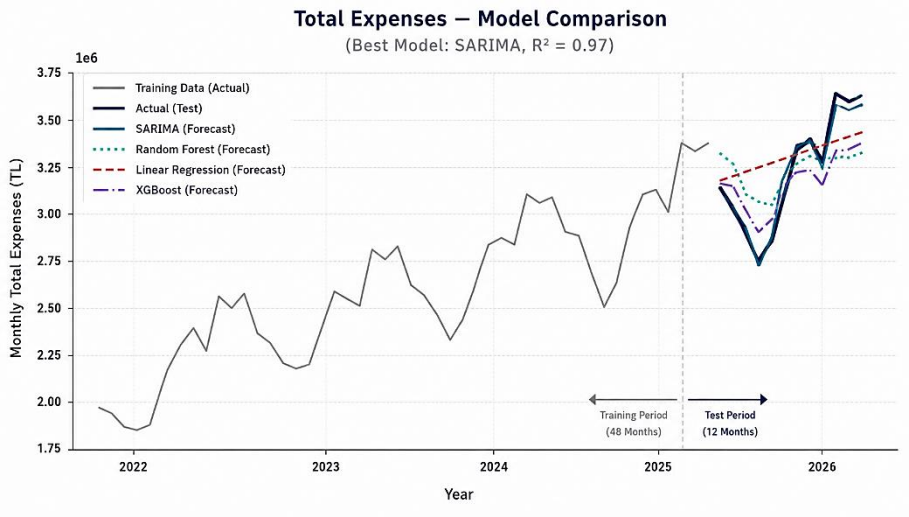


Figure 3. Monthly total expense series and model forecasts for the final 12-month test period.

To examine how model performance varies according to the temporal characteristics of the expense series, an additional R^2 analysis was conducted for each expense category. The results are presented in Table 3.

Table 3. R^2 comparison by expense category

Expense Type	Character	LR	SARIMA	RF	XGBoost	Best
Server infrastructure	Stable	**0.58**	–2.72	–3.16	–3.68	LR
Energy / electricity	Seasonal	0.08	**0.98**	0.88	0.87	SARIMA
Marketing	Seasonal	0.06	**0.99**	0.80	0.83	SARIMA
Raw materials	Stable	**0.45**	–0.00	0.02	–0.01	LR
Logistics / fuel	Trendy	0.38	–0.40	0.18	**0.63**	XGBoost
Maintenance and repair	Irregular	**0.15**	–0.66	–0.50	–0.20	LR
Personnel	Variable	**0.40**	–0.06	0.10	0.31	LR

Table 3 shows that model performance varies considerably depending on the temporal characteristics of the expense series. For the energy/electricity and marketing expense series, which exhibit pronounced seasonality, SARIMA achieved the best performance, with R^2 values of 0.98 and 0.99, respectively. Linear Regression performed best for relatively stable expense series, whereas XGBoost achieved the highest performance for logistics/fuel expenses characterized by a trend, with an R^2 of 0.63. For maintenance/repair and personnel expenses, the generally low R^2 values indicate that the evaluated models were able to explain only a limited proportion of the variability in these series.

These results suggest that the pronounced annual seasonality in the aggregate expense series contributed substantially to SARIMA's overall forecasting performance. In contrast, the variation in model performance across expense categories indicates that relying on a single forecasting model may not be appropriate for all financial expense series. An analysis of feature importance for the tree-based models further showed that the time/trend feature played a

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

prominent role in the predictions of both Random Forest and XGBoost. The distributions of model residuals over the final 12-month test period are compared in Figure 4.

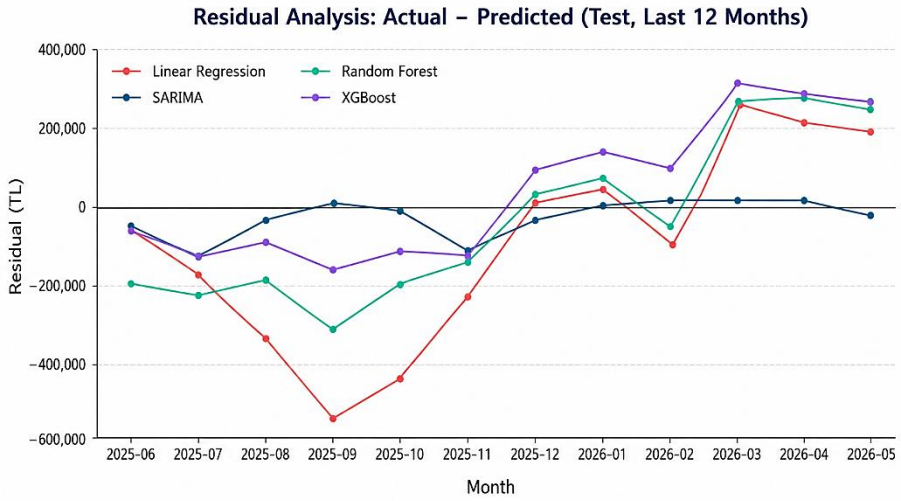


Figure 4. Comparison of model residuals over the final 12-month test period.

The narrower concentration of SARIMA residuals around zero is consistent with the lower MAE and RMSE values reported in Table 2. Linear Regression exhibited larger and more systematic deviations, whereas Random Forest and XGBoost produced more moderate error distributions. Overall, these findings indicate that the residual analysis is consistent with the numerical performance metrics.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings indicate that financial forecasting performance depends not only on model complexity but also on the temporal characteristics of the expense series. For the aggregate monthly expense series, SARIMA achieved the best overall performance, with an MAE of TRY 41,640; an RMSE of TRY 58,463; an MAPE of 1.3%, and an R^2 of 0.97. The expense-category-level results further showed that SARIMA performed better for seasonal series, Linear Regression for relatively stable series, and XGBoost for the logistics/fuel expense series characterized by a trend. These findings suggest that selecting forecasting models according to the temporal characteristics of the data may be more appropriate than relying on a single model for all expense categories.

The low or negative R^2 values observed for some expense categories indicate that the evaluated models were unable to adequately explain the variability in these series. In particular, the limited performance observed for irregular expense series suggests that forecasting accuracy depends not only on model capacity but also on the presence of learnable patterns in the underlying data. In this context, using Linear Regression as a baseline provided a meaningful reference for assessing the performance gains achieved by more complex forecasting models.

The present study is subject to several limitations. Since the experiments were conducted using synthetic data, the evaluation does not capture the effects of OCR errors, missing records, heterogeneous document layouts, or other data-quality issues that may arise in real-world financial documents. In addition, external economic variables were not incorporated into the

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

forecasting models, and model performance was evaluated using a single 12-month test period. Therefore, the findings should be further validated using real-world business data and across different evaluation periods.

In conclusion, this study proposes a cloud-based decision support architecture that integrates OCR, ETL, feature engineering, financial forecasting, dashboard visualization, and an alert mechanism. Future work will focus on validating the proposed system using real-world financial documents, applying walk-forward evaluation, incorporating external variables into the forecasting process, and comparing alternative forecasting methods such as LSTM and Prophet. These extensions are expected to provide a more comprehensive assessment of the proposed approach and its potential to support the effective use of financial data stored in cloud-based accounting systems for forecasting and managerial decision support.

REFERENCES

[1] Nguyen Phu, G., Hoang Thi, T., & Tran Nguyen Bich, H. (2025). The impact of cloud computing technology on cloud accounting adoption and financial management of businesses. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 851.

[2] Shrikaran, P., Mamalaivasan, H., Chitradevi, D., & Tharun Kumar, S. (2025, July). A Secure On-Premises ETL Pipeline for Enterprise Data Warehousing: Integrating OCR and Local LLMs. *In 2025 8th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)* (pp. 1859-1864). IEEE.

[3] Mohanty, M., Rath, P. S., Mohapatra, A. G., Mohanty, A., & Senapati, S. K. (2026). AI-enhanced data processing for modeling applications. *In Advances in Computers* (Vol. 142, pp. 515-540). Elsevier.

[4] Ratakonda, S. S., & Sasi, S. (2018, August). Seasonal trend analysis on multi-variate time series data. *In 2018 International Conference on Data Science and Engineering (ICDSE)* (pp. 1-6). IEEE.

[5] Borup, D., Christensen, B. J., Mühlbach, N. S., & Nielsen, M. S. (2023). Targeting predictors in random forest regression. *International Journal of Forecasting*, 39(2), 841-868.

[6] Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. *In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785-794).

[7] Kobiela, D., Krefta, D., Król, W., & Weichbroth, P. (2022). ARIMA vs LSTM on NASDAQ stock exchange data. *Procedia Computer Science*, *207*, 3836-3845.

[8] Gholami, M. T., & Shahabi, A. (2025). Comparison of deep learning methods with traditional financial time series models for forecasting the TEPIX index in the Tehran Stock Exchange. *Systems and Soft Computing*, 200395.

[9] Kumbure, M. M., Lohrmann, C., Luukka, P., & Porras, J. (2022). Machine learning techniques and data for stock market forecasting: A literature review. *Expert Systems with Applications*, *197*, 116659.

[10] Khan, A. H., Shah, A., Ali, A., Shahid, R., Zahid, Z. U., Sharif, M. U., ... & Zafar, M. H. (2023). A performance comparison of machine learning models for stock market prediction with novel investment strategy. *Plos one*, *18*(9), e0286362.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[11] Smith, R. (2007, September). An overview of the Tesseract OCR engine. In *Ninth international conference on document analysis and recognition (ICDAR 2007)* (Vol. 2, pp. 629-633). IEEE.

[12] Limapirak, D., & Imsombut, A. (2026, February). Thai Subtitle Extraction and Recognition from Video Frames Using YOLO11 and Fine-Tuned OCR Models. In *2026 Joint International Conference on Digital Arts, Media, and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering (ECTI DAMT & NCON)* (pp. 1-5). IEEE.

[13] Majka, M. (2024). Seasonal time series analysis: Why Sarima outshines Arima. *ResearchGate. Published September 19*, 2024.

[14] Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, *22*(4), 679-688.

[15] Cao, J., Li, Z., & Li, J. (2019). Financial time series forecasting model based on CEEMDAN and LSTM. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, *519*, 127-139.

[16] Lahmiri, S. (2016). A variational mode decomposition approach for analysis and forecasting of economic and financial time series. *Expert Systems with Applications*, *55*, 268-273.

[17] Bacak, S., & Köse, Ö. (2025). Yapay Zekâ Tabanlı Muhasebe Yazılımlarının Etkinliği ve Güvenliği. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (Advanced Online Publication), 25-41.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

DESIGN AND DIGITAL TWIN-BASED ANALYSIS OF A GRAVITY-BASED ENERGY STORAGE SYSTEM FOR WIND ENERGY APPLICATIONS

Alperen VARDAR

Manisa Celal Bayar University, alperenvardar.3535@gmail.com- 0009-0008-2993-927X

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, hayati.mamur@cbu.edu.tr - 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

In this study, a gravity-based energy storage system was designed as a solution to the intermittent nature of wind energy. Excess energy is stored as potential energy by lifting a mass and is converted back into electricity when needed. The system architecture, energy capacity, and mechanical requirements were calculated, and an FSM-based control architecture was developed for safe energy management. Simulations showed that the system operates stably under charging, discharging, and fault conditions. In addition, energy flow was monitored in real time through a Java-based digital twin platform, and the control algorithms were verified. The results demonstrate that gravity batteries can be a long-lasting, safe, and environmentally friendly storage alternative in renewable energy systems.

Keywords: Gravity Battery, Wind Energy, Digital Twin, Renewable Energy.

1. INTRODUCTION

Interest in renewable energy sources is increasing day by day due to rising global energy demand, diminishing fossil fuel reserves, and environmental concerns. Wind energy, in particular, has become one of the key components of the energy sector thanks to its low carbon emissions, sustainable structure, and decreasing investment costs with technological advancements. As in many countries, installed wind energy capacity in Turkey is continuously increasing and holds a significant share in electricity generation. One of the most important disadvantages of wind energy is that generation depends directly on meteorological conditions. Due to variations in wind speed, energy production cannot be carried out continuously and stably, which makes it difficult for grid operators to maintain the supply-demand balance. In particular, the decrease in energy production under low wind conditions and the surplus energy generated under high wind conditions increase the importance of energy storage systems [1]. Today, the most widely used technology in energy storage applications is lithium-ion and similar chemical battery systems [2]. Although these systems offer high energy density, they have several disadvantages such as limited cycle life, environmental impacts, temperature sensitivity, fire risk, and high investment costs. Especially in grid-scale applications, the growing need for long-duration energy storage has made it necessary to investigate alternative storage technologies. One of these alternatives, gravity batteries, stores energy in the form of

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

mechanical potential energy [3]. Their basic operating principle is based on lifting a certain mass using excess energy and converting it back into electrical energy by lowering the mass in a controlled manner when needed [4]. Gravity-based energy storage systems have become an important research area in recent years due to their advantages such as long cycle life, low environmental impact, high safety level, and large-scale energy storage potential [5].

In this study, an intelligent gravity battery system that can operate in integration with wind energy was designed. The energy management of the system was implemented with an FSM (Finite State Machine)-based control architecture, and safe transitions between charging, bypass, and discharging modes were ensured. In addition, a Java-based digital twin platform was developed to monitor system behavior, evaluate fault scenarios, and support operational decision-making processes. Within the scope of the study, the system architecture was established, engineering analyses were performed, and the applicability of the proposed structure was evaluated through simulation results.

2. MATERIALS AND METHODS

The gravity battery is the main energy storage element of the system. The storage process is based on the principle of lifting a certain mass vertically upward using excess electrical energy and thus storing it in the form of potential energy. During energy recovery, the mass is moved downward in a controlled manner and the mechanical energy is converted back into electrical energy [6].

The motor-reducer system enables the generation of mechanical movement during energy storage and recovery processes. In charging mode, the motor operates as a driver, lifting the mass upward; in discharging mode, it operates as a generator, producing electrical energy. Thanks to the reducer structure, high torque is obtained at low speeds and the load is moved safely. The vertical movement of the mass is carried out by means of a rope, pulley, and drum mechanism. Thanks to the rope wound around the drum, the motor movement is converted into linear motion. This structure ensures that the load is lifted and lowered in a controlled manner. A bidirectional power electronics architecture suitable for energy conversion was used to manage energy flow in the system. Thanks to the DC-Link structure, PWM-based driver control, and energy orientation algorithms, charging and discharging processes are kept under control. In addition, in cases of excessive energy, a dump-load mechanism is used to ensure system safety [7]. The energy management of the system is implemented with a Finite State Machine (FSM)-based control architecture. The control algorithm consists of four main operating states: CHARGE, BYPASS, DISCHARGE, and FAULT. By continuously monitoring system parameters, automatic transitions between operating modes are performed. The mechanical system flow is given in Figure 1.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

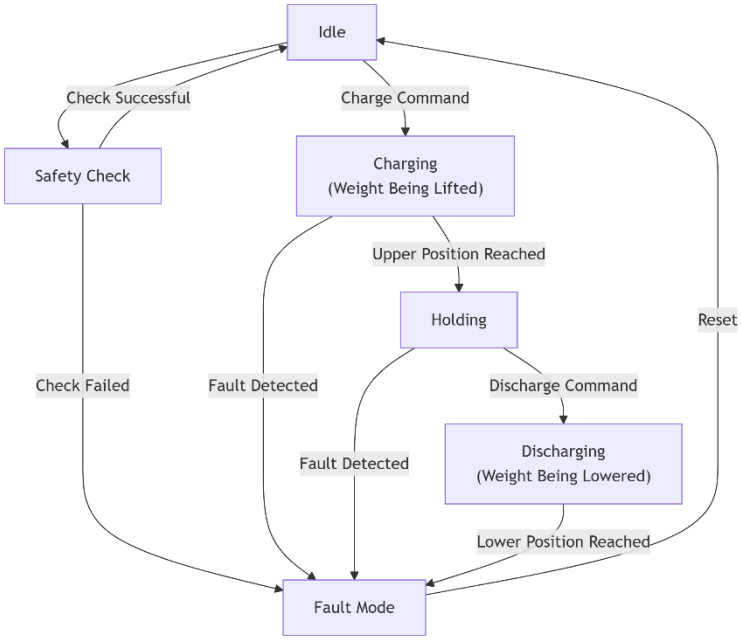


Figure 1. Mechanical system flow

Within the scope of the study, a Java-based digital twin application was developed to monitor and verify system behavior. Through this platform, energy flow, system status, storage level, fault scenarios, and FSM transitions can be displayed in real time; thus, system performance can be analyzed without the need for a physical prototype. In this study, a gravity-based energy storage system was designed as a solution to the intermittency problem of wind energy and modeled in a simulation environment. The system architecture was established, energy flow algorithms were developed, and the behavior of the system under different operating conditions was examined using an FSM-based control approach. The proposed system consists of a wind turbine, power electronics layer, motor-reducer group, rope-drum mechanism, gravity battery, and control system. The energy obtained from the wind turbine is first processed in the power electronics layer, and then transferred directly to the load or stored depending on system conditions. The basic principle of the system is based on lifting a mass upward with excess energy and storing it as potential energy. In cases where energy demand increases or generation is insufficient, the stored energy is recovered in a controlled manner and converted into electricity. In charging mode, excess energy drives the motor-reducer group, the mechanical motion transferred to the drum mechanism lifts the load upward, and energy is stored in the form of potential energy. The amount of stored energy is calculated with the equation $E = m.g.h$ (m: load mass, g: gravitational acceleration, h: lifting height). In discharging mode, the load is lowered in a controlled manner and the resulting mechanical energy is converted back into electricity by the motor-generator group. The energy management of the system is carried out with an FSM-based control architecture that provides automatic and safe transitions between different operating states. The FSM structure continuously monitors system parameters, determines the appropriate operating mode, and manages energy flow accordingly. Various

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

protection mechanisms have been integrated into the control algorithm for safe operation. The system continuously monitors conditions such as overcurrent, overvoltage, sensor communication loss, and mechanical limit violation; when a critical fault is detected, it switches to FAULT mode, cuts off energy flow, and initiates the safe shutdown procedure. In addition, in the event of excessive energy, the dump-load structure is activated to keep the DC bus voltage within safe limits. In the Java-based digital twin platform developed for the analysis of system behavior, energy flow, system status, storage level, and fault scenarios were modeled in real time; system performance under charging, bypass, discharging, and fault conditions was evaluated, and the operating logic of the control algorithm and energy management strategies were verified.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The performance of the developed gravity-based energy storage system was evaluated using the engineering model and the digital twin platform. In the analyses, energy storage capacity, mechanical requirements, control algorithm behavior, and fault scenarios were examined. In the reference scenario where a 500 kg mass is lifted to a height of 50 m, it was observed that the system can store a significant amount of energy using the potential energy equation. It was determined that the storage capacity is directly related to the load mass and lifting height, and therefore the system can be scaled according to different energy requirements. In the rope-drum mechanism analysis, it was calculated that a torque requirement of approximately 490.5 Nm occurs on the drum. This situation showed that the system requires high torque at low speed and that a motor-reducer solution is necessary. It was observed that the FSM-based control structure successfully manages system behavior. When there is surplus generation, the system automatically switches to CHARGE mode; when energy demand increases, it switches to DISCHARGE mode; and when generation and consumption are balanced, BYPASS mode becomes active. It was observed that the FSM architecture performs stable and predictable transitions between operating modes. In the cycle efficiency analysis conducted by considering mechanical and electrical losses, it was revealed that energy storage and recovery processes can be carried out with high efficiency. The obtained results show that despite various losses, the system offers a feasible energy storage solution and that efficiency can be further increased with appropriate control strategies. Within the scope of safety verification, fault scenarios such as overcurrent, sensor communication loss, DC bus voltage rise, and mechanical failures were examined; it was observed that the FSM algorithm successfully detects these conditions, switches the system to FAULT mode, cuts PWM outputs, and safely stops energy flow. In addition, it was determined that the dump-load mechanism is activated in cases of excessive energy to maintain system stability. Thanks to the Java-based digital twin platform, energy flow, storage level, FSM states, and fault scenarios could be monitored in real time; the platform made a significant contribution to analyzing system behavior and verifying the control architecture without requiring a physical prototype.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

4. CONCLUSION

In this study, a gravity-based energy storage system was designed as a solution to the intermittency problem of wind energy, and the system was examined using engineering analyses, control algorithms, and a digital twin approach. Excess energy is stored as potential energy by lifting a mass and is converted back into electricity when needed. An FSM-based control architecture was developed for safe energy management; simulations showed that the system successfully carries out energy storage and recovery processes and maintains safe operation under fault conditions. Energy flow was monitored in real time with the Java-based digital twin platform, and the control algorithms were verified. The findings demonstrate that gravity batteries can be a long-lasting, safe, and environmentally friendly storage alternative in renewable energy systems. Future studies aim to develop a physical prototype, establish a real-time data infrastructure, and integrate the digital twin platform with field data..

5. REFERENCES

[1] Rekioua, D. (2023). Energy storage systems for photovoltaic and wind systems: A review. Energies, 16(9), 3893.

[2] Šimić, Z., Topić, D., Knežević, G., & Pelin, D. (2021). Battery energy storage technologies overview. International journal of electrical and computer engineering systems, 12(1), 53-65.

[3] Wang, R., Zhang, L., Shi, C., & Zhao, C. (2025). A review of gravity energy storage. Energies, 18(7), 1812.

[4] Wang, R., Zhang, L., Shi, C., & Zhao, C. (2025). A review of gravity energy storage. Energies, 18(7), 1812.

[5] Cai, K., Han, Y., Xia, R., Wu, J., Wang, J., & Lund, P. D. (2024). Gravity Energy Storage: A Review on System Types, Techno-Economic Assessment and Integration With Renewable Energy. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 13(6), e543.

[6] Botha, C. D., & Kamper, M. J. (2019). Capability study of dry gravity energy storage. Journal of Energy Storage, 23, 159-174.

[7] Monroy-Morales, J. L., Peña-Alzola, R., Sajikumar, A., Campos-Gaona, D., & Melgoza-Vázquez, E. (2026). Control Design for Wind–Diesel Hybrid Power Systems Retrofitted with Fuel Cells. Energies, 19(6), 1573.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

APPLICATION OF A CAN-BASED COMMUNICATION SYSTEM FOR SECURE VOICE COMMUNICATION IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Efe İSHAKOĞLU

Manisa Celal Bayar University, efe_ishakogli@outlook.com - 0009-0001-2062-9119

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, hayati.mamur@cbu.edu.tr - 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

In this study, a system that performs real-time voice transmission over a CAN (Controller Area Network) bus was designed and implemented to provide secure and low-cost voice communication in industrial environments. The system is based on the principle of digitizing the analog voice signal received via a microphone with the SGTL5000 audio codec, compressing it with the ADPCM algorithm, and carrying it within CAN data frames. On the receiver side, the incoming data is decoded, resampled using linear interpolation, and obtained as intelligible sound through a speaker. A Teensy 4.1 microcontroller with a 600 MHz ARM Cortex-M7 processor was used as the system controller; Audio Shield Rev D was preferred for audio processing, and the TJA1042 CAN transceiver IC was chosen for the physical CAN connection. The developed software architecture is entirely interrupt-based, and the processor load remained at 4%. In the tests conducted, it was verified that real-time voice transmission was achieved without perceptible delay. As a result, voice communication capability was added to the existing CAN infrastructure with only minor hardware additions; the system was shown to be applicable in different fields such as factories, military vehicles, and passenger transport vehicles.

Keywords: ADPCM, CAN, Real-time voice transmission, SGTL5000, Teensy 4.1.

1. INTRODUCTION

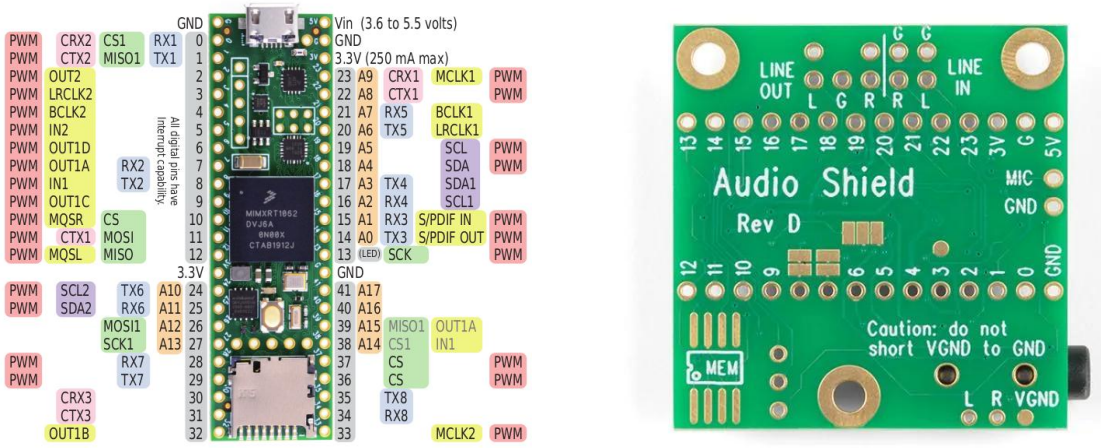
The ability of personnel working in areas such as industrial production facilities, large-scale vehicles, and heavy machinery environments to establish secure and instantaneous communication constitutes a critical requirement in terms of work efficiency and occupational safety. Challenging conditions such as high noise levels, electromagnetic interference, and complex cabling infrastructure significantly reduce the reliability of wireless communication solutions in these environments. Adding additional hardware and cabling to the existing communication infrastructure, on the other hand, both increases the cost and creates serious difficulties in terms of installation complexity [1]. For this reason, the need for solutions that reevaluate the existing industrial communication infrastructure and do not require an additional communication line is increasing [2].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

In this study, a communication system that performs real-time voice transmission over the CAN (Controller Area Network) bus, which is already widely used in industrial systems, was designed and implemented. In the system, the Teensy 4.1 microcontroller, Audio Shield Rev D containing the SGTL5000 audio codec, the TJA1042 CAN transceiver IC, and a logic level converter circuit were used. The voice data was compressed with the ADPCM algorithm, packaged into CAN data frames, and transmitted over the bus at a speed of 1 Mbps. On the receiver side, the incoming data was decoded, resampled with linear interpolation, and obtained as intelligible sound from the speaker. The developed system adds voice communication capability to the existing CAN infrastructure with minimal hardware addition; it can be easily adapted to different application areas such as factories, military vehicles, and passenger transport vehicles.

2. MATERIALS AND METHODS

The Teensy 4.1 is a high-performance microcontroller board developed by PJRC. It features an ARM Cortex-M7 processor running at a clock speed of 600 MHz, a hardware floating-point unit (FPU), 1 MB of SRAM, and hardware support for communication protocols such as CAN, I²S, SPI, and UART [3]. Its compatibility with the Arduino IDE simplifies the development process. The Teensy 4.1 was selected for this study due to the requirement for the simultaneous execution of real-time audio processing and data transmission via CAN [4]. Figure 1 shows the Teensy 4.1.



a) **b)**

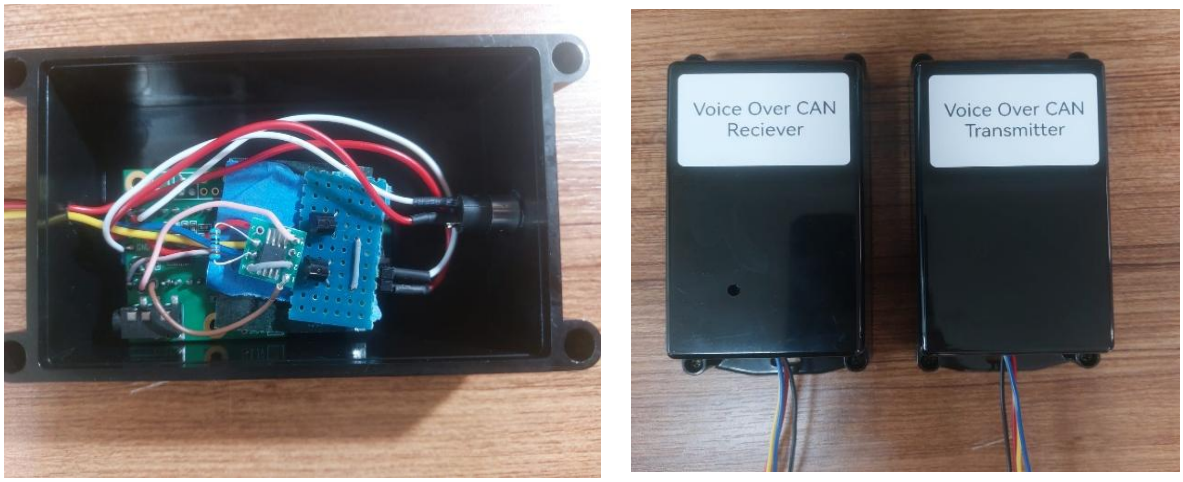
Figure 1. Teensy 4.1 a) pins and b) Audio Shield

Audio Shield Rev D is an audio processing board that works directly compatible with Teensy 4.1. The SGTL5000 audio codec IC on it hosts 16-bit resolution ADC and DAC units on a single board; it enables the digitization of the analog signal received from the microphone input and the conversion of the processed digital data back into analog form. This board, which

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

communicates with Teensy 4.1 via the I²S protocol, eliminates the need for external ADC and DAC circuits. In this study, audio input and output operations were performed through the Audio Shield [5]. Microcontrollers cannot connect directly to the CAN bus; digital signals need to be converted into the differential signal structure required by the bus. In this study, the TJA1042 CAN transceiver IC acts as a bridge between the Teensy 4.1 and the physical CAN bus. It converts the signals coming from the microcontroller into differential signals that can be carried on the CANH and CANL lines; in this way, high resistance against electromagnetic noise is provided [6].

While the Teensy 4.1 operates at a 3.3 V logic level, the TJA1042 transceiver requires a 5 V logic level. To eliminate this incompatibility, a BSS138-based bidirectional logic level converter circuit was added between the two components. In this way, secure data transmission was ensured between components operating at different voltage levels, and the long-term reliability of the hardware was preserved. The developed system was built on two separate circuits: transmitter and receiver. In both circuits, the Teensy 4.1 microcontroller, Audio Shield Rev D, TJA1042 CAN transceiver, and logic level converter circuit were used together. The components were brought together as a prototype on a breadboard; the Teensy 4.1 and Audio Shield were placed directly on top of each other to provide the I²S connection. The TJA1042 transceiver was connected to the Teensy 4.1 via the logic level converter circuit; the CANH and CANL terminals were joined with a twisted pair cable drawn between the two boards, and 120 Ω termination resistors were added to both ends of the line. On the transmitter side, an electret microphone module was connected to the microphone input of the Audio Shield, and on the receiver side, an 8 Ω speaker was connected to the line output of the Audio Shield. Both circuits were powered with 5 V via USB. The hardware setup implemented is given in Figure 2.



a) **b)**

Figure 2. System a) hardware and b) transmitter/receiver units

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

3. RESULTS AND DISCUSSION

The developed system was operated after the transmitter and receiver boards were physically connected to each other with a CAN cable, and voice transmission tests were performed. When the system was started on the transmitter side, the message "TX READY" was received via the serial port; when speaking into the microphone, it was verified that the voice signal was successfully sampled by the Audio Shield and packaged onto the CAN bus. On the receiver side, after the "RX READY" message, real-time audio output was obtained from the speaker. In the tests conducted, the status report sent by the receiver to the serial port every five seconds was examined. In the measurements performed in a short-range and noise-free environment, the number of lost frames remained at zero, and the buffer fullness rate was observed to remain at a stable level. It was confirmed by listening tests that voice transmission occurred without perceptible delay and that the speech obtained from the speakers was at a level that could be clearly understood.

4. CONCLUSION

The study was successfully completed in accordance with the objectives set at the beginning; a real-time voice communication system over a CAN-based communication infrastructure was made operational. The hardware setup of the system was implemented without deficiencies, and it was successfully verified that the analog voice signal received via the microphone was processed through the Teensy 4.1 and Audio Shield, transmitted over the CAN bus, and output from the speaker on the receiver side. In the tests conducted, it was observed that voice transmission occurred without perceptible delay and that the speech quality obtained was at a level that could be clearly understood.

REFERENCES

[1] Hanzalek, Z., & Storch, M. (2018). Real-time performance evaluation of CAN bus with mixed control and audio traffic. IFAC-PapersOnLine, 51(6), 232–237.

[2] Kocher, M., & Müller, G. (2009). Integration of audio transmission in CAN-based embedded systems. Proceedings of the International Conference on Embedded Systems, Vienna.

[3] Roschger, S. (2024). Design and implementation of an arduino-based central electronic board for event-driven microscopy (Doctoral dissertation, Technische Universität Wien).

[4] Umadi, R. (2025). Embedded ultrasonics: A microcontroller-based multichannel ultrasound recorder for Behavioural field studies. BioRxiv.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[5] De, S., Jalajamony, H. M., Adhinarayanan, S., Joshi, S., Upadhyay, H., & Fernandez, R. (2025). Multimedia transmission over lora networks for iot applications: A survey of strategies, deployments, and open challenges. Sensors (Basel, Switzerland), 25(23), 7128.

[6] NXP Semiconductors, "TJA1042: High-speed CAN transceiver with Standby mode," Datasheet, Rev. 5, Jan. 2023.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

INVESTIGATION OF SEASONALITY IN MATHEMATICAL MODELS USING FRACTIONAL DERIVATIVES

Asistant Professor, Mehmet Akif ÇETİN

Alanya Alaaddin Keykubat University, akif.cetin@alanya.edu.tr - 0000-0002-4991-5098

ABSTRACT

Fractional derivatives are generalizations of classical derivatives that provide powerful tools for representing memory and hereditary effects in mathematical models. They have been increasingly employed in biological, epidemiological, environmental, and physical systems where the current dynamics may depend not only on the present state but also on the previous history of the system. In this study, the use of fractional-order derivatives in mathematical modeling is briefly reviewed, with particular emphasis on their potential role in modeling seasonal dynamics. Seasonality refers to regular or approximately periodic variations in a system occurring over specific time intervals. Such effects are particularly important in epidemiological models, where factors such as temperature, humidity, human mobility, and behavioral changes may lead to periodic variations in disease transmission. Accordingly, seasonal SIR, SEIR, and related epidemic models can be formulated by introducing time-dependent or periodic transmission parameters. Incorporating fractional derivatives into such models provides an additional modeling capability by accounting for the memory effects of the system alongside seasonal variations. Therefore, fractional-order models can offer a framework for investigating the combined influence of periodic forcing and hereditary dynamics. In this study, the potential contributions of different fractional derivative operators to seasonal mathematical models are discussed, together with their differences from corresponding classical-order models. The study aims to highlight the potential of fractional calculus as a flexible approach for describing complex dynamical systems exhibiting both seasonal behavior and memory effects.

Keywords : Fractional derivative, mathematical modeling, seasonality.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

PARAZİT MİMARİ
PARASITIC ARCHITECTURE

Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN

Atılım Üniversitesi, evren.tandogan@atilim.edu.tr - 0000-0002-8809-3701

Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN

Ankara Üniversitesi, elmas.erdogan@ankara.edu.tr - 0000-0002-4193-629X

ÖZET

Parazit, konak olarak kullandığı canlıyı hem besin kaynağı hem de yaşam alanı olarak kullanan küçük boyutlu canlıdır. Bir parazit, ev sahibinin hayatta kalmasına hiçbir şekilde katkıda bulunmayan dolayısı ile konak tarafından istenmeyen hatta zararlı görülen bir olguyu ifade etmektedir. Mimaride ise "parazit" mevcut bir yapıya eklenerek varlığını sürdürmek için onu kullanan, bağımsız yeni bir yapıdır. Mevcut yapıya eklemlenen bir yapı olarak çağdaş eklenti olarak görülse bile eklemlendiği yapıdan ayrılarak yeni, farklı bir konuma taşınabilmesi, esnek ve geçici özelliği ile bu yapılardan ayrılmakta; yanı sıra kimlik özellikleri açısından da ayrışmaktadır.

Mimaride parazit yaklaşım güncel gereksinimler doğrultusunda binaların gereksinim duyulan mekânsal çözümlemeler için yeniden inşa edilmesi yerine, mevcut bina ve mekanların adaptasyon ve uyarlanabilir yapısal ve mekânsal ekler ile yaşam döngülerinin uzatılmasına olanak sağlamaktadır. Kentsel alanlarda mevcut yapı stoğunun güncel gereksinimler doğrultusunda daha verimli kullanılmasında parazit olarak nitelenen ekler yapılanma tarihi boyunca gerekli bulunduğu durumlarda uygulanmış olup dönemsel yaklaşımlar kapsamında farklı bakış açıları ile biçim bulmuştur. Bu anlamda mimari bir müdahale olarak parazit yapı bağımsız olarak tek başına var olamayan ancak mevcut bina ve zaten belli bir işlev için tasarlanmış mekan organizasyonu ile entegre edilmeye çalışılan ve özgün yapı özellikleri ve kimliğini değiştirip dönüştüren dinamik bir yapılanma ve mekanlaşma sürecidir. Parazit olarak bir yapıya eklemlenen mekan, mevcut mekânsal organizasyonu ve ilişkileri yeniden tanımlamakta, ancak doğru çözümler üretilmediğinde mevcut mimari niteliğe zarar vermekte; kimi durumlarda ise yeni olanaklar sunabilmektedir.

Bu bildiride öncelikle parazit tasarım ve mimarlık tanımlanarak bileşenleri örnekler bağlamında irdelenmiştir. Mevcut yapılı çevreyi dönüştüren parazit mimarlığın niteliği, kimlik özellikleri, oluşturduğu sorun ve olanaklar tartışılarak işlevsel ve mekan tasarımındaki rolü ortaya konarak olumlu ve olumsuz boyutları ile ulusal ve uluslararası örnekler kapsamında değerlendirilerek özgün mimari ve çevre oluşumu kapsamında tartışılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Anahtar Kelimeler: Parazit mimari, Parazit mekân, Parazit yapı, mimari tasarım, mekan, kitsch, esnek mekanlar, estetik, işlev, enstalasyon, çağdaş ek

1. GİRİŞ

Yapılı çevrelerin oluşumunda başta kültür ve mimarinin yanı sıra birçok bileşen birbiri ile dinamik ilişki içinde bulunmaktadır. İnsanlar, barınma, üretme, sosyal ve kültürel birliktelikleri gerçekleştirmek amacı ile bulundukları çevreyi şekillendirmekte; binalar, mekânlar tasarlamaktadır. Toplumsal olaylar, ekonomi, geleneksel ve kültürel etkileşimler ve teknolojik gelişimlerden etkilenen hem birey hem de yapılı çevre güncel gereksinimler doğrultusunda yeni, farklı, yenilikçi mimari yaklaşımlar ile değişmekte ve dönüşmektedir. Mimarlık da bu anlamda biçim bulmakta, çeşitli üslup ve akımlar kapsamında binalar inşa edilmektedir.

Parazit mimari, mevcut bir yapıya tutunarak var olan, binaların kör cephelerini, kentsel atıl alanları değerlendiren bir tasarım dili olarak tanımlanmaktadır (Bardzinska-Bonenberg, (2017). Mimaride parazit yaklaşım güncel gereksinimler doğrultusunda yeni bina inşa edilmesi yerine mevcut bir yapıya bağımlı, malzeme ve form olarak mevcut yapıdan farklı mekânsal eklentilerdir.

Hızla artan nüfusa karşın kentsel mekanların aynı hızda dönüşememesi barınma olgusunu en önemli küresel sorunlardan biri olarak gündemde tutmaktadır. Kentsel mekan yetersizliği, ekonomik adaletsizlik, göç gibi küresel sorunlar nedeni ile artan barınma sorununa her dönemde farklı bakış açıları ile çözüm önerileri geliştirmiştir. Bunlardan biri de parazit mimari yaklaşımdır.

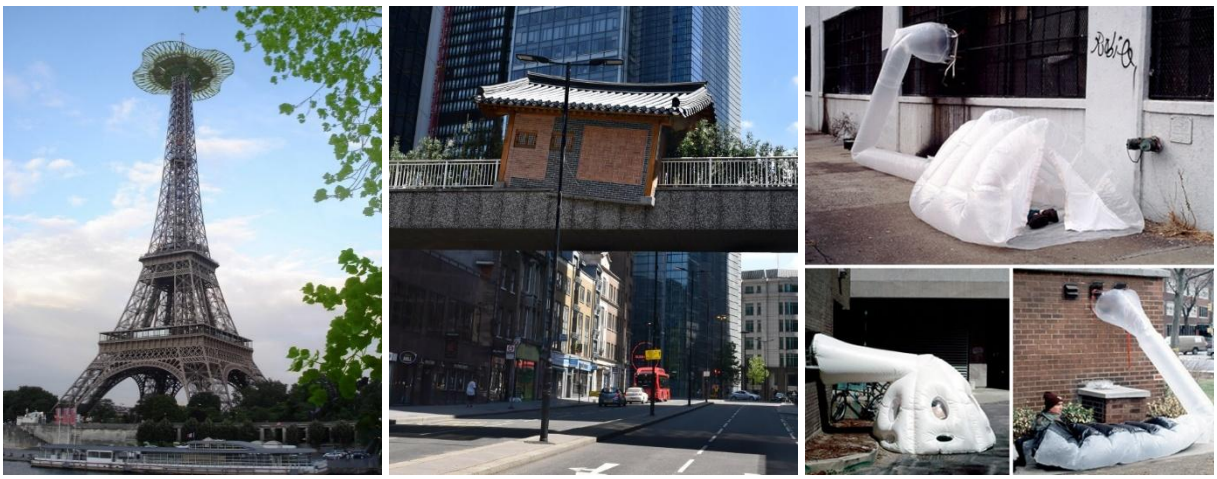
Gündelik yaşamda ortaya çıkan dönüşümler sonucu mekânsal tanımlar değişirken alternatif mekan pratikleri izlenmektedir. Parazit mimari, mevcut yapının fiziksel sınırları dışına eklenen, dışarı taşan ya da sarkan biçimde uygulanan, geçici olma özelliğe sahip yapılardır. Burada parazit eklenti bağımsız bir yapı olarak kabul edilse de eklemlendiği yapıdan bağımsız olarak tek başına var olamayacak niteliktedir.

Çağın ve kullanıcıların gereksinimleri doğrultusunda yapıya; yeni işlevler ve mekanlar eklemlenerek kullanım sürekliliği sağlanmaktadır. Mevcut özgün doku ve binalarda zaman içinde ortaya çıkan sosyal, ekonomik, kültürel ve teknolojik yeni gereksinimlere çözüm olarak yapılan eklemeler, mevcut yapının gerekli bakım ve onarımının yapılarak güncellenmesine/yenilenmesine de olanak sağlamaktadır. Malzeme ve yapım tekniği bakımından inşa edildiği dönemi yansıtan ekler yapı ile bütünleşerek binanın fiziksel mekan olarak genişlemesine, değişmesine olanak sağlamaktadır. Çağdaş ek olarak da adlandırılan bu yapılanma mevcut bina ve çevre ilişkisi, bina kimliği, konum, kütle-oran, malzeme-doku ilişkilerini barındıran çok katmanlı bir tasarım sürecini gerektirmektedir. Bu doğrultuda çağdaş ekler yapının kullanım biçimine, cephesine kalıcı olarak eklenen mimari çözümlerdir. Parazit yapılar ise esnek ve geçici özelliği ile bu yapılardan ayrılmaktadır.

Bu anlamda **enstalasyon** (**yerleştirme sanatı**), **kavramsal projeler** ve **mimari uygulamalar** olmak üzere farklı parazit mimari/parazit yapı uygulamaları bulunmaktadır. Sanatsal bir performans sergilemek üzere alan özelinde tasarlanan, üç boyutlu çalışmaları ifade eden enstelasyon sanatında katılımcı etkileşimi önemli bir tasarım girdisi olarak kabul edilmektedir

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

(Anonymus, 2024). Yerleştirme sanatında eser, eklemlendiği alanın fiziksel özelliklerini kullanarak anlam kazanan, mekanın mimari özelliklerini kullanarak alanı sınırlı süre ile değiştiren bir deneyim sunmaktadır. Bu anlamda farklı sanatçılar barınma, göç, doğal tahribat gibi küresel sorunlara dikkat çekmek üzere özel ve kamusal alanlarda parazit yapı olarak adlandırdıkları eserler yerleştirmiştir (Görsel 1).



Görsel 1 a. Eiffel DNA, Serero Architects 2009 (Url 1), b. Do Ho Suh's Bridging home, Londra, 2018 (Gautier Deblonde) (Url 2) c. paraSITE-Michael Rakowitz 1997 (Url 3)

Enstalasyon niteliğindeki parazit oluşumda eklemlenen yapının geçici olması doğadaki konak-parazit ilişkisi kapsamında önemli bir kriter olmaktadır. Bu bildiride doğada var olan parazit (asalak) ilişkisinden esinlenen parazit mimari/parazit yapı örnekleri mimari uygulamalar ve kavramsal projeler irdelenmiş; heykel, kentsel obje veya sanatsal enstalasyon olarak sınıflandırılan parazit yapı uygulamaları ile ana yapıya kalıcı olarak eklenen, çağdaş ek olarak kabul edilebilecek uygulamalar dikkate alınmamıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın ana materyalini parazit mimari ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş her türlü araştırma, literatür verisi, yazılı ve görsel doküman oluşturmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde üç aşamalı yöntem kullanılmıştır. İlk aşamada kuramsal ve teorik veriler derlenmiştir. Daha sonra elde edilen bulgular sentezlenmiş ve parazit mimarlık, kimlik özellikleri, alternatif mekan kullanımları tartışılmış ve son aşamada da mevcut yapılı çevreyi dönüştüren mimari örnekler değerlendirilerek özgün mimari ve çevre oluşumu kapsamında olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilmiştir.

3. PARAZİT MİMARİ

Doğada besin elde etmek, büyümek ya da çoğalmak amacı ile başka bir canlıyı izinsiz, haksız yere kullanan yaşayan organizmalar parazit olarak tanımlanmaktadır. Konak üzerine davetsizce yerleşen, varlığın sürdürmek amacı ile konağa tutunan, yaşamsal gereksinimlerini konaktan karşılayan ve bu süreçte konağın yaşam döngüsüne hiçbir fayda sağlamayan parazit konağa doğrudan ya da dolaylı olarak zarar veren yapıya sahiptir.

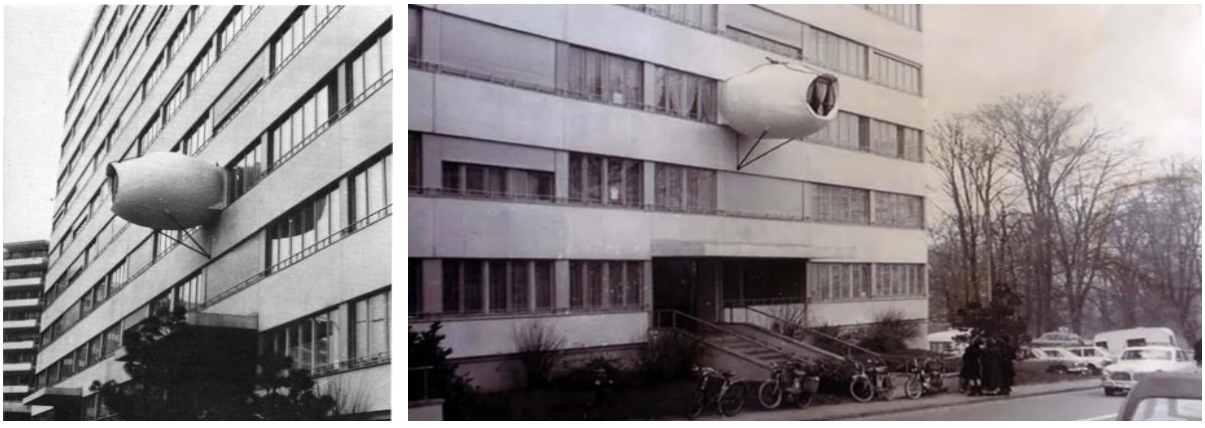
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Mimari bağlamda ise "parazit" mevcut bir yapıya eklenerek varlığını sürdürmek için onu kullanan, uyarlanabilir, kalıcı ya da geçici olabilen yeni bir yapıdır. Doğada var olan konak – parazit ilişkisine benzer biçimde tasarlanan bu yapılar strüktürel ve altyapısal gereksinimlerini eklemlendiği ana yapının sistemi üzerinden karşılamaktadır.

Parazit yapı bağımsız olarak tek başına var olamayan ancak mevcut bina ve zaten belli bir işlev için tasarlanmış mekan organizasyonu ile entegre edilmeye çalışılan; özgün yapı özellikleri ve kimliğini değiştirip dönüştüren dinamik bir yapılanma ve mekanlaşma sürecidir. Mevcut yapıya eklemlenen mekan çağdaş bir ek olarak görülse de esnek ve kimi durumda geçici olma özelliği de taşıyabilen yanı sıra kimlik özellikleri açısından çağdaş eklerden ayrışmaktadır. Çağdaş ekin eklemlendiği yerden ayrılması/kaldırılması halinde yapıda işlevsel bir eksiklik oluşmasına rağmen parazit mekanın ayrılması ile yapı özgün işlevine devam edebilmektedir.

Pascal Häusermann tarafından modüler konaklama birimi olarak 1962 yılında tasarlanan **Settlement Units** parazit yapının ilk örneği kabul edilmektedir. Ancak tasarım alanında parazit kavramı ilk olarak Alman mimar O. M. Ungers tarafından 1966 yılında kullanılmıştır. Ungers'e göre parazit mimari; planlanmamış, kendiliğinden gelişmiş, sıkışık, atıl kalmış kentsel boşlukların ya da bina cephelerinin informal eklemeler ile kente yeniden adapte edilmesine olanak sağlayan tasarım yöntemidir (Pit, Steller, Streng, 2017; Susam ve Çetin, 2024). Ungers parazit kavramını kentsel çevrenin dönüşümünde mevcut çevreyi canlandıran, esnek bir tasarım alternatifi olarak değerlendirmiştir.

Parazit mimarinin bir diğer önemli uygulaması olan **La Bulle-Pirate** (**Korsan Balon / Hücre**) 1970 yılında Marcel Lachat tarafından tasarlanmıştır. Lachat, konutunda gereksinim duyduğu mekan sorununa alternatif bir çözüm geliştirerek pencere açıklığına çelik destekler ile yaklaşık 10 metrekarelik hafif bir kapsül mekan eklemiştir. Bebek odası olarak düzenlenen bu yapı hem izinsiz olması hem de kamu tepkisi nedeni ile kısa süre sonra kaldırılmıştır (Boer, 2014), (Görsel 2).



Görsel 2 La Bulle-Pirate (Boer, 2014) (Url 4, Url 5)

Parazit yapı eklemlendiği binanın altyapısını kendi gereksinimleri doğrultusunda kullanarak binayı mekânsal olarak zenginleştirmektedir. Bu bağlamda geçici olarak bir yapıya bağımlı olarak varlığını sürdüren parazit eklenti yapıyı hacim, boyut, malzeme, renk ve doku özellikleri bakımından değiştirmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte daha hafif ve yenilikçi malzemelerin

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

kullanımı yoğun yapılaşma alanlarında parazit mimariyi bir eleştiri olmaktan çıkarıp yapısal ve pratik sorunlara uygulanabilir çözümler sunan bir tasarım stratejisine dönüşmektedir.

3.1 Parazit Mimari Uygulamaları

Kentsel alanlarda mevcut yapı stoğunun güncel gereksinimler doğrultusunda daha verimli kullanılmasında parazit olarak nitelenen ekler yapılanma tarihi boyunca gerekli durumlarda uygulanmış olup dönemsel gereksinim ve trendler kapsamında farklı bakış açıları ile biçim bulmuştur. Bu anlamda parazit mimari örneklerin mevcut yapıların üzerinde, cephesinde, iki yapı arasına ya da kentsel alt yapıya eklemlendiği görülmektedir.

Parazit mekanlar konak ile kurduğu yapısal, fiziksel ve 50ekânsal ilişkiye bağlı olarak farklılaşmaktadır. Mevcut doku içinde dikkat çeken; malzeme, boyut, form özellikleri açısından özgün yapıdan farklılaşan, aykırı kitlesel ya da mekânsal eklerdir. Yapısal olarak mevcut strüktüre bağımlılık parazit yapının tasarımında en önemli tasarım bileşenidir. Bu bağlılık/bağımlılık parazit mekanın her ne kadar bağımsız bir yapı gibi kabul edilse de mevcut konaktan ayrıldıklarında işlevsiz kalmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda parazit, konak binadan yapıya hiçbir zarar vermeden ayrılabilmekte ve yapı parazit öncesi işlevine devam edebilmekte; ancak parazitin kendine yeni bir konak bulması gerekmektedir.

Parazit yapı genellikle konak olarak kullandığı binanın taşıyıcı sistemine çelik ankrajlar ve askı aparatları ile sabitlenmektedir. Bu bağlamda parazit eklerin imalatında mevcut sistemin taşıma kapasitesini aşmayacak biçimde alüminyum, hafif metal-plastik alaşımlar ya da kompozit levhalar gibi hafif prefabrik/precast malzemeler tercih edilmektedir.

- **Mimari Uygulamalar**

  2001 yılında "Avrupa Kültür Başkenti" etkinlikleri kapsamında Rotterdam inşa edilen **Las Palmas Paraziti**, Rotterdam limanında yer alan eski bir deponun çatısına, asansör kuyusu üzerine yerleştirilmiştir (Görsel 3). Asansör şaftı üzerinden konak binanın teknik ve mekanik alt yapısına bağlanan yapı, geri dönüştürülmüş ahşap paneller kullanılarak modüler olarak üretilmiş ve yerinde monte edilmiştir. Proje mimarlarının Las Palmas paraziti olarak adlandırdığı bu projede parazit olgusu hem biyolojik bir benzetme olarak kullanılmış hem de İngilizce akronim ile açıklanmıştır. Buna göre; Las Palmas Paraziti gelişmiş, hazır yapım, amfibi, küçük ölçekli, bireysel, geçici ve ekolojik konut Prototipidir (***P**rototypes for **A**dvanced **R**eady-made **A**mphibious **S**mall-scale **I**ndividual **T**emporary **E**cological dwelling)* (Koskamp, 2001). 2005 yılında ana yapıya zarar vermeden sökülen parazit bir süre depolanmış ve 2014 yılında Rotterdam Limanı'nda deneysel bir stüdyo ve sanatsal faaliyet alanı olarak tekrar kurulmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 3 a. Las Palmas Parazit, Hollanda (Mechthild Stuhlmacher ve Rien Korteknie, 2001) (Url 6)

Sırt çantası evi (Rucksack House) olarak bilinen ve ilk olarak 2004 yılında Leipzig'de kurulan parazit eklenti mevcut binanın çatısına ve cephesine çelik kirişler ve kablolar yardımı ile yerleştirilmiştir. Eklemlendiği binanın cephesinde bulunan bir pencereden erişim sağlanana yapı; 9 metrekarelik bir alana sahip dikdörtgen prizma şeklindedir. Yapının tavan, taban ve cephelerinde şerit pencereler bulunmaktadır. Rucksack House taşınabilir bir ünite olarak tasarlanmış olup 2005 yılında Köln'de, 2011 yılında ise Bamberg'de farklı binaların cephelerine yerleştirilmiştir (Görsel 4).



Görsel 4 Rucksack House (Stefan Eberstadt, 2004) (Url 7)

2006 yılında Bailo Rull Mimarlık tarafından **Manresa Belediye Binası** arka cephesine dikey sirkülasyon ve erişim sağlamak amacı ile eklenen yapı çelik taşıyıcı sisteme sahiptir. Binanın mevcut sirkülasyon hatlarını binanın dışına taşıyan parazit yapı dinamik, amorf bir uzantı olarak tasarlanmıştır (Anonymus, 2009). Belediyenin tarihi öneme sahip binasında çelik çerçeveler ve bağlantı noktaları ile taşınan yapı geri döndürülebilirlik (reversibility) ilkesine uygun olarak tasarlanmıştır. Böylece parazit eklenti kaldırıldığında, Manresa

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Belediye Binası özgün mekan kullanımı ve özellikleri zarar görmeden varlığını sürdürebilecektir (Görsel 5).



Görsel 5 Manresa Belediye Binası paraziti (Url 8).

Fransız mimar Stéphane Malka tarafından tasarlanan **AME-LOT** (2011) projesinde ise amaç Paris'te mevcut bir binanın sağır cephelerinden yararlanılarak öğrenciler için barınma alanı sağlamaktır (Jarz, 2011). Kentin atıl ve verimsiz kör noktalarının düşük maliyetli, işlevsel ve dinamik tasarımlar ile dönüştürülebileceği kanıtlayan tasarımda endüstriyel üretim atığı olan hazır ahşap paletler kullanılmıştır. Bina üzerine giydirme cephe yöntemi; dış cepheye düşey ve yatay yönlü hafif metal profillerden monte edilen ray/iskelet sistemi yapılandırılarak ve ahşap paletler oluşturulan bu altyapıya entegre edilmiştir. Malka tarafından geçici kentsel eklenti olarak tanımlanan bu parazit yapı kuru montaj tekniği ile imal edilmesi nedeni ile mevcut binaya zarar vermeden sökülebilir ve başka bir binaya yeniden monte edilebilecek konumdadır (Görsel 6).



Görsel 6 AME-LOT (Studiomalka, 2024), (Url 11)

2011 yılında Moskova'da Za Bor Mimarlık tarafından iki yapının birbirine bakan sağır cephelerine asılan **Parazit Ofis**, binalar arasında mevcut boşluğu dolduracak biçimde inşa edilmiştir (Görsel 7). İki yönden farklı iki yapıya bağlanan parazit ofis modüler ve

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

taşınabilir biçimde tasarlanmıştır. Hafif ve dayanıklı hücresel polikarbon malzemeden üretilen parazit ofis çelik iskelet sistemi ile yanındaki binalara asılarak taşıtılmıştır. Çok yüzeyli bir geometriye sahip olan yapı üç katlıdır. Açık plan şemasına sahip iç mekanları esnek ve modüler yaklaşım ile tasarlanmıştır (Anonymus, 2011).



Görsel 7 Ofis, Za Bor Architects, Moskova (AA13, ty), (Url 12)

The Cube, Elektrolux firması için marka ürünlerinin tanıtımı ve gastronomi deneyimi sunulmak amacı ile 2011 yılında Park Associati tarafından tasarlanmıştır. Kolay açılıp kapanabilen, farklı iklim koşullarına dayanıklı tasarlanan yapı; alimünyum ve cam malzeme kullanılarak, yarı şeffaf ve modüler bir tasarıma sahiptir. Açık planlı mutfak ve hem etkinlik hem de yemek alanına dönüşen 90 metrekarelik salon ile 50 metrekarelik bir terastan oluşan yapı ünlü şeflerin hizmet verdiği, geçici (pop-up) ve gezici bir restoran olarak projelendirilmiştir. Taşındığı her şehirde üç-dört ay boyunca hizmet veren yapı 2011'de Brüksel'de Parc du Cinquantenaire içinde bulunan Zafer Takı üzerine ve Milano'da Piazza del Duomo'da tarihi bir binanın çatısına, 2012 yılında ise Stokholm Kraliyet Opera Binası ve Londra Royal Festival Salonu terasına yerleştirilmiştir (Anonymus, ty), (Görsel 8).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 8 The Cube (Url 13)

2016 yılında Paris'te Stéphane Malka tarafından tasarlanmış olan **3BOX** prefabrik paneller halinde üretilerek yerinde monte edilmiştir. Geri dönüştürülmüş hafif çelik iskelet, alçı paneller ve cam kullanılarak tasarlanan yapı, 19. Yüzyıl'a tarihlenen bir binanın çatısı ve iki bina arası boşluk değerlendirilerek inşa edilmiştir (Anonymus, 2016). Üç farklı bağımsız kutudan/modülden oluşan yapı ana konak olarak kullanılan binanın düz çatı zemini üzerine ve taşıyıcı duvarına farklı kotlarda asimetrik açılar ile yerleştirilmiştir (Görsel 9).



Görsel 9 3BOX daire, Paris'in Saint-Martin Kanalı, Paris (Url 14)

Hidden Studio, 2017 yılında Valensiya'da trafik akışının yoğun olduğu bir köprünün altında mevcut alana eklemlenmiş bir çalışma alanıdır (AD Editorial Team, 2017Ana yapının kirişleri üzerinde tekerlekli bir sistem ile hareket eden metal kafes ve kontrplak levhalardan üretilmiştir. Küçük ölçekli ofis mekanı olarak kamusal bir atıl alanı kullanan parazit, ana yapıdan ayrılması durumunda bağımsız olarak varlığını sürdüremeyecek nitelikte parazit mimari örneklerinden biridir (Görsel 10).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 10 Hidden Studio (Jose Manuel Pedrajas, 2017), (Url 13)

- **Parazit Mimari Kavramsal Projeler**

İnşa edilme amacı bulunmayan, yoğun kentsel yapılaşma, ekonomik sorunlar, göç ve barınma sorunlarına karşı eleştirel bir yaklaşımla ele alınan projelerdir. Amaç; kentsel mekânı ve yapılanmayı sorgulayan bir yaklaşım ile barınma sorununa alternatif çözümler sunmaktadır (Şensoy ve Üstün, 2018). 2009'da Lara Calder Mimarlık tarafından ortaya konan **Prefabrik Parazit**, 2010 yılında **A Pocket of Active Resistance / PAR-** Stéphane Malka ve 2015 yılında James Furzer tarafından tasarlanan **Evsizler için evler** projeleri kentsel alanlarda yatay ve dikey atıl alanların değerlendirilmesine yönelik parazit mimari örnekleri arasında yer almaktadır (Görsel 11). Bu projeler mülkiyet, güvenlik ve yasal zorunluluklar nedeni ile uygulama alanı bulamamış tasarım fikri/kavramsal proje aşamasında kalmıştır.



Görsel 11 Prefabrik Parazit (Url 14), A Pocket of Active Resistance / PAR (Url 15) ve Evsizler için evler (Url 16)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Parazit mimari; mevcut doku içinde dikkat çeken, malzeme, boyut, form bakımından özgün yapıdan farklılaşan, aykırı mekânsal eklerdir. Mevcut bir binanın üstüne, sağır cephesine ya da cephede bulunan açıklıklar ile ilişkilendirilerek eklenen **parazit** yapılar modüler, hızlı ve ekonomik çözümler üretmeyi hedeflemektedir.

Yeni bir bağımsız yapı olarak inşa edilmesi yerine mevcut bir binaya/yapıya eklenerek oluşturulan ve bağımsız olamayan bir yapılanma söz konusudur. Daha önce inşa edilmiş yapının strüktürünü, kitle ve mekânsal özelliklerini kullanan; mevcut yapıdan bütünü ile farklı

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

görünen, aykırı, sıra dışı, kimi zaman yenilikçi/avangart nitelikleri ile genellikle kontrast yapılanmalardır. Dikkatle tasarlanması gereken, özgün yapıya strüktürel, kullanım ve estetik/görsel açıdan zarar vermeyecek biçimde tasarlanmalıdır. Ancak genelde iddialı ve dikkat çekici yapılanmalar olmaları nedeni ile farklı etkilere neden olabilmektedir. Kimi durumlarda ise gerek mekânsal gerek görsel anlamda yaratıcı çözümler sunabilmektedir. Bu anlamda dengeli bir tasarım yaklaşımı izlenmelidir.

Parazit mimarlık kavramsal çalışmalarda; kent, mimarlık, toplum ve mekan arasındaki ilişkileri eleştirel bir bakış açısı ile ele alarak alternatif stratejiler üzerinden kentsel mekanların yetersizliği, ekonomik adaletsizlik, göç gibi küresel sorunlara dikkat çekmektedir. Özellikle tasarım eğitiminde bağlamla ilişki kurma, mevcut olanı dönüştürme ya da kentsel sorunlara radikal, esnek ve eleştirel çözümler üretmeye izin veren teorik bir alan sunan "**parazit yapı**", "**parazit mimari**"ye ait birçok kavramsal proje render ve görseli dijital ortamlarda ilgi çekmektedir.

Parazit mimari mevcut yapıların yaratıcı bir biçimde yeniden anlamlandırılmasında eski ve yeni mimari bileşenlerin birlikteliğini kullanmaktadır. Form, malzeme ve boyut olarak konak yapıdan ayrılan parazit yapıların her biri kendine ait bir tasarım diline sahiptir. Dolayısı ile eklemlendikleri yapılarda mekânsal olarak görünürlüğü ve etkileşimi artırmaktadırlar.

Yapısal müdahaleler olarak eklenen parazitler mevcut yapının kullanımına yönelik alternatif mekan olanakları sağlamakta; kimi uygulamalar gerektiğinde sökülebilir biçimde tasarlanmaktadır.

Parazit yapı üzerine eklemlendiği binanın altyapısını kendi gereksinimleri doğrultusunda kullanarak mevcut binayı mekânsal olarak zenginleştirmektedir. Bu bağlamda bir yapıya bağımlı olarak varlığını sürdüren parazit eklenti yapıyı hacim, boyut, malzeme, renk ve doku özellikleri bakımından değiştirmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte daha hafif ve yenilikçi malzemelerin kullanımı yoğun yapılaşma alanlarında parazit mimari uygulanabilir çözümler sunan bir tasarım stratejisine dönüşmüştür.

Parazit olarak bir yapıya eklemlenen mekan, mevcut mekânsal organizasyonu ve ilişkileri yeniden tanımlamaktadır. Kentlerin sınırlı olan yapılaşma alanlarında yeniyi inşa etmek yerine mevcut bir yapının herhangi bir açıklık bulunmayan sağır cephesini, çatısını ya da terasını değerlendiren tasarımlar bireylere hem pratik hem de ekonomik çözümler sunmaktadır.

Modüler yapıları, boyutları, takılabilir-sökülebilir olmaları mevcut yapı stokunun kullanımına ve değişimine ve mekanların sürdürülebilir kullanımına olanak sağlamaktadır. Parazit yapılar dinamik, adapte edilebilir, yeniden kullanılabilir olarak tasarlanmakta, teknolojinin de yardımı ile değişen gereksinimlere yeni olanaklar sunmaktadır.

Parazit mimarlık; artan nüfus, kentsel mekanların yetersizliği, sosyal ve çevresel sorunlara karşı eleştirel, esnek ve uyarlanabilir bir mekân üretimi stratejisi olup zorunlu durumlar dışında uygulanmamaktadır.

Özellikle kalıcı olarak yapılandırılmış ve zorunlu mekan gereksinimine yanıt amacı gerçekleştirilen son derece özgün ve nitelikli özgün örnekler bulunmaktadır. Özellikle taşınmaz kültür varlığı olarak niteliğinde olan ve yapı stoğu olarak kullanılan binalara uygulanan kontrast

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ve fütüristik ekler gerek işlevsel gerek görsel/estetik anlamda içinde konumlandığı çevreye katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Boer, de J. (2014). The Pirate Bubble: parasite architecture from the 1970s, https://popupcity.net/radar/the-pirate-bubble-parasite-architecture-from-the-1970s/ , (Erişim Tarihi 17.09.2006)

Koskamp, G. (2001). Las Palmas Parasite / Korteknie Stuhlmacher Architecten, https://bk-wood.nl/las-palmas-parasite-korteknie-stuhlmacher-architecten/ (Erişim Tarihi 17.09.2006)

Susam, K., & Çetin, R. (2024). Parazit Mimari Perspektifinde Daniel Libeskind'in Müze Yapılarının İncelenmesi. KAPU Trakya Mimarlık Ve Tasarım Dergisi, 4(2), 150-171. https://doi.org/10.70370/kapu.1576671

Anonymus (2009). Manresa City Hall / BAILORULL" 24 Mar 2009. ArchDaily. Accessed 17 Sep 2026. <https://www.archdaily.com/17022/manresa-city-hall-add-bailo-rull> ISSN 0719-8884

Anonymus (ty). The Cube, https://absoluteblue.eu/the-cube

Anonymus (2011). "Parazit Ofis / za bor mimarlar" 07 Haz 2011. ArchDaily. Erişim tarihi: 10 Eyl 2026. https://www.archdaily.com/138151/parasite-office-za-bor-architects> ISSN 0719-8884

Anonymus (2016). 3BOX | Studio Malka Architecture, DEMOCRATIC HOUSES, https://www.archilovers.com/projects/174135/3box.html

Anonymus. (2024). Installation art, https://en.wikipedia.org/wiki/Installation_art

Jarz, H. (2011) "AME-LOT / Malka Architecture" 07 Jul 2011. ArchDaily. Accessed 15 Sep 2026. <https://www.archdaily.com/147738/ame-lot-malka-architecture> ISSN 0719-8884 https://www.archdaily.com/147738/ame-lot-malka-architecture

AD Editorial Team. (2017). "Hidden Studio Beneath a Busy Bridge Provides Creative Solitude for Its Designer" 21 Aug 2017. ArchDaily. Accessed 10 Sep 2026. <https://www.archdaily.com/878113/hidden-studio-beneath-a-busy-bridge-provides-creative-solitude-for-its-designer> ISSN 0719-8884

Şensoy, G., & Üstün, B. (2018). Traces of the past utopias in contemporary architecture: Parasitic architecture. *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, *6*(1).

Bardzinska-Bonenberg, T. (2017). Parasitic architecture: theory and practice of the postmodern era. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 3-12). Cham: Springer International Publishing.

Görsel Kaynaklar

Url 1. https://www.archilovers.com/projects/6966/57iffel-dna-gallery?34174

Url 2. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Do_Ho_Suh%27s_%27Bridging_home%27_London_(49954477073).jpg

Url 3. https://detail-cdn.s3.eu-central-1.amazonaws.com/media/wysiwyg/typo3/01-Parasitic-Architecture-Inflatables.jpg

Url 4. https://www.maisondelarchi-fc.fr/activites/parasitage-collectif-dimmeubles/

Url 5. https://www.intro-verso.com/blog/jean-louis-chanac-the-parasitic-architect

Url 6. . https://ksa.nl/en/projects/parasite-las-palmas

Url 7. https://aka-ingenieure.de/projekte/rucksackhaus-von-stefan-eberstadt/

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Url 8. https://www.archdaily.com/17022/manresa-city-hall-add-bailo-rull/500dc09528ba0d6625001205-manresa-city-hall-add-bailo-rull-image
Url 9. https://studiomalka.com/wp-content/uploads/2024/05/AME09.jpg
Url 10. https://studiofmmilano.com/works/electrolux-the-cube/
Url 11. https://www.aa13.fr/architecture/parasite-office-za-bor-3797
Url 12. https://inhabitat.com/self-taught-designer-builds-a-secret-studio-under-a-bridge-in-valencia/
Url 13. https://www.archilovers.com/projects/174135/3box-gallery?1523499
Url 14. https://www.designboom.com/architecture/lara-calder-architects-parasite-prefab/
Url 15. archello.com/project/selfdefense
Url 16. https://inhabitat.com/modular-parasitic-pods-could-shelter-londons-many-rough-sleepers/

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NEO-FÜTÜRİZM: MİMARİNİN YENİ GELECEĞİ Mİ, GELECEĞİN MİMARİSİ Mİ?

NEO-FURURISM: THE NEW FUTURE OF ARCHITECTURE OR THE ARCHITECTURE OF THE FUTURE?

Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN

Ankara Üniversitesi, elmas.erdogan@ankara.edu.tr - 0000-0002-4193-629X

Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN

Atılım Üniversitesi, evren.tandogan@atilim.edu.tr - 0000-0002-8809-3701

ÖZET

İnsanlık tarihi boyunca önemli ve evrensel bir olgu olarak mimarlık, bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmak barınma, dinlenme, dini, eğitsel, sosyal ve kültürel eylemelerini gerçekleştirme amacı ile mekanlar düzenleme sanatıdır. Temel hedefi belli kulanım ve işleve yönelik fiziksel yaşam çevreleri, mekan ve binaların tasarlanmasıdır. Mimarlık ürününün sağlam, işlevsel estetik ve kimlikli olması yanında özgün ve ayırt edici özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Bu kapsamda tarihin farklı dönemlerinde güncel koşul ve gereksinimler doğrultusunda farklı mimari akımlar gündeme gelerek mimarlık farklı boyutları ile yorumlanmıştır. Mimari akım bir yapıyı tanımlayan karakteristikler ve dönem özellikleri bütünüdür. Her bir akımın kendine özel bir düşünsel arka planı; dili, kimliği, yapısal öge ve estetik bileşenleri; geliştirdiği mimari anlayış ve ortak paydalar bulunmaktadır.

Bu akımlardan biri olan **neo-fütürizm** ise 21. Yüzyıl'ın başında gündeme gelen; tasarım ve sanat alanlarında da etkili olan, teknoloji, inovasyon, sanat ve ekolojiyi tasarım bileşenleri olarak yorumlayan bir mimari akımdır. 20. Yüzyıl'ın başında radikal bir bakış açısı olarak gündeme gelen ve geleneksel kalıpları reddeden, hız, hareket, dinamizm ve teknolojiyi savunan fütürizmden beslenen; ancak ondan daha farklı bir akımdır. Sürdürülebilirlik odaklı, teknoloji-ekoloji birlikteliğini benimseyen avangard bir mimari akım olup çevresel sürdürülebilirliği teknolojik mimari ile desteklemektedir. Avangart, geleneksel kalıpları, kabul görmüş estetik kuralları ve standart normları reddeden, tamamen deneysel ve yenilikçi bir tasarım anlayışıdır.

Bu bildiride öncelikle neo-fütürizm düşünsel arka planı ve tasarım ilkeleri tüm bileşenleri ile tanımlanmıştır. Daha sonra ileri teknolojiyi, organik formları, güncel malzeme ve yapım teknolojilerini eko-sürdürülebilir bir gelecek ve etik değerler ile bütüncül olarak değerlendirilen neo-fütürist mimarlık örnekleri üzerinden tartışılacak geleceğin kentsel çevreleri ve yaşam alanları için akım yorumlanarak uygulama olanakları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık, mimari akımlar, fütürizm, neo-fütürizm, sürdürülebilirlik parametrik mimarlık, hi-tech mimarlık, yeni gelecekçilik, neo-modern, blobitecture

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. GİRİŞ

Tasarım kullanım alanı ve amacına göre bir nesne, süreç ya da sistem için geliştirilen kavram ya da öneri olup bir süje tarafından ilgili alanda geliştirilen çözüm önerisidir. Mimari tasarım ise insan gereksinim ve eylemleri için işlevsel ve estetik mekan düzenleme ve tasarlama sanatıdır. Gerek sanat gerek mimari anlamda farklı dönemlerde farklı tasarım akımları gelişim göstermiştir. Yapılanmış çevre irdelendiğinde hemen her yerde yapıda onu tanımlı/kimlikli kılan ve düşünsel bir arka planı olan belli karakteristik ya da dönemsel özellikler bulunduğu görülmektedir. Bu özellik ve kavramlar bütünü mimari akımları oluşturmaktadır. Her bir akımın kendine özel bir dili, kimliği, tanımlı yapısal ögeleri, estetik bileşenleri bulunmaktadır. Mimari akımlar belli bir dönem, mimar/tasarımcı ya da ulus tarafından benimsenen ve içinde bulunduğu dönem ve koşullar kapsamında gelişen mimari anlayış ve ortak tutumdur. Mimarlık bu anlamda doğası gereği birçok disipline referans oluşturan, yaşamın kendisi, çok boyutlu değerlendirilmeye açık bir alan olup mimarlık teorisi ile de doğrudan ilişkilidir. Ortaya çıkış süreçlerinde de farklı sosyolojik, ideolojik ya da siyasi etmenler bulunan mimari akımların kimileri geçici, lokal ve sadece proje niteliğinde kalırken kimi akımlar ise uzun süreli ve yaygın etkili olmakta; derin ve kalıcı izler bırakabilmektedir. Dönemsel etkiye sahip tüm mimari akımların her biri kendine özel niteliklere, teorik alt yapıya ve düşünsel arka plana hatta manifestolara sahiptir.

Tarihi süreç içinde toplumsal, ekonomik, tarihi, teknolojik gelişmeler doğrultusunda birçok mimari akım ortaya çıkmış; bu akımların ikonik yapıları tasarım ve sanat alanlarında etkili olduğu kadar popüler kültürü de etkilemiştir. Mimari akımların çoğu 20. Yüzyıl başına tarihlenirken bugün de farklı akım ve yaklaşımlar/tarzlar gündeme gelerek binalar kimlik, nitelik, estetik değerler kazanırken mekanlar da stil, tarz, üslup ve ruh kazanmaktadır. Mimarlığın gelişim sürecinde ortaya koyduğu üslup, tarz, akımların yanı sıra özgünlüğü irdelendiğinde akımların var olma biçimleri ile atfedilen değerler dönem ve kültürel bağlama göre değişip dönüşebilmektedir. Popüler kültür kapsamında ve eleştirel bakış açısı ile değerlendirildiğinde mimariyi çözümleme, ilişkiler kademelenmesini anlama ve mekansal biçimlenmenin düşünsel arka planı ve teorisini sorgulama akımların özgün niteliğinin ve anlamlarının tartışılarak farklı akımların ortaya çıkmasını da sağlamaktadır.

Güncel mimari akımlardan biri de düşünsel arka planda 20. Yüzyıl'ın akımlarından olan Fütürizm'den etkilenmiş radikal ve yenilikçi mimari yaklaşım ve konsept/temalara sahip olan ancak belli konularda ayrılan neo-fütürizm; yani yeni gelecekçilik akımıdır. Güncel değişim, dönüşüm ve gereksinimler sonucu mimari ve kent ölçeğinde geleceğin olası sorunları için bütünü ile farklı çözüm önerileri sunan bir akımdır. Tek başına tek bir üslup olmaktan çok mimarlıkta sınırları zorlayan ve kendinden önceki anlayışları yıkmayı hedefleyen hareketler için kullanılmaktadır. Değişen yaşam koşulları, büyüyen kentler ile birlikte teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan ileri teknolojik yapılanmanın yanı sıra yapısal ve çevresel anlamda sürdürülebilir; ancak teknolojik bir mimariyi öngörmektedir. Parametrik fütürizm olarak da nitelenebilecek akımda ultra formlar, sembolik anlatımlar, akışkan, biomorfik formlar, strüktürel ekspresyonizm yaklaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda doğadan esinlenen ve biyofilik bir bakış açısı bulunmaktadır. Neo-fütüristik mimarlığın çağın özellikleri kapsamında farklı; kendine özel bir dili bulunmaktadır. Geleceğin kentlerinin

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

yaratılması amacı ile yenilikçi yaklaşımlar ve ileri teknoloji sürdürülebilir kent ve binalar için entegre edilmektedir. Neo-fütüristik mimarlığın ileri yapım ve malzeme teknolojilerini kullanması son derece özgün, eşsiz ve prestij yapıların oluşumuna olanak sağlarken farklı, kendine özel bir dili bulunan yapılar/binalar tasarlanabilmektedir. Neo-Fütürizm, sadece görsel ve estetik anlamda çarpıcı değil aynı zamanda değişen gereksinimler için işlevsel yapılar yaratmak amacı ile ileri teknolojileri yenilikçi tasarım ile bütünleştiren bir gelecek vizyonunu somutlaştıran bir mimari akım olup yeni ve yaratıcı bir estetik anlayış ile kentsel yaşamı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kentlerin ve teknolojinin gelişmesi ile neo-fütürizm de kentsel peyzaj kimliğini farklı bir noktaya taşıyacaktır (Görel 1).

Bu çalışmada geleneksel yaklaşımları da değerlendiren ancak, geçmiş kalıpları reddederek çevre ve yapıya teknoloji tabanlı bakış açısı sunan neo-fütürizm: yani yeni gelecekçilik farklı boyutları ile tanımlanarak; sunduğu sorun ve olanaklar kapsamında değerlendirilmiştir. Yanı sıra geleceğin yaşam çevreleri ve yapı kültüründe gelişen yapım teknolojileri bağlamında akımın öncü tasarım örnekleri irdelenerek avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.



Görsel 1 Neo fütürist kentler (Url 1, Url 2)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın ana materyalini neo-fütürizm: yeni gelecekçilik ile ilgili yayınlanmış olan her türlü araştırma, bilimsel rapor, kitap, makale gibi literatür verileri oluşturmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde üç aşamalı bir yöntem izlenmiştir. İlk aşamada kuramsal çerçeve ve konu ile ilgili teorik veriler doğrultusunda her türlü veri derlenerek bulgular analiz edilmiştir. Daha sonra elde edilen bulgular sentezlenerek neo-fütürizm: yeni gelecekçilik farklı boyutları ile tanımlanmış, sorun ve olanaklar irdelenerek mimari tasarımda form, biçim ve kimlik özellikleri kapsamında irdelenmiştir. Son aşamada ise tüm bulgular sentezlenerek geleceğin kentsel çevreleri ve yaşam alanları için katkıları değerlendirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

3. NEO-FÜTÜRİZM: YENİ GELECEKÇİLİK VE MİMARLIK

Neo-fütürizm 20. Yüzyıl'ın sonlarında ortaya çıkan; teknoloji, sanat ve ekolojiyi tasarım bileşenleri olarak yorumlayan bir tasarım ve mimari akımdır. 20. Yüzyıl'ın başında radikal bir bakış açısı olarak Filippo Tommaso Marinetti tarafından gündeme gelen ve geleneksel kalıpları reddeden, hız, hareket, dinamizm, teknoloji, makinanın güzelliğini savunan fütürizmden farklıdır. Sanat ve tasarım alanında etkili olduğu kadar kent planlaması ve mimarlıkta da etkili olmuştur. Burada temel yaklaşım teknoloji ve ekoloji birlikteliğidir. Neo-Fütürizm ise çıkış noktası olan fütürizmden farklı olarak sürdürülebilir kentsel alanlar ve mimari kapsamında avangard bir yaklaşım olarak tasarımın arka planındaki işlev ve estetik boyutları fütürist bir yaklaşım/bakış açısı ile ele almakta; tasarımda teknoloji-ekoloji birlikteliğini benimsemektedir. Değişen yaşam koşulları, büyüyen kentler ve yerleşim dokuları ile birlikte teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan hi-tech yapılanmanın yanı sıra çevresel anlamda sürdürülebilir ancak teknolojik bir mimariyi öngörmektedir (Görsel 2)



Görsel 2 Neo-fütürist mimarlık - Cyber Egg, Mumbai (Url 3, Url 4, Url 5)

Neo-fütürizm gelecekçi bir bakış açısına sahip, büyüyen ve gelişen kentlerdeki yaşam kalitesi, işlev ve estetik değerler ile ilgili sorunları çözmeye yönelik mimariye yenilikçi bir bakış açısı sunarken ileri teknoloji ve yeni konsept/temalar ile inşa edilen büyük ölçekli yapıları kapsamaktadır. Yüksek teknolojiler, bilgisayar destekli, algoritma ve parametreler ile üretilen ve makinalara dönüşen bina ve yaşam alanlarının oluşumu ve hi-tech mimarinin gelişimi ile ortaya çıkan neo-fütürist mimarlık optimist, insan-doğa etkileşimini önceleyen ve sosyal boyutu da olan bir yaklaşımdır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Matthew Phillips Neo-fütürist estetiği **"teknolojik inovasyon ve yönlendiriciliğinin ortaya koyduğu geleceğe yönelik yeni yapılaşmalara karşı geçmiş dönem avangartları ve şu anki teknokratik felsefenin tam tersi olarak zamanın, mekanın ve konunun manipülasyonu"** olarak tanımlamaktadır (Anonymus, 2026). Burada zaman, mekan, işlev ve tema bileşenleri teknoloji destekli doğa duyarlı bir mimari biçimlenme ortaya koymaktadır. Neo-fütürist mimarlık teknolojik inovasyonu ekolojik kriterler ile entegre eden bir yaklaşımdır. Teknolojiyi daha iyi yaşam çevreleri oluşumu, doğa koruma, enerji etkin tasarım ve çevre duyarlı tasarım ve mekan organizasyonu için kullanmaktadır.

2007 yılında Milano Expo 2015 Vizyonu için bir **Neo-Fütüristik Şehir Manifestosu (The Neo-Futuristic City Manifesto),** inovasyon tasarımcısı Vito Di Bari tarafından, Milano şehrinin **Expo 2015** adaylık sürecinde Uluslararası Sergiler Bürosu'na (BIE) sunulmuştur. Bu manifesto, 20.Yüzyıl'ın başında gündeme gelen geleneksel İtalyan fütürizminin herşeyi reddeden yıkıcı ve agresif dilini geride bırakarak, **teknoloji, sanat ve etik değerleri** birleştiren modern bir gelecek vizyonu sunarak tasarlanacak EXPO alanını yaşayan bir organizma olarak tanımlamıştır. Bu manifesto ile Milano, Expo 2015 teması *"Gezegeni Beslemek, Yaşam için Enerji"* olarak belirlerken neo-fütürist akımın getirdiği teknolojik iyimserlikten ve insan odaklı tasarım ilkelerinden de beslenmiştir.

İzleyen süreçte, 20 Şubat 2008 yılında Neo Futurist Collective tarafından Filippo Tommaso Marinetti'nin özgün/orijinal 1909 tarihli Fütürizm Manifestosu'nun 99. yıl dönümünde Neo-Fütürist Manifesto ilan edilmiştir. Manifestoya göre neo-fütürizmin temel ilkeleri teknoloji, insanlık ve etik değerlerin bütüncül olarak ele alınması, kentsel karmaşa ve gürültünün estetik bir unsur olarak algılanması, çevresel ve ekolojik koruma için teknoloji ve etiğin kullanımı ile doğal sistemlerin işleyişini örnek alan, doğadan esinlenen biyomimikriyi de kapsayan bir yaklaşım olmuştur. Çağdaş yaşamın gereği olarak hızla gelişen teknoloji kullanımı kaçınılmaz olup mimarlık da ileri teknolojik olanaklar doğrultusunda gelişim göstermelidir. Akımın temel yaklaşımı kapsamında ileri teknoloji insan gereksinimleri için insan odaklı kullanılmalıdır. Altyapı, sosyal servisler, sağlık hizmetleri ve güvenliğin etkin bir biçimde sağlandığı yüksek kaliteli yaşam koşulları sunan yaşayan kentler önermektedir. Bu kapsamda doğal kaynak ve değerlerin yanı sıra kültür varlıklarının korunması temel hedef olup kentsel kamusal alan kullanımlarının kent ve mahalle ölçeklerinde etkin kullanımı ile kentli bireylerin doğayı deneyimlemesi ve sosyal-kültürel etkileşimi bu alanlarda gerçekleştirmesi amaçlanmaktadır. İleri teknolojilerin kentsel ve yapısal ölçeklerde kullanımı ile yenilebilir enerjileri kullanan, bu teknolojileri binalara entegre eden, enerji etkin, düşük karbon emisyonlu, erişilebilir, sürdürülebilir, atık üretmeyen kentlerin ve binaların oluşumunu hedeflemektedir (Görsel 3).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 3 Neo-fütürist mimarlık (Url 6)

Neo-Fütürizm, Fütürizmden ilham almasına karşın aralarında belirgin farlılıklar bulunmaktadır. Fütürizm hız, makineleşme, eski olan her şeyin reddi, doğaya karşı endüstriyel üstünlük, fabrika ve sanayi kentlerinin yaratılmasını benimserken neo-fütürizmde sanat, ileri teknoloji ve etik entegrasyonu, sürdürülebilirlik ve yüksek yaşam kalitesi, küresel ölçekte akıllı ve güçlü bir ekosistem içeren yaşam çevreleri, kentsel alanlar ve mimari hedeflenmektedir.

Neo-fütürizm sanat, teknoloji ve etik değerleri daha nitelikli bir yaşam kalitesi için bütüncül anlamda tasarım bileşeni olarak değerlendirmektedir. Bu hareket daha çok post-modern süreçte başlayan ancak inanç sistemlerinin sorgulandığı bir dönem olarak yorumlanmaktadır. Hiçbir kuralın olmadığı, çelişkiler ile dolu bu evrede neo-fütürizm yeniden canlandırmacılığı (revivalism) da yeniden sorgulatmış ve gündeme taşımıştır.

Vito Di Bari'ye göre neo-fütürizm yaygın bir biçimde daha nitelikli bir yaşam kalitesi yaratmak için sanatın, gelişmiş teknolojilerin ve etik değerlerin bir araya gelmesidir. Gelişen teknolojilerin doğal sonucu olarak gelişen neo-fütürizm çağdaş yapı malzemeleri ve yeni yapım teknolojileri ile gerçekleştirilen/inşa edilen ve farklı işlevlere hizmet eden, çevre kaynaklarını etkin kullanan, enerji etkin yapıları kapsamaktadır. Burada teknoloji ve sanatın tüm olanaklarını kullanarak tasarlanmış yapılar büyük ölçekli kentleri oluşturmaktadır. Modern teknoloji ve bilimsel verilere göre biçim bulan yapıların geleceğe ilişkin vizyonları bulunmaktadır.

Neo-fütürizm kökenleri Alvar Aalto, Eero Saarinen, Henning Larsen, Jorn Utzon ve Buckminster Fuller gibi mimarların yaklaşımları ile ilişkilendirilmektedir. Neo-fütüristik mimarlıkta parametrik mimari çözümler de izlenen bilgisayar teknolojilerinden yararlanan, inşa edilmesi güç formlar ve kitleler neo-fütüristik bir estetik anlayışı ile tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Neo-fütürizm insan duygu ve davranışları ile gelişen kentsel tasarım, eko-sürdürülebilirlik, etik değerler ve güncel malzeme ve yapım teknolojilerini entegre etmektedir.

Yeni gelecekçilik: Neo-fütürizm bir anlamda yapısal dışavurumcu bir yaklaşımdır. Bütünü ile yeni teknolojiler; yani **algoritmik** ve **parametrik** tasarım gibi dijital teknoloji yardımı ile üretilebilecek formlara sahip strüktürler ile ifade bulmaktadır. Akım kapsamında gerçekleştirilen tasarımlarda mekanik bileşenler geleneksel yapılarda olduğu gibi gizlenmek

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

yerine ön plana çıkarılmakta; hatta abartılmaktadır. Mimarlık alanında önemli olduğu kadar tasarım, moda ve sanat alanında da etkili bir akım olarak temel ilkesi gezegenin ve finansal sistemin krizde olduğu bir dönemde, teknolojinin gücü ile hayal gücünü birleştiren ileri teknolojili, yenilikçi yapı gereci ile inşa edilmiş yaşam alanları ve çevre kaynaklarını etkin kullanan iyimser bir bakış açısına sahiptir (Görsel 4).



Görsel 4 Neo-fütürist mimarlık (Url 7, Url 8)

Neo-fütürist kentsel tasarımcılar, mimarlar ve tasarımcılar kentlerin duyguların açığa çıktığı yerler olarak eko-sürdürülebilirliği olan, etik değerler ile güncel malzeme ve yeni teknolojiler ile kentli bireylere yaşam kalitesi daha yüksek mekanlar sunması gerektiğini savunmaktadır. Post- modernizmden bir kopuş olarak nitelenen neo-fütürizm daha iyi bir gelecek için idealistik bir inanç ve geleneksel ile teknolojinin birlikteliğini kullanmaktadır/yorumlamaktadır (Mohamed, 2016). Neo-fütürisitk estetik yaklaşımda ise gelenekselden farklı olarak makinanın ve teknolojinin güzelliği ve güncel yapım teknolojilerinin sunduğu estetik değerler söz konusudur. Yeni, teknolojik, mekanik olan güzeldir.

Neo-fütürizm, kısmen fütürizmden esinlenmiştir. Fütürizmin öncülerinden olan **Antonio Saint'Elia** 1960'lardan 1970'lerin sonlarına kadar olan süreçte **Hal Foster, William Pereira, Charles Luckman** ve **Henning Larsen** gibi mimarların akımın gelişiminde etkileri olmuştur.

21. Yüzyıl neo-fütürizmi ise özlellikle **Zaha Hadid** ve **Santiago Calatrava** gibi öncü mimarların tasarımları ile biçim bulmuştur. Bina tasarımlarında hi-tech: ileri teknolojili tema ve fikirler doğrultusunda tasarımlar algoritma ve parametreler yardımı ile ileri teknoloji ve endüstrinin sağladığı olanaklardan yararlanılarak gerçekleştirilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Vito Di Bari'ye göre neo-fütürizm sanat, ileri teknoloji ve etik değerlerin daha nitelikli ve kaliteli bir yaşam için bütüncül kullanımıdır (Magon, 2017). Neo-fütürist mimari form, işlev ve doğa ile uyumu vurgulayan yenilikçi bir yaklaşım olup farklı aktivite ve eylemler ile dolu bir gelecek için insan gereksinimleri yanında kentleşme ve çevre sorunlarına da yanıt olacak; çözüm üretecek yapıların/binaların tasarımını hedeflemektedir. Kentler küresel ölçekte sürdürülebilir gelişime çözüm üretirken neo-fütüristik binalar ise mimarlığın/mimarinin tüm evrelerde bu sorunlara çözüm üretecek tasarım önerileri geliştirmektedir.

Yeni gelecekçi mimari ileri teknolojileri kullanarak gelecekte oluşabilecek çevresel sorunlara da yanıt olacak biçimde yaşam çevreleri ve binaların tasarlanmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. Burada gelecekte oluşabilecek olası senaryoları yapay zeka olanakları ile de analiz ederek mimari stratejiler ve doğru parametreler ile bina tasarımı temel hedef olup; estetik, sürdürülebilir, verimli ve çevre duyarlı yaşam çevreleri ve binalar tasarlamak ile ilgilidir.

Bu kapsamda amaç akıcı, dinamik formlara sahip **"yaşayan binalar"**ın tasarımıdır. Zaha Hadid bu akımın öncü isimlerinden olup akıma daha popüler bir nitelik kazandırmıştır (Görsel 5, 6). Neo-fütürist yapılar gelenekselden bütünü ile farklı parametrik, amorf, asimetrik biçim özelliklerine sahip, yeni malzeme ve ileri yapım teknolojisi ve yöntemleri ile inşa edilmiş yapılar olup yeni bir çağa/döneme ait izlenimi yaratan yapılardır. Ancak burada çevre bilinci ve doğa duyarlı ekolojik bir yaklaşım söz konusudur. Neo-fütüristik yapılar kolayca ayırt edilebilen, karakteristik, benzeri olmayan özgün yapılardır. Gelişmiş teknoloji ve yapı gerecinin kullanımı; güçlü ve farklı yapı bileşenleri, yapısal sistemler cam, karbon, fiber, nano yapı gereçleri, yeni alaşımlı çelik malzemeler, gelişmiş kompozit bileşenler kullanılarak enerji verimliliği artırılırken karmaşık geometrik formlar kullanılmaktadır. Neo-fütüristik mimari sürdürülebilirlik, ekoloji, teknolojik ilerleme, tasarım verimliliğini tasarım parametreleri olarak değerlendirmektedir.

Neo-Fütüristik mimarinin temel özellikleri yüksek/ileri teknoloji kullanımı, akıllı malzeme ve akıllı bina tasarımları, dijital tasarım araçlarının kullanımı ile gelişmiş yapı teknolojilerinin kullanımıdır. Sürdürülebilir kentler ve yapı/bina tasarımı temel hedef olup organik ve akışkan formların kullanımı, dik açılı, geometrik formların yerine kitle ve iç mekan tasarımında dinamik, hareketli, amorf formların kullanımı ile kamusal odaklılık önemlidir. Bu kapsamda binalar ve kentsel kamusal alanlar kentsel yaşamın ana bileşenleri olarak toplum ve birey etkileşimini artıran ve iyileştiren yaşayan binalar ve çevreler olarak tasarlanmalıdır.

Neo-fütürizmin önemli mimarları **Zaha Hadid, Santiago Calatrava, Norman Foster** ve **Renzo Piano**'dur. Bu tasarımcılar binalarında akışkan geometrik formları ve parametrik mimariyi kullanırken hareketli, heykelsi, kimi zaman sembolik formları yüksek teknoloji ve mühendislik verileri ile **eko-teknolojik** olarak tasarlamaktadırlar.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



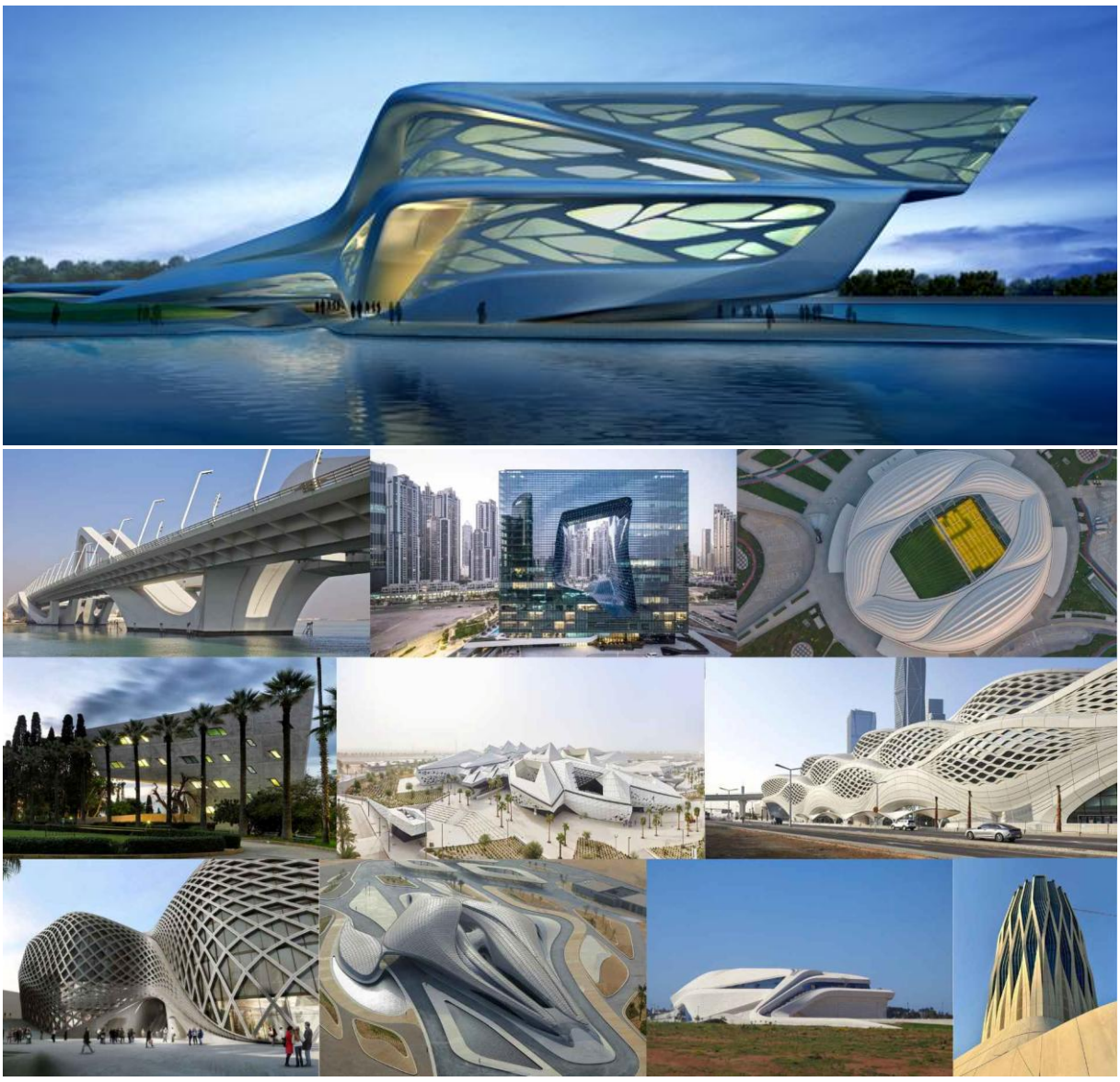
Görsel 5 Galaxy Soho, Pekin, Çin – Zaha Hadid (URL9, URL 10)



Görsel 6 Haydar Aliyev Kültür Merkezi, Bakü, Azarbaycan – Zaha Hadid (URL 11, URL 12)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Bilgisayar destekli tasarım araçları, Yapay zeka (YZ): artificial intelligence (AI), yapı bilgi modellemesi (BIM) gibi tasarım araç ve destekleri neo-fütüristik mimari tasarımı kolaylaştırmakta; böylece çok farklı, özgün ve karmaşık formlar oluşturulabilmektedir. Bu anlamda 21. Yüzyıl ile birlikte artan çevre sorunlarının yapısal ve kentsel ölçeklerde giderilmesine yönelik çözüm önerileri geliştirilebilmekte; çağdaş kentlerin karşılaştığı sorunlara yönelik çözüm önerilerinin mimariye entegre edilmesini sağlayan bütüncül bir yaklaşım sunulmaktadır. Neo-fütürist yapılar/binalar kimlikli, göz alıcı, ayırt edici özelliklere sahip, kolaylıkla tanımlanabilen, cesur, farklı, avangart, teknolojik yapılardır. Vizyoner neo-fütürist yapılar geleceğin yaşam çevreleri ve kentleri için paradigma niteliğinde yapılardır. Değişen kitle ve mekan anlayışını yansıtan farklı estetik değerleri de gündeme getirmektedir (Görsel 7).



Görsel 7 Neo-fütüristik mimarlık (URL 13, URL 14)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Keçeci'ye göre (2025), Zaha Hadid ve Norman Foster gibi fütüristik tasarımcılar yenilikçi tasarımların kentsel ortamlara nasıl uyumlu bir biçimde entegre edilebileceğini de tasarımlarına yansıtarak yeniden tasarlanmış bir kentsel peyzaj oluşumunu da beraberinde getirmektedir.

Neo-fütüristik yapılar, fütüristik örneklerden farklı olarak çoğunlukla güneş panelleri, yağmur suyu hasadı, yeşil çatılar gibi sürdürülebilir ve enerji etkin teknolojiler içermekte ve çevre duyarlı ekolojik tasarım özellikleri taşımaktadır. Akıllı teknolojilerin entegrasyonu kullanıcı gereksinimlerine yanıt veren, uygulanabilir ve esnek mekan kullanımlarına sahip binalar olup aynı zamanda kamusal alanları da destekleyerek kentsel biyoçeşitlilik, hava ve yaşam kalitesini artıran özellikte tasarlanmaktadır. Neo-fütüristik mimari, inovasyon ve sürdürülebilirliği entegre eden, cüretkar ve dinamik bir yaklaşımdır.

Neo-fütürizm değişim önerirken insan ve çevre arasındaki ilişkiyi de önemsemektedir. Sürdürülebilir, saydam, esnek, dinamik, akıllı malzeme ve teknoloji, dokular, cephe kaplamaları, yenilikçi yapım teknolojileri kullanan benzersiz özelliklere sahip bir yaklaşım olarak mimaride **ikonik semboller** oluşturulmasına da olanak sağlamaktadır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Mimarlık gibi sürekli değişen, dönüşen ve gelişen bir alanda her zaman yeni, farklı, yenilikçi bir trend, akım, stil ya da yaklaşım bulunmaktadır. Bu kapsamda toplumsal değişimlere de bağlı olarak yeni teknolojiler, inşa yöntemler, malzeme olanakları olabilmektedir. Yaşam ile doğrudan ilgili bir alan olarak mimari inanç, ekonomik, siyasal, dini, teknolojik, kültürel ve sosyal olaylardan doğrudan etkilenmektedir.

Bugün çağdaş mimari olarak tanımlanan modern süreçte mimari pratiklerde tek bir akım baskın olmayıp yenilikçi akım ve stiller ön plana çıkmaktadır. Son derece karmaşık form özelliklerine sahip "**parametrik mimarlık**" ile post-modern bir yaklaşım olarak nitelendirilebilecek kıvrımlı, yuvarlak ve organik formlardan oluşan "**blobitecture**" aslında neo-fütürist mimarinin alt bileşenleri olarak yorumlanabilmektedir. Yanı sıra biyolojik oluşumlardan ilham alınarak gerçekleştirilen "**morfogenetik tasarımlar; dijital morfogonez**" de mimaride yükselen trendlerden olup neo-fütürizmin biçim bulmasına katkı sağlayan yaklaşımlardan biridir.

Ekolojik mimari ise doğa ile entegre, binaların olumsuz çevresel etkilerini sistematik bir biçimde azaltmayı hedefleyen, çevre duyarlı teknoloji ve yapı gereçleri kullanan mimari yaklaşım olarak sürdürülebilir bir gelecek için bir zorunluluktur. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynakları güncel teknolojiler ile yapı bünyesinde kullanılan eko-mimari zaten neo-fütürist mimari kapsamındadır. Dolayısı ile Neo-fütürist mimarlık tüm bu akım ve trendler bütüncül olarak içermektedir.

Neo-fütürizm: yeni gelecekçilik akımı aslında bugün gündemde olan **"gelecekçilik ve teknolojik tekillik (futurism and technological singularity)** düşünsel yaklaşımı ile de benzerlikler taşımaktadır. Teknolojinin hızlı gelişimi ve yapay zeka gibi ileri teknolojilerin sağladığı olanaklar ve potansiyel uygulamalar ile ilgilenen bu yaklaşım da geleceğin nasıl olacağına ilişkin senaryoları tahmin etmek için neo-fütürist bakış açısını destekler niteliktedir.

Makine, hız, dinamizm ve radikal değişimi hedefleyen fütürizm neo-fütürizmin çıkış noktası ve esin kaynağı olsa da burada çevre kaynaklarının etkin kullanımı, teknolojinin doğa koruma,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

enerji etkin yapı tasarımı için kullanımı ve bina-kentsel çevre ilişkisinin bütüncül değerlendirilmesi bulunmaktadır. F**ilippo Tommaso Marinetti, Umberto Boccioni, Carlo Carra, Gino Severini** ve **Giacomo Balla** gibi **İtalyan fütüristlerin** savunduğu makine ve teknoloji çağı estetiği neo-fütürizmde ileri teknoloji kullanımı ile ekosentirk mimari tasarımı söz konusudur. Fütürist mimarlık modern/çağdaş teknoloji ve geleceğin estetiğinin teknolojinin gerektirdiği her şey olarak tanımlarken neo-fütüristik mimari yapay zeka destekli parametrik mimarlık desteği ile hem güncel çevre sorunlarını yapısal ve çevresel/kentsel ölçeklerde çözümlemeyi hedeflerken biyomorfolojik formları ve doğayı da tasarımın ana bileşeni olarak değerlendirmektedir.

Modernizm 20. Yüzyıl'ın başından itibaren endüstrileşme ve yeni teknolojiler doğrultusunda eski üsluplara tepki olarak ortaya çıkan çok sayıdaki farklı bakış açısına sahip akım, stil ve yaklaşımları da içeren tasarım felsefesidir. Bu süreçte bezeme reddedilirken işlevsel, yalın/sade ve endüstri ürünlerini destekleyen bir mimaridir. Bu kapsamda kimi avangart kimi tamamen eskiden kopuşu simgeleyen birbirinden farklı akımlar ortaya çıkmıştır. Geçmişi ve ilgili tüm değerleri bütünü ile reddeden, geleceğe yönelen fütürizm ise bugün önem kazanan ve gündemde olan neo-fütürizmin çıkış noktası olup endüstrileşme, makina, soyut, yalın ve bilimsel olanın yaratacağı mimariyi benimsemektedir.

Eyüce'ye göre (2011), modern **"yeni"** ve **"güncel"** olandır. Bu nedenle **"geçici"** olup **"yeni bir mimarlık"** ya da **"mimarlık için yeni bir yaklaşım"**dır ve hedefi gelecektir, devingen ve yeni arayışlara sürekli açıktır. Kavasoğulları'na göre ise (2025), modernizm bir monolit olmayıp; yeni kullanıcı, teknoloji, ekonomi ve etik değerlere verilen farklı yanıtların yüzyıllık bir bileşkesidir. Mimarlıkta modernizm tek bir akım ya da stili içermemekte; birçok farklı düşünce bir araya gelerek modernist düşünceyi oluşturmaktadır.

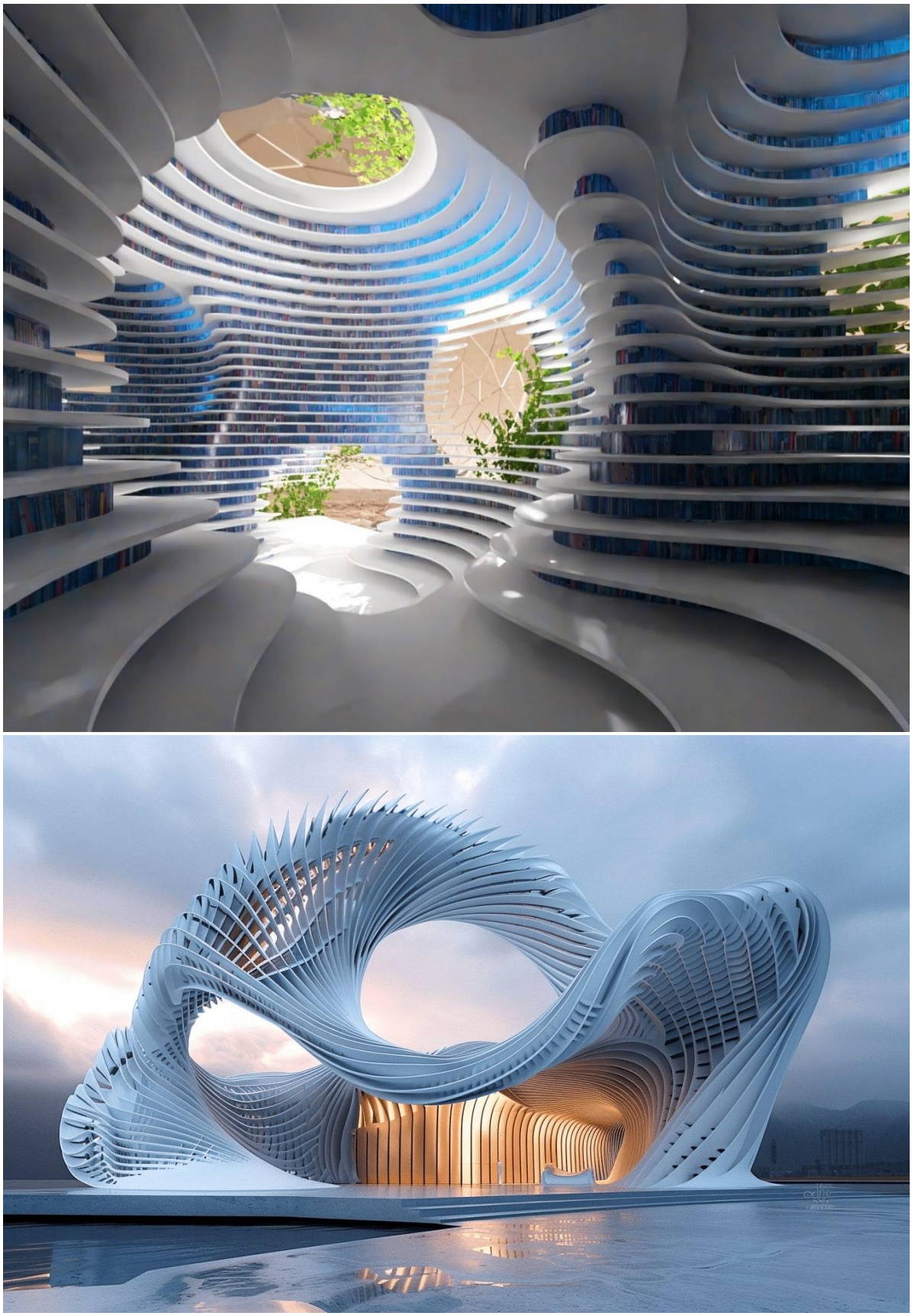
Neo-fütürizm ise bu anlamda modern çağda ancak en geç evrede gündeme gelen bir mimari akımdır. Diğer akımlar gibi neo-fütürizm de somut güncel gereksinimlere yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Pek çok akımın ortaya çıkışı değişen sorunlara çözüm amaçlıdır. Mimarlık ve ürünü olan binaları değişen güncel koşullar, teknolojik gelişmeler, kullanımlar ve siyasetin biçimlendirdiği bilinçli seçimler olarak okumak gerekmektedir. Neo-fütürist mimarlık değerlendirildiğinde sürdürülebilirlik, yüksek maliyetli binalar ve insan odaklı tasarım bağlamında eleştirel yönleri de bulunmaktadır. Bu kategorideki binalar genellikle standart dışı, deneysel geometrilere sahip, karmaşık yapılar olup yapım maliyetleri yüksek olmaktadır. Akım sürdürülebilir ve ekolojik çözümler sunsa da büyük cam yüzeyler, iklimlendirme çözümleri, altyapı sistemleri, özel üretimler yüksek enerji tüketimine, kurgulanan akıllı sistemler radyasyon üretimine ve çevresel zararlanmaya neden olabilecek bileşenler içermektedir. Bütünü ile farklı nitelikte ileri teknoloji ile yapılandırılan neo-fütüristik yapılar mevcut kentsel doku, kültür varlıkları ve kentsel arkeoloji ile çelişmekte; **yerel kimlik ile bağlamsal uyumsuzluk oluşabilmektedir.**

Neo-fütürist mimaride her bir binanın/yapının form ve kitle özelliklerinin parametrik mimarlık bağlamında son derece özgün ve farklı olması farklı estetik değerleri mimaride ön plana çıkarırken mekânsal kullanımlar, binanın işleve yanıt vermesi ve etkin kullanım, ergonomi gibi konularda sorunlara neden olabilmektedir. Yanı sıra mega kentlerde prestij yapısı olarak

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

tasarlanan neo-fütüristik binalar **''showcase architecture''**olarak tanımlanan **teknolojik kibir** yapılarına dönüşerek mimarinin toplumsal ve kültürel gerçeklikten, kamusal gereksinimlerden ayrışmasına neden olabilmektedir (Görsel 8). Neo-fütürizm yaratacağı sorunlara ve olanaklara karşın geleceğin mimarisi ve baskın yapı türü olacak ve popüler kültür tarafından benimsenecektir. BIM ve parametrik tasarımın da etkinliğini hızla artırması sonucu çok daha fazla entegre yapı sistemi neo-fütürist yaklaşım ile tasarlanacaktır. En etkileyici ve ikonik yapılar bu akım kapsamında değişen estetik anlayış kapsamında tasarlanmaktadır. İleri teknolojilerin tasarım aracı olarak kullanımı da tasarım sürecini kısaltırken yenilikçi yaklaşımların uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 8 Neo- fütürist mimarlık (Url 15, Url 16)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Neo-fütüristik mimari gelenekseli reddeden ileri görüşlü olduğunu savunan bir mimari felsefedir. Ancak eski olanı reddetmesi nedeni ile **taşınır** ve **taşınmaz kültür varlıkları, kültürel** ve **arkeolojik peyzajların korunarak ulusal kimlik** ve **hafıza mekanları** ile **arkeolojik katmanların sürdürülebilirliğinin sağlanması** öncelikli ve ön koşul olmalıdır. Gerek bina gerek kent ölçeğinde kültür varlıkları ile kontrast özelliklere sahip olan bu yapılar (Görsel 9-10) dengeli bir yaklaşım ve eski olanın ve tüm hafıza mekanlarının korunup etkin sunumu sağlanarak mevcut dokuya entegre edilmelidir. Bu anlamda yenilikçi yaşam alanları mevcut kültürel çevre ve geleneksel ile dengelenmelidir. Neo-fütürizm geçmiş tüm akımların sınırlamalarına yanıt olması açısından avangart bir bakış açısı sunması, farklı akımlara ilişkin kitle ve mekan pratiklerini entegre etmesi ve hızlı kentleşme ile teknolojik değişimlere yanıt vermesi ve geleceğin kentsel gelişim trendleri açısından önemlidir. Bu kapsamda mimari, teknoloji ve doğanın bir arada var olduğu akıllı şehirler gündeme gelmekte ve gelecektir. İleri teknoloji ile inşa edilen neo-fütüristik binalar dönüşen kentsel gereksinimlere uyarlanabilir ve esnek mekan tasarımlarına çözüm üreten niteliği bağlamında gelecek için potansiyel oluşturmaktadır. **Yenilik ile gelenek, kültür katmanları, tarih ve hafıza mekanları dengelenmelidir.**



Görsel 9 Neo-fütürist mimarlık (Url 17)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6





Görsel 10 Neo-fütürist mimarlık (Url 18, Url 19)

Geleceğin mimarisinin teknolojik olması kaçınılmazdır. Geleceğin mimarisi, genellikle sürdürülebilirlik, akıllı teknolojiler ve fütüristik estetik açıdan nitelikli gibi algılansa da bu vizyonlar derin ekonomik, toplumsal ve pratik çelişkiler barındırmaktadır. Geleceğin mimarisine yönelik en büyük eleştiriler; aşırı teknoloji bağımlılığı, soylulaştırma riski, kültürel değerlerin kaybı ve çevre dostu söylemlerin arkasına gizlenen **"yeşil badana" (greenwashing)** pratikleridir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Teknolojik anlamda da risk ve sistem bağımlılıkları oluşabilecektir. Bu anlamda akıllı evler ve yapay zeka entegre binalar, yazılım güncellemelerine ve sürekli enerji akışına bağımlı olacak, siber güvenlik sorunları yanında yazılım açıkları sonucu fiziksel güvenlik sorunları da oluşabilecektir. Teknolojik donanım hızla eskiyeceği için bu teknolojiler ile desteklenen binaların yaşam ömrü de kısalacaktır. Yanı sıra bazı sosyal sorunlar oluşabilecek; eko-soylulaştırma gündeme gelecektir. Dikey ormanlar ve sıfır karbonlu lüks projeler bugün de olduğu gibi yüksek gelir grubunun erişebildiği statü sembolü haline gelecektir. Akıllı şehir ve binalar sürekli veri toplayan sensörler ile donatılarak yaşam alanlarını toplumsal ve bireysel anlamda sürekli gözetim altında tutulan alanlara dönüştürecektir.
Neo-fütürist mimari aynı zamanda ekolojik çelişkilere de sahiptir. Düşük karbon ayak izine sahip olarak tanımlanan ve "çevre dostu" olarak nitelenen dikey yapılanmada kullanılan kompozit malzemeler ve yüksek teknolojik altyapı, üretim aşamasında çok fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Binaların dış cephelerinde gerçekleştirilen yeşil uygulamalar (dikey ormanlar), gerçek bir ekosistem olmaması yanında altyapı gereksinimi, aşırı su tüketimi ve bakım maliyeti yaratarak tam tersi etkiler oluşturmaktadır. Neo-fütürist mimarinin neden olduğu bir diğer sorun ise **kültürel zararlanma** ve **kimliksizleşmedir.** Yapay zeka destekli ve parametrik mimari, ilerleyen süreçte Dünya'nın her yerinde birbirine benzeyen, yerel kültür ve coğrafi kimlikten yoksun, büyük ölçekli mega yapılar insan psikolojisi ve sosyal etkileşim yerine anıtsallığı ve optimizasyonu öncelemektedir. Çelik, cam ve beton gibi yüksek teknolojili malzemelerin yüksek karbon salınımı yaratması doğaya zarar vermekte, akıllı binaların mekanik sistemlere bağımlı hale gelmesi sonucunda sürdürülebilirliği zarar görmektedir.

Bugün mimarlık pratiğinde izlenen değişimler sadece mevcut araçların iyileştirilmesi değil; tasarıma, üretime ve binaların yaşam döngüsüne ilişkin temel yaklaşımları değiştirmektedir. Mimarlık kuramı, tarihi süreç boyunca hiçbir zaman durağan olmamış; her dönemde toplumsal dönüşümler, ekonomik koşullar ve teknolojik gelişmeler ile yeniden tanımlanmıştır. Mimarlık kuramı her zaman toplumsal, kültürel ve teknolojik değişimler ile yeniden biçimlenerek farklı dönemlerde farklı sorulara yanıt arayan dinamik bir yapıda olmuştur. Bu nedenle mekân, değişmez bir kategori olmamış; tarihsel koşullar, politik bağlamlar ve düşünsel paradigmalar ile birlikte dönüşen bir kavramsal alan olarak mekan tarihsel, ekonomik ve politik koşulların etkisi ile sürekli yeniden kurgulanmıştır.

Bugün **artırılmış gerçeklik** ve **sensör teknolojileri** le desteklenen eşzamanlı deneyimler, **"hibrit yerler"** kavramını gündeme getirmektedir. Böylece mekânsal aidiyet dönüşmekte; **"hibrit mekanlar"** oluşmaktadır. Böylece neo-fütristik mimari **hibrit** ve **akıllı mekan** tanımlarının kapsamını da genişletmektedir. Güncel teknolojiler ile de desteklenen neo-fütüristik mimari risk oluştururken olanaklar da sunmaktadır. Bir yandan **"akıllı mekânlar"** çoğalırken geleceğin **"duyuların ötesinde yerler"** fiziksel ve **sanal katmanların hibritleştiği deneyimler** sunmaktadır. Bu potansiyelin nasıl biçim bulacağı ise teknoloji, yapay zeka ile mimarlık kuramı arasındaki eleştirel, etik ve post-humanist tartışmalara bağlıdır. Mimarlık pratiği bugün sadece biçimsel üretim ile değil; sürdürülebilirlik, verimlilik, çevresel analiz ve çoklu parametre optimizasyonu gibi stratejik boyutlar ile de tanımlanmaktadır. Yapay zekâ tabanlı uygulamalar, kullanıcı mahremiyeti, algoritmik önyargılar ve kültürel bağlamın homojenleştirilmesi risklerini taşımaktadır. Ayrıca verilerin küresel şirketlerce tekelleştirilmesi

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

"dijital sömürgeleştirme" olasılığını gündeme getirmektedir. Bu nedenle anonim veri yönetimi, kültürel çeşitliliğin korunması mimarlığın etik - politik bir alan olarak yeniden yorumlanmasını gerektirmektedir.

Diğer yandan geleceğin teknolojisi kapsamında en önemli gelişmelerden biri **sanal gerçeklik** olarak okunmaktadır. **Toplum** ve **bireyleri "sanal bir Dünya'ya" adapte etmeye çalışan küresel güçlerin** bu anlamda teknolojik olanakları kullanması kaçınılmaz olacak ve bireyler yalnızlaştırılarak iç mekanlarda; evlerinde/konutlarında toplumdan soyutlanarak sanal gerçekliğe erişim sağlarken mimari de bu doğrultuda dönüşebilecektir. Ancak gerek sağlıklı toplumlar gerek bireysel sağlık açısından gerçek, sağlıklı, sosyal ve kültürel etkileşimin kentsel kamusal alanlarda sürdürüldüğü **yaşayan mimari** geleceğin mimarisi ve en doğru çözüm olacaktır. Geleceğin kentsel gelişim trendleri ve yaşam alanlarının tasarımı açısından neo-fütürizm önemlidir ve gelecek için potansiyel oluşturmaktadır. Ancak **geleneksel mimaride kadim çevre ve yapı bilgisi gizlidir.** Dolayısı ile **yenilik ile gelenek, güncel teknolojik binalar ile mevcut kültür katmanları ve tarihi dengeleyecek mimari tasarım felsefeleri doğrultusunda mimari biçim bulmalıdır…** Geleceği doğru okumak… geleceğin teknolojisini, yaşam çevrelerini ve Dünya'yı doğru okumak… okuyabilmek ise neo-fütürizmin başarısını artıracaktır.

KAYNAKÇA

Anonymus, 2026. Neo-Futurism. Wikiwand. https://www.wikiwand.com/en/Neo-futurism?utm_source=hp

Eyüce, A. 2011. Modernlik ve Türkiye'de Modern Mimarlık. Mimarlık Dergisi No. 361, Eylül-Ekim 2011.

Kavasoğulları, M. 2005. Modernizm Tek Bir Stil Değil: İnşa Etme Biçimimizi Değiştiren Stillerin Toplamı, https://www.mimarintersi.com/post/modernizm, Erişim Tarihi: 22.09.2026

Keçeci, K. 2025. Mimaride Neo-Fütürizm Kentsel Peyzajları Şekillendirmek. DOK Mimarlık, Tarafsız ve Detaylı Mimari İncelemeler.

Magon, K. 2017. Neo Futurism- The Birth Of Futurist Architecture. Architectural Design and Technology

Mohamed, W. 2016. Neo-Futurism, https://www.researchgate.net/publication/312498427_Neo-Futurism, Erişim Tarihi: 22.09.2026

Nasir, O. 2024. Mimaride Neo-fütürizm: Yarının Şehirleri İçin Cesur Tasarımlar. Parametric Architecture, https://parametric-architecture.com/neo-futurism-in-architecture.

Görsel Kaynaklar

Url 1. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTGL4RYY6aITxNGIncLrtbhfK2n2nv7NDrnzVDm1gKb3KzdzmThknLfg0I&s=10

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Url 2. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRC4NPtz3MZdLJUZJkEJpxiT2-qlV02sRVrvGcIx9BWuYUsd-Q8RhE2YCs&s=10
Url 3. https://www.nef.com.tr/media/CACHE/images/blog/covers/cybertecture-egg/32a3b1d0d637a847736427ed993768ab.jpeg
Url 4. https://neoarchbeta.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/04/egg.jpg
Url 5. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT8pCIviXU6SwC3E-uquIBO27hKdumjDmW_h-rgdglAIvg6cG-QZ5o4ZpRs&s=10
Url 6. https://amazingarchitecture.com/storage/5657/birth-building-shiraz-melk-architect.jpg
Url 7. https://devforum-uploads.s3.dualstack.us-east-2.amazonaws.com/uploads/optimized/5X/a/0/f/8/a0f89e1720176121d120e091c9a771e47ef2d708_2_354x500.jpeg
Url 8. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTgJFWhR5V36X7MRihXgbV8_Icg58GqvZST2wEW0cOagqaXrPyHSumtXDvA&s=10
Url 9. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTInfvNIxJsdYYA62n39an1MYLt08nGOXRbOcRs-SISwHEfoX53CVGD5D8&s=10
Url 10. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSKHPkdwP_GfSqQ5QseS5zYZzhTqCTys3LqWtiCsAwjvp8bFsZi4lirjt3D&s=10
Url 11. https://cdn.apartmentdevelopments.com.au/have-you-googled-zaha-hadid/file/hero/hac-exterior-photo-by-hufton-crow-1-.jpg
Url 12. https://media.istockphoto.com/id/498692324/tr/foto%C4%9Fraf/heydar-aliyev-center.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=mdAYyssiZtvlN_AsZsor3aAuhQPsMY180uRSSv1H05w=
Url 13. https://galeri3.arkitera.com/var/albums/Soylesi-3/melike_altinisik-1639241127/ZHA_Abudhabi_Performing_Art_Center.jpg.jpeg
Url 14. https://www.arkitera.com/wp-content/uploads/2026/01/Adsiz-tasarim-6.jpg
Url 15. https://www.arch2o.com/wp-content/uploads/2015/11/Arch2O-10-parametric-plugins-every-architect-should-know-23.jpg
Url 16. https://illustrarch.com/wp-content/uploads/2024/07/parametric_designed_skyscarpers_modern_and_contem_d978be1d-fb00-4801-9b90-b636b7de5ab2_0-12-min.jpg
Url 17. https://parametric-architecture.com/dreaming-up-viable-parametric-creations-working-through-the-chaos-of-ai/
Url 18. https://www.vecteezy.com/photo/33100920-revolutionizing-architecture-parametric-design-tools-unleashed-ai-generated
Url 19. https://www.ierek.com/news/wp-content/uploads/2025/02/b7e0d07adb0cd8d06c644bbbf416a392-736x430.jpg

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

İÇ MİMARİ GÖRSELLEŞTİRMEDE ANTİ-RENDER YAKLAŞIMI: YAPAY ZEKÂ DESTEĞİYLE İDEALİZE EDİLMİŞ TEMSİLDEN KULLANILAN MEKÂNIN TEMSİLİNE

Arş. Gör. Dr. Emre PINAR

Çukurova Üniversitesi, pinare@cu.edu.tr - 0000-0002-1222-4680

ÖZET

İç mimari görselleştirmede üç boyutlu fotogerçekçi render[1] oluşturma yaklaşımı, henüz uygulanmamış tasarımların kullanıcı ve müşterilere aktarılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu görsellerde mekân çoğunlukla düzenli, yeni, kontrollü ve kullanım izlerinden arındırılmış idealize edilmiş bir durumda temsil edilmektedir. Gerçek kullanım sürecinde ise ek eşya ve donatılar, kişisel nesneler, kullanıcı müdahaleleri ve gündelik faaliyetler mekânın hem görünümünü hem de işleyişini değiştirebilmektedir. Son yıllarda idealize edilmiş fotogerçekçi temsillere yönelik eleştiriler ile üretken yapay zekânın görsel üretim olanaklarının gelişmesi, kusursuz mekân temsilini sorgulayan anti-render yaklaşımının ortaya çıkması ve görünürlük kazanmasına katkı sağlamıştır. Bu çalışmada anti-render yaklaşımı, fotogerçekçiliğin reddi olarak değil, idealize edilmiş kullanım öncesi temsilin olası kullanım sonrası senaryolarıyla genişletilmesi olarak ele alınmaktadır. Araştırma kapsamında yaşama alanı, çalışma alanı, mutfak, yatak odası ve genç odası olmak üzere beş farklı iç mekâna ait geleneksel render ve yapay zekâ destekli anti-render görsel çiftleri oluşturulmuştur. Toplam 10 görsel, 85 kullanıcı tarafından beşli karşılaştırmalı ölçek ve açık uçlu sorular aracılığıyla değerlendirilmiştir. Değerlendirmede günlük kullanım gerçekliği, kullanım sonrasını öngörme, ek gereksinimleri fark etme, işlevsel yeterlilik, tasarım kararına katkı ve estetik sunum ölçütleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda anti-render yaklaşımının, geleneksel renderı kullanım senaryoları açısından tamamlayan bir tasarım ön-değerlendirme ve karar destek aracı olarak kullanılabilirliğinin sorgulanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç Mimarlık, Görselleştirme, Render, Anti-Render, Yapay Zekâ

[1] Mimari ve iç mimari tasarımda, üç boyutlu dijital modelin malzeme, doku, ışık, gölge, kamera ve diğer çevresel değişkenler kullanılarak gerçekçi bir görsele dönüştürülmesi sürecidir.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EKOTURİZM ARAŞTIRMALARINDA AHP KULLANIMI: ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ, TEMALAR VE BİLİMSEL AĞLARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Prof. Dr. Tuğba KİPER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, tkiper@nku.edu.tr - 0000-0003-3396-5661

Dr. Öğr. Üyesi Emine KELEŞ ÖZGENÇ

Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü,

eminekeles@trakya.edu.tr - 0000-0003-0084-9525

ÖZET

Ekoturizm alanlarının uygunluğunun belirlenmesinde fiziksel, doğal, çevresel ve sosyo-ekonomik birçok faktör etkilidir. Ekoturizm planlaması kapsamında etkili olabilecek çok sayıda kriterin değerlendirilmesini gerektiren süreçte, kriterlerin ağırlıklandırılması ve birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durumun paralelinde çoğu yazar, ekoturizm gelişime yönelik Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)'den yararlanmış olup, bu yöntem süreci ekoturizm uygunluk analizlerinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar, ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde AHP sürecinin sıklıkla kullanıldığını ortaya koymakla birlikte, ekoturizm-AHP araştırma alanının küresel ölçekte nasıl geliştiğini, hangi temaların öne çıktığını, hangi araştırmacı, yayımcı kurum ve ülkelerin alana yön verdiğini bütüncül olarak sunmamaktadır. Bu çerçevede ekoturizmde AHP kullanımı konusundaki bilimsel üretime yönelik, Web of Science (WoS) veri tabanında başlık alanı özelinde tespit edilen 153 adet çalışma; büyüme miktarı, önde gelen kurum, yazar, ülke, yayıncı dağılımı, araştırma alan düzeyi, fonlanma durumu ve indeks türleri temelinde analiz edilmiş, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile de niceliksel açıdan ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda; yazar, dergi ve yayın yılı temelinde en çok alıntı yapılan çalışmalar değerlendirilerek, ilgili konudaki tematik eğilimler saptanmıştır. VOSviewer yazılımı ile de, ülke, kurum ve yazar ile anahtar kelimeler temelinde düğüm türleri aracılığıyla iş birliği ağları analiz edilmiştir. Analizler, ekoturizmde AHP çalışmalarının; teknik, analitik ve metodolojik boyutu ile fen ve çevre bilimleri alanında yoğunlaştığını, SCI + SSCI indekslerde kabul gördüğünü, sürdürülebilir kalkınma ve planlamaya dayanan disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu ve özellikle de Asya ülkelerinde odaklandığını ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonuçlarının, ekoturizm alanında AHP kullanımına ilişkin mevcut araştırma durumunun ve gelişim eğilimlerinin ortaya konulmasına katkı sağlayarak, araştırmacılar ve ilgili okuyucular için yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bibliometrik Analiz, Ekoturizm ve AHP, Web of Science (WoS), VOSviewer

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. GİRİŞ

Ekoturizm alanlarının uygunluğunun belirlenmesinde fiziksel, doğal, çevresel ve sosyo-ekonomik özellikler gibi çok sayıda faktör etkili olmakta (Zabihi vd., 2020) ve bu faktörlerin belirlenmesi ile göreceli önemlerinin ortaya konulması, belirli bir alanın ekoturizm potansiyelinin doğru ve sistematik biçimde değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Fadafan vd., 2022). Bu durumun desteklendiği Ullah ve Hafiz (2014)'in çalışmasında da; ekoturizm gelişiminde birçok kriterin etkili olduğu, buna bağlı olarak ekoturizm faaliyetleri için arazi uygunluk analizinin karmaşık bir karar verme sürecini içerdiğinden yerinde bilgiye ve öznel değerlendirmeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda, ekoturizm konulu pek çok çalışmada, kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesine ve farklı kriterlerin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan çeşitli Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemleri kullanılmaktadır (Mankelkelot vd., 2026; Ali vd., 2026; Amsalu vd., 2026; Kolcha vd., 2025; Bhunia ve Singh, 2025; Abtahee vd., 2023; Ullah ve Hafiz, 2014). Bu yöntemler arasında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), faktörlerin göreceli önemini belirlemek amacıyla ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasına ve ana özvektör kullanılarak faktör ağırlıklarının hesaplanması süreci temelinde; çok sayıda faktörün dikkate alındığı karmaşık karar verme süreçlerini hiyerarşik yapılara ayırması, uzman görüşlerini sürece dâhil etmesi ve kriterlerin göreceli önemini nicelleştirmesi (1: eşit önem, 9: aşırı önem) (Saaty, 1987; Saaty, 1990) sayesinde, ekoturizm uygunluk analizlerinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır (Mankelkelot vd., 2026; Ali vd., 2026; Amsalu vd., 2026; Kolcha vd., 2025; Bhunia ve Singh, 2025; Abtahee vd., 2023; Fadafan vd., 2022). Örneğin, Mankelkelot vd. (2026)'nin çalışmalarında; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemlerini birleştiren entegre bir yaklaşım kullanılarak Etiyopya Bahir Dar ve çevresinin ekoturizm potansiyeli değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, Ali vd. (2026); Pakistan/Hayber Pahtunhva/Çitral Bölgesi'nde ekoturizm uygunluk bölgelerini belirlemek için AHP kullanmışlardır. Ek olarak AHP, Sahahiri vd. (2026)'nin çalışmalarında; Cidde ve Alula arasındaki potansiyel ekoturizm rotalarının belirlenmesi temelinde kullanılmıştır. Bununla birlikte, çoklu kriter değerlendirmelerine dayalı olarak AHP karar verme yöntemini; Acharya vd. (2022); Hindistan Batı Bengal'de, Wu vd. (2022); Diaoluo Dağı Milli Doğa Rezervi'nde, Mobaraki vd. (2014); İran- İsfahan'da, Nahuelhual vd., (2013); Güney Şili'de olmak üzere farklı ölçeklerde potansiyel ekoturizm alanlarını belirlemek için kullanmışlardır. Benzer şekilde; Ullah ve Hafiz (2014)'in Bangladeş'in Cox's Bazar bölgesi ile Bunruamkaew ve Murayama (2011)'nın Tayland'ın Surat Thani Eyaleti özelinde yapmış oldukları çalışmalarda; potansiyel ekoturizm alanları Coğrafi Bilgi Sistemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak belirlenmiş ve sıralanmıştır. Bu çalışmalar, ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde AHP sürecinin sıklıkla kullanıldığını ortaya koymakla birlikte, AHP–ekoturizm araştırma alanının küresel ölçekte nasıl geliştiğini, hangi temaların öne çıktığını, hangi araştırmacı, yayımcı kurum ve ülkelerin alana yön verdiğini bütüncül olarak sunmamaktadır. Bu noktada bibliyometrik analiz, konu özelinde ortaya çıkan eğilimleri ve araştırma boşluklarını ortaya çıkarmak, etkili yazarları ve dergileri belirlemek ve alanın yapısını ve evrimini sistematik ve nicel bir biçimde ortaya koymak (Salazar vd., 2026) için güçlü bir bakış sunmaktadır. Bu çerçevede; bildiride, ekoturizm araştırmalarında Analitik Hiyerarşi Tekniği'nin (AHP) kullanımına ilişkin bilimsel

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

literatürün gelişimini, araştırma eğilimlerini, öne çıkan yazar, ülke, kurum ve dergileri, kullanılan anahtar kelimeleri ve araştırma temalarının zaman içerisindeki değişimini bibliyometrik haritalama teknikleri aracılığıyla ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. VERİ KAYNAĞI, GÖSTERGE SEÇİMİ ve ANALİZ YÖNTEMİ

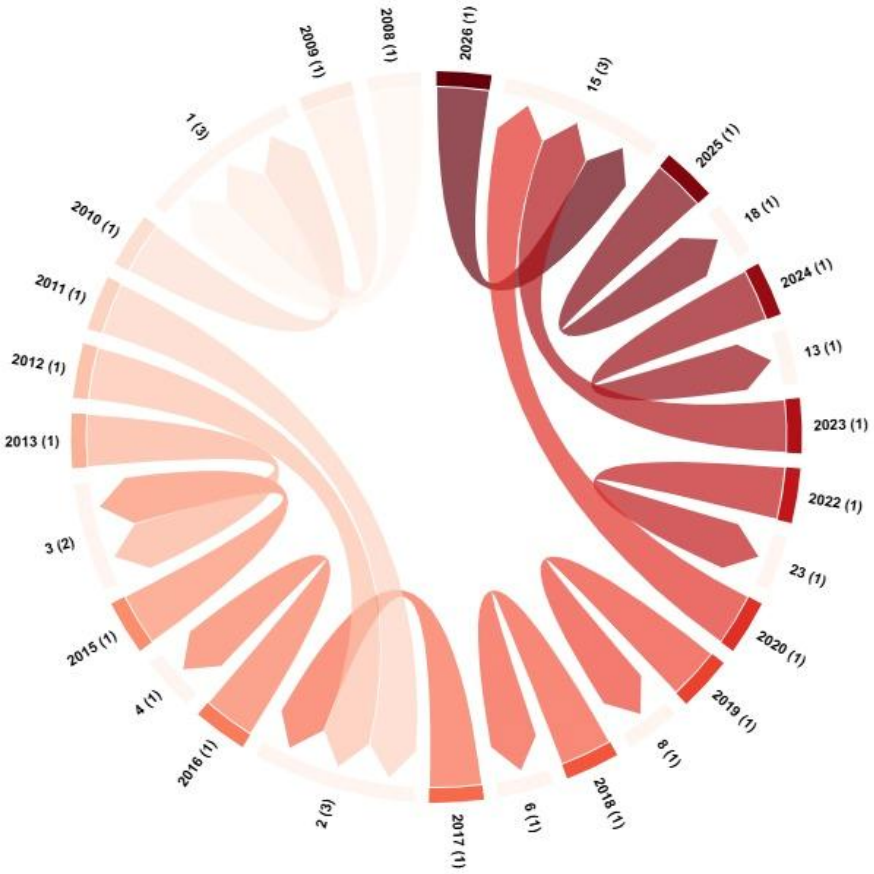
Çalışmanın ana kaynağını, dünya çapında yetkin ve etkin düzeyde çok sayıda akademik dergiyi içeren Web of Science (WOS) veri tabanı oluşturmuştur (Gong vd., 2019).
Araştırmanın veri setini, 30.08.2026 tarihi itibarıyla Web of Science (WoS) veri tabanında 2008–2026 yılları arasında yayımlanan ve başlık alanında "Ecotourism and AHP" anahtar terimlerini içeren toplam 153 bilimsel yayın oluşturmaktadır. Bibliyometrik analiz kapsamında değerlendirilen yayınların, %95,43'ini makale ile %9,15'ini bildiri türündeki çalışmalar içermiş ve bu çalışmaların %97,39'u İngilizce olarak yayımlanmıştır. Bu çerçevede ilgili konudaki bilimsel üretimin büyüme miktarı, önde gelen kurum, yazar, ülke, yayıncı dağılımı, araştırma alan düzeyi, fonlanma durumu ve indeks türleri analiz edilmiştir. Bununla birlikte, konu bazlı 153 çalışma, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile niceliksel açıdan ilişkilendirilmiştir. Tematik eğilimlerin saptanmasına yönelik olarak da; yazar, dergi ve yayın yılı temelinde en çok alıntı yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. VOSviewer yazılımı ile de, ülke, kurum ve yazar ile anahtar kelimeler temelinde düğüm türleri aracılığıyla iş birliği ağları analiz edilmiştir.

3. EKOTURİZM ARAŞTIRMALARINDA ANALİTİK HİYERARŞİ TEKNİĞİ'NİN (AHP) KULLANIMINA İLİŞKİN BİLİMSEL LİTERATÜRÜN GELİŞİM EĞİLİMİ

3.1 Yıllık Yayın Üretim Eğilimi

Bilimsel literatür sayısı, konu araştırmasının aktivitesini ve gelişimini belirli bir ölçüde yansıtabilir (Lyu vd., 2026). WoS veri tabanında başlık alanı kapsamında 2008–2026 yılları arasında (30.08.2026 tarihi itibarıyla) indekslenen 153 çalışma incelendiğinde, yayın sayılarında özellikle 2020 yılı sonrasında genel bir artış eğiliminin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Keza 2020 yılından günümüze ilgili konudaki üretilen çalışmalar toplam yayınların %75,16'sını oluşturmuştur. Diğer taraftan, 2008–2016 döneminde yayın sayıları 1–5 arasında olmak üzere oldukça düşük düzeyde seyrederken, 2017–2019 döneminde ise yayın sayısında kademeli bir artış görülmüştür. 2026 itibari ile indekslenen 15 çalışma (Görsel 1) ise yılın henüz tamamlanmamış olması dikkate alındığında konu özelinde yapılacak çalışmaların artacağını işaret etmektedir. Bu durum, ilgili konudaki gelişim hızının yükseliş trendini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 1. İlgili konu özelinde yayın çıktısı ve zamansal eğilim

3.2. Kurum, Ülke, Yazar ve WoS Veri Tabanı Kategori Dağılım Analizi

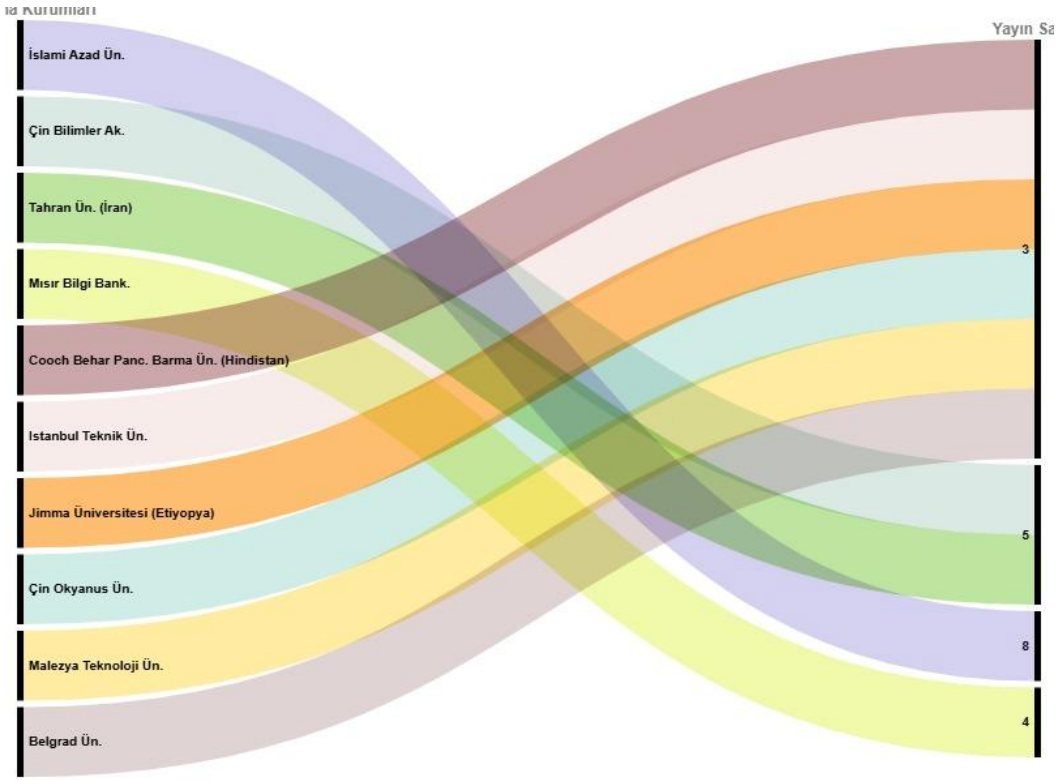
Kurumlar açısından değerlendirildiğinde, ekoturizm araştırmalarında AHP kullanımına yönelik dağılımda pek çok kuruluş görev almakla birlikte, konuya yönelik olarak Asya'daki araştırma kurumlarının (30 adet yayın) öncü olarak yer aldığı dikkat çekmektedir. Özellikle de, İslami Azad Üniversitesi ile Tahran Üniversitesi özelinde yapılan çalışmalar (toplam 13 yayın) dikkate alındığında, İran'ın konu alanında belirgin bir katkısı olduğu görülmektedir (Görsel 2).

İlgili konu özelinde etkin ülke dağılımında Çin ve İran ön plana çıkarken, özellikle de Asya konumlu ülkelerin ağırlıklı olarak yer aldığı gözlemlenmiştir. Türkiye ise ilgili konuya 15 adet yayın ile destek sağlayarak, en etkin ülke dağılımında dördüncü sırada yer almıştır (Görsel 3).

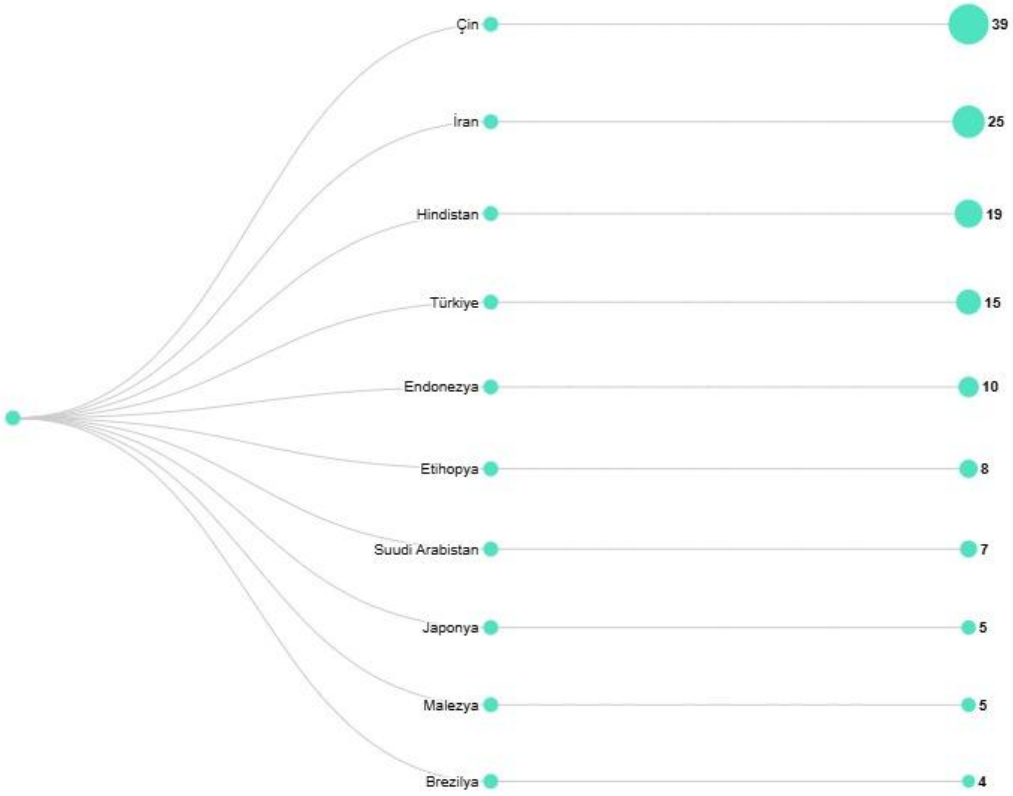
İlgili konu özelinde WoS veri tabanına göre, yüksek yayın çıktısına sahip yazarlar arasında belirgin bir yoğunlaşma görülmemekle birlikte; ilk sırada üçer adet yayın ile "Monavari, S. M., Cvetkovic, Marija S., Demir, Sara" yer almıştır (Görsel 4).

Web of Science veri tabanı kategorilerinden elde edilen bu alandaki araştırma bulguları değerlendirildiğinde, öncelikle "çevre bilimleri" (52 yayın) ile "çevre araştırmaları ve yeşil sürdürülebilir teknolojiler bilimleri" (27 şer yayın) alanlarında yoğunlaşıldığı saptanmıştır. Bununla birlikte, kategorik dağılım incelendiğinde, (Görsel 5) AHP'nin ekoturizm araştırmalarında; çevresel değerlendirme, sürdürülebilirlik, ekolojik analiz ve mekânsal planlama çalışmalarında önemli bir yöntem olarak değerlendirildiği söylenebilir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

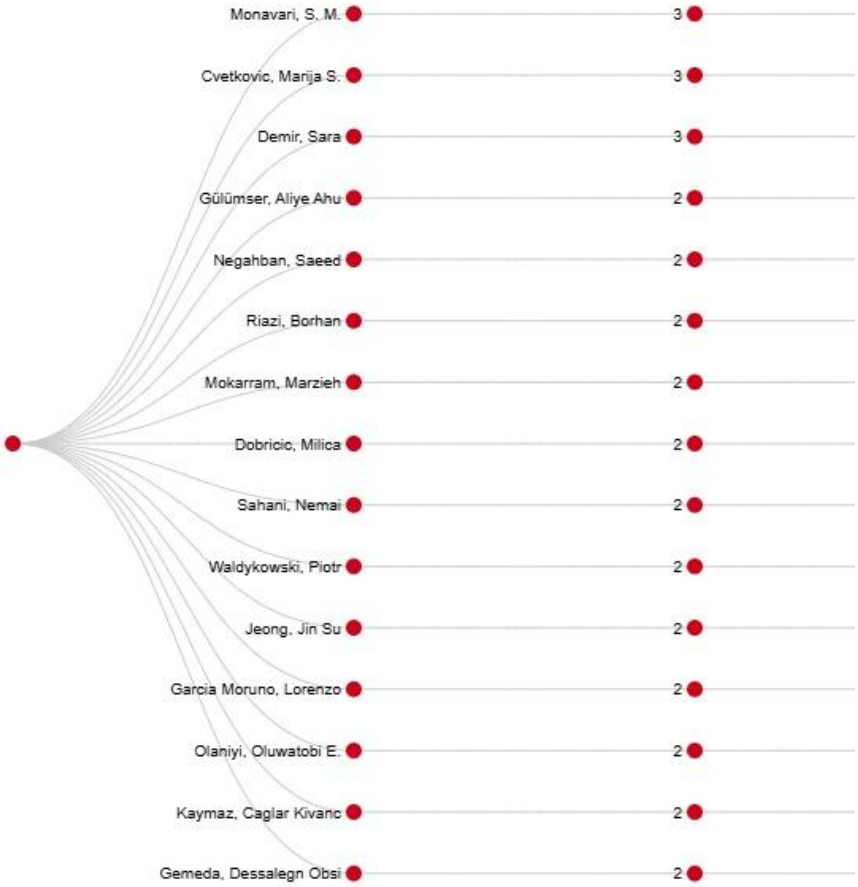


Görsel 2. Ekoturizmde AHP kullanımı alanındaki etkin araştırma kurumları (ilk 10)



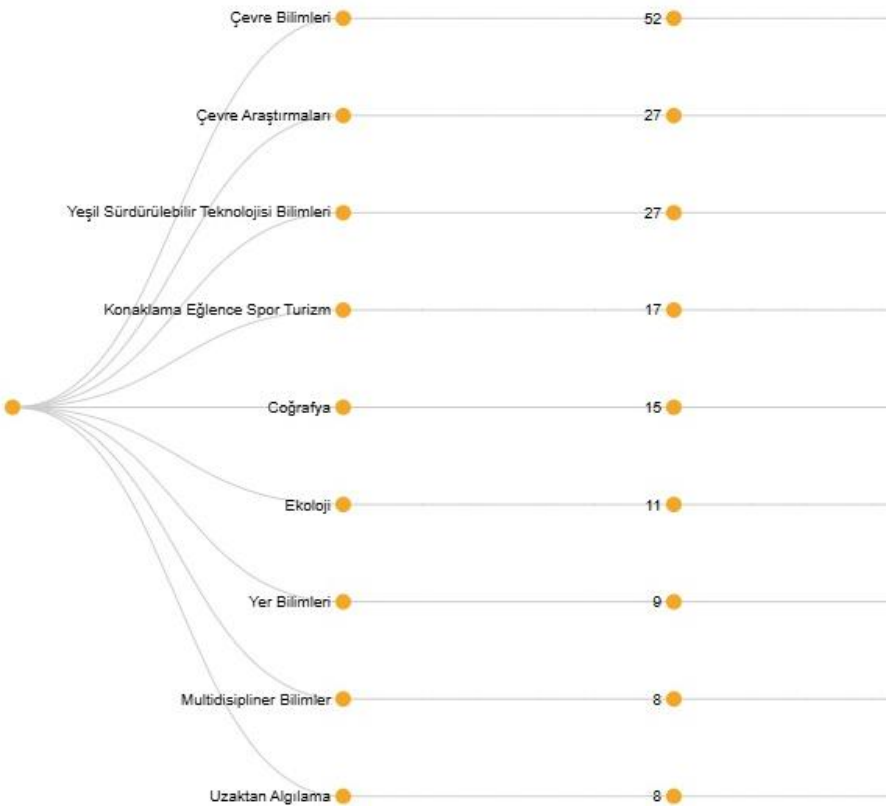
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Görsel 3. Ekoturizmde AHP kullanımı alanındaki etkin ülkeler (ilk 10)



Görsel 4. Ekoturizmde AHP kullanımı alanındaki etkin yazarlar (ilk 10)

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

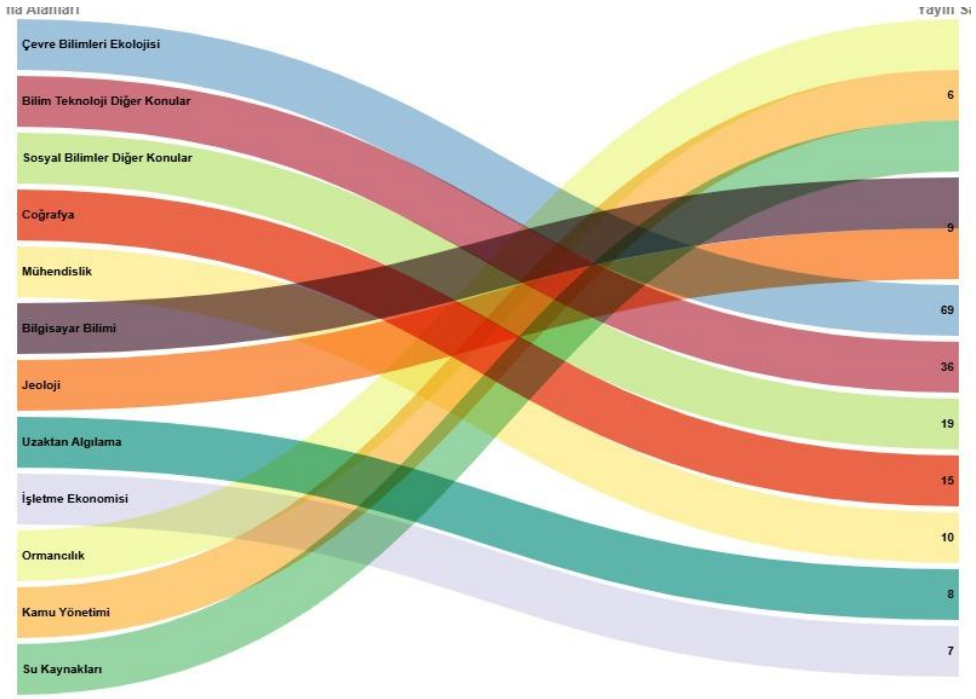


Görsel 5. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında WoS kategori dağılımı (ilk 10)

3.3. Araştırma Alanı, Dergi, Yayımcı Kurum, Wos İndeks Türü ve Fon Kaynakları Dağılımı

İlgili konunun araştırma alanlarına göre dağılımda ilk üç sırayı "çevre bilimleri ve ekoloji" 69 yayın ile ilk sırada yer alırken, "bilim teknoloji" 36 ve "sosyal bilimler" 19 yayın ile oluşturmuş olup, genel dağılımda ise farklı araştırma alanlarının yer aldığı görülmüştür (Görsel 6). Bu durum, özellikle ekoturizm ve AHP çalışmalarının çevresel, mekânsal, teknolojik ve sosyo-ekonomik boyutları bir araya getiren disiplinler arası bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

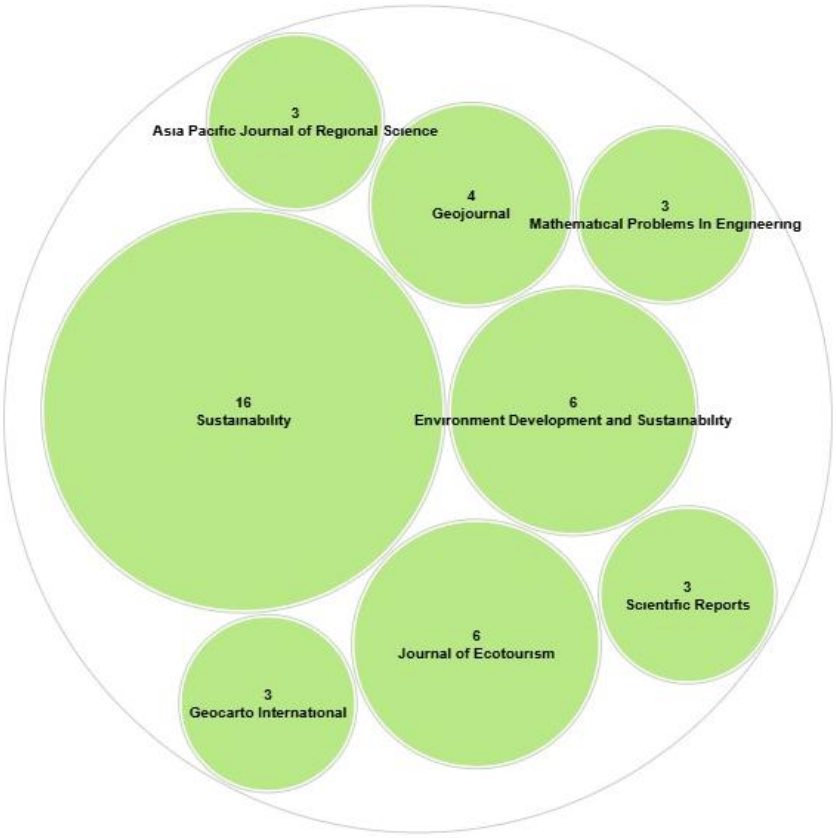


Görsel 6. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında araştırma alanı dağılımı (ilk 10)

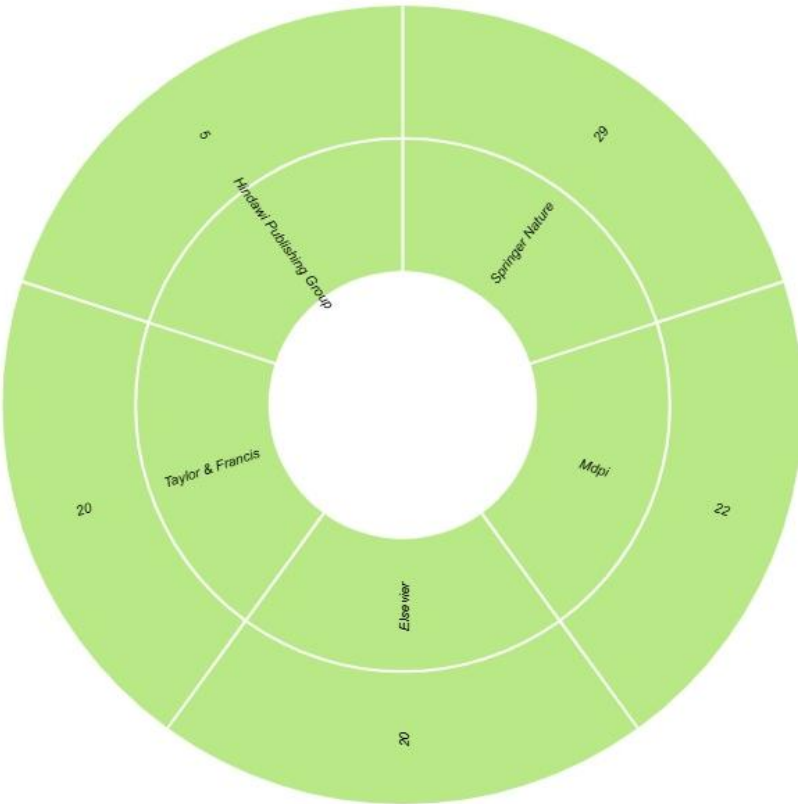
Web of Science veri tabanında indekslenen dergilerden elde edilen bu alandaki araştırma bulguları değerlendirildiğinde, öncelikle sürdürülebilirlik, uygunluk analizi ve doğal kaynak yönetimi gibi alanları kapsayan "Sustainability" dergisinin öne çıktığı saptanmıştır. Diğer temsilci dergiler arasında "Environmental Development and Sustainability", "Journal of Ecotourısm" ve "Geojournal" yer almaktadır (Görsel 7). Bu durum, AHP'nin çevresel sürdürülebilirlik ve ekoturizm gelişiminde araç olarak yer aldığını ve ekoturizmin coğrafi, mekânsal ve bölgesel boyutları ile AHP'nin mekânsal karar verme süreçlerindeki kullanımını desteklediğini ortaya koymaktadır.

İlgili konudaki öncü yayımcılar incelendiğinde; Springer Nature, MDPI, Elsevier ve Taylor & Francis'in toplam yayınların %59,48'lik bir oranını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durum, ekoturizmde AHP kullanımına ilişkin araştırmaların etkin uluslararası yayın ağlarına sahip yayınevlerinde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Özellikle 29 adet yayın ile Springer Nature'nin öne çıkması (Görsel 8), sürdürülebilirlik, çevresel yönetim gibi AHP'nin yaygın olarak kullanıldığı araştırma alanları ile örtüştüğünü destekler niteliktedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



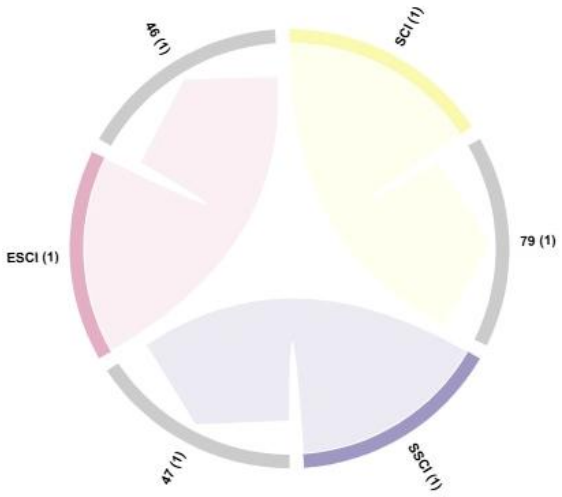
Görsel 7. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında temsilci dergi dağılımı (İlk 8)



ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Görsel 8. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında öncü yayımcılar (İlk 5)

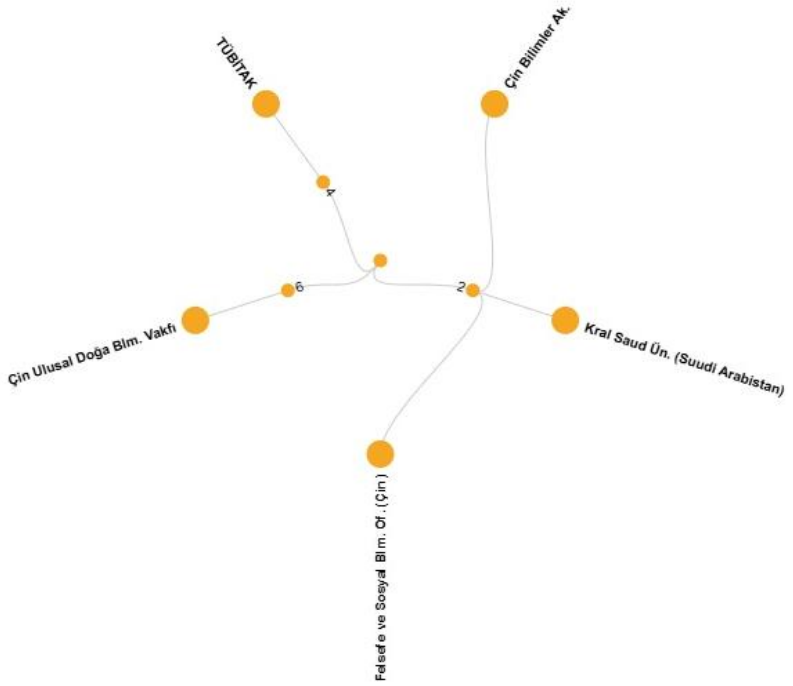
Yayınların %49'luk diliminin SCI indeksli dergilerde yer alması, ekoturizmde AHP ve CBS çalışmalarının teknik, analitik ve metodolojik boyutu ile fen ve çevre bilimleri alanında yoğunlaştığını desteklemektedir. Bununla birlikte, indeks dağılımı incelendiğinde, ekoturizmde karar verme yöntemlerinin %73'ün üzerinde ana çekirdek indekslerde (SCI + SSCI) kabul gördüğü saptanmıştır (Görsel 9). Bu durum, ilgili konunun yöntem olarak fen bilimlerine, hedef olarak ise sosyal bilimlere dayanan disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu destekler niteliktedir.



Görsel 9. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında WoS türü dağılımı (İlk 3)

Fon kaynakları dağılımı incelendiğinde Çin odaklı kurumların ekoturizmde AHP kullanımı konusunda lider konumda olduğu görülmüştür. Ulusal ölçekte ise, TUBİTAK'ın 4 adet çalışmaya destek verdiği saptanmıştır (Görsel 10).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

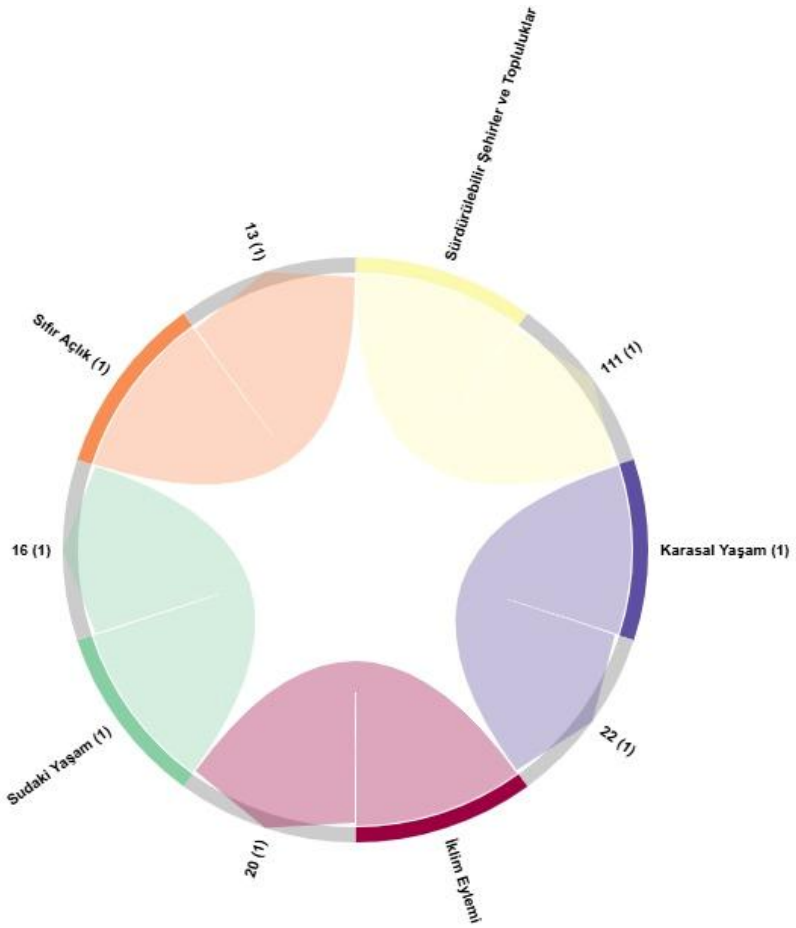


Görsel 10. Ekoturizmde AHP kullanımı alanında etkin fon kaynakları dağılımı (İlk 5)

3.4. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkilendirilmesi

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri açısından değerlendirildiğinde, ekoturizm ve AHP konulu yayınların en çok "SKH 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" ile ilişkilendirildiği (111 yayın) saptanmıştır. "Karasal Yaşam, İklim Eylemi, Sudaki Yaşam ve Sıfır Açlık" hedeflerinin de dağılımda yer alması, çalışmaların çevresel koruma, iklim değişikliği ve kırsal kalkınma boyutlarını içeren çok yönlü bir sürdürülebilirlik yaklaşımına sahip olduğunu destekler niteliktedir (Görsel 11).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

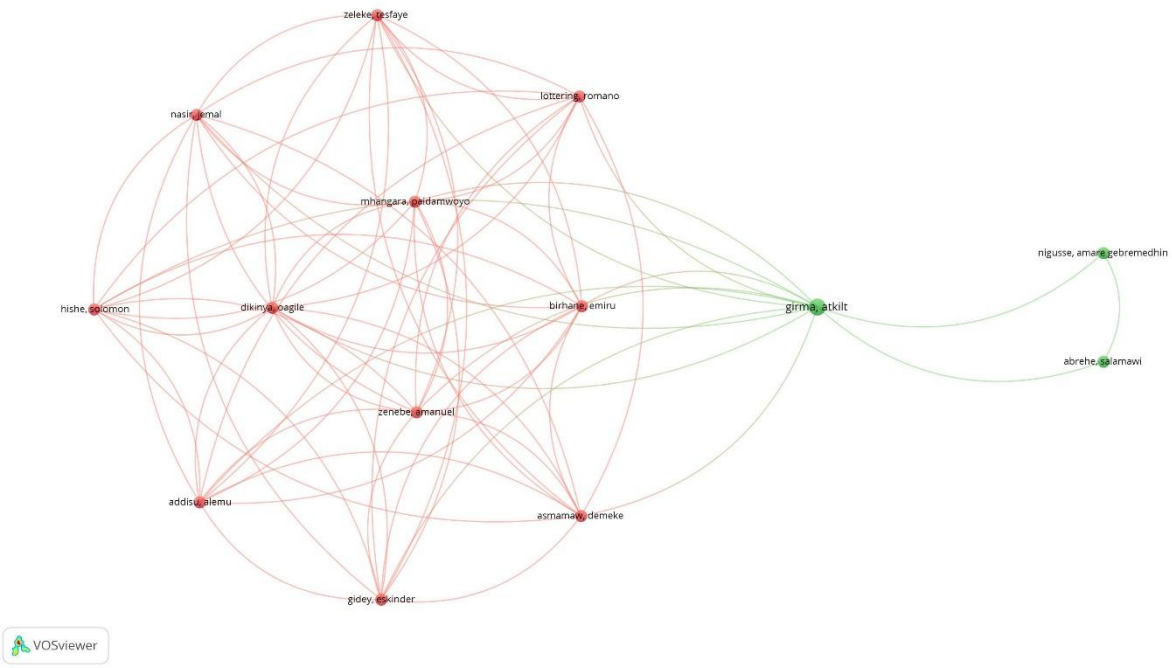


Görsel 11. Ekoturizmde AHP kullanımının Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile ilişkilendirilmesi

3.5. İş Birliği Ağları (Yazar, Ülke, Kurum) ve Anahtar Kelime Analizi

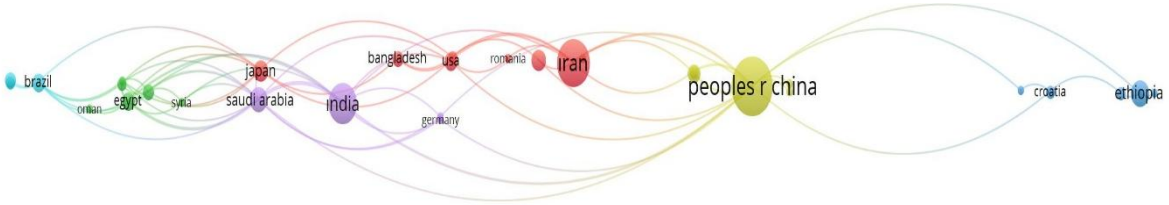
Yazar iş birliği analizi, incelenen araştırma alanında iş birliklerinin belirli araştırmacı grupları etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Ağın büyük kısmını oluşturan kırmızı küme, güçlü ve yoğun bir ortak yazarlık yapısına sahipken, yeşil küme daha küçük ve görece bağımsız bir araştırma grubunu temsil etmektedir. Girma Atkilt kırmızı ve yeşil kümeler arasında bağlantı kurarak 13 adet iş birliğinde bulunan yazar olarak ön plana çıkmıştır. Bu durum, Girma Atkilt'in, farklı araştırma grupları arasındaki bilgi ve akademik etkileşimin sağlanmasında bir köprü yazar olduğunu göstermektedir (Görsel 12).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 12. WoS veri tabanında yayın yapan kurumların ağ diyagramı

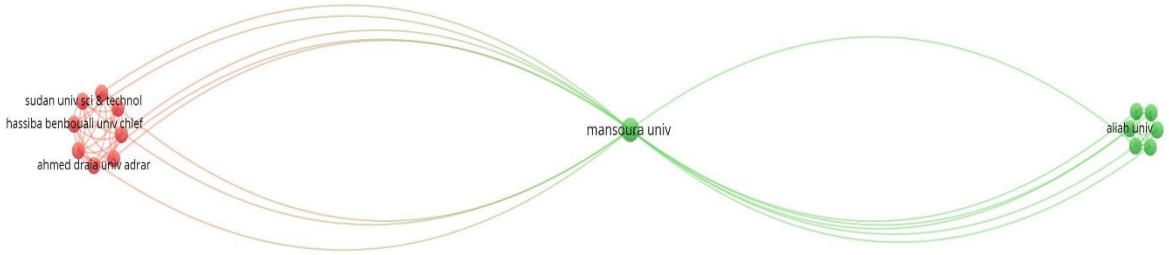
Uluslararası iş birliği ağı incelendiğinde; sağ-orta kısmında sarı-yeşil renkle temsil edilen Çin, ağdaki en büyük ve en merkezi düğümlerden birini oluşturmuştur. Hem doğusundaki ülkelerle (Etiyopya, Hırvatistan) hem de batısındaki ana kümelerle (İran, Hindistan vb.) güçlü köprü bağlantılarına sahiptir. İran, kırmızı kümenin merkezinde yer alan düğümü oluşturarak, ekoturizm ve AHP entegrasyonunda küresel ölçekte en üretken ülkelerden biri olarak öne çıkmıştır. Mor kümenin merkezinde yer alan Hindistan ise hem batı hem doğu blokları arasında önemli bir geçiş noktası rolü üstlenmiştir (Görsel 13).



Görsel 13. Uluslararası iş birliği ağı

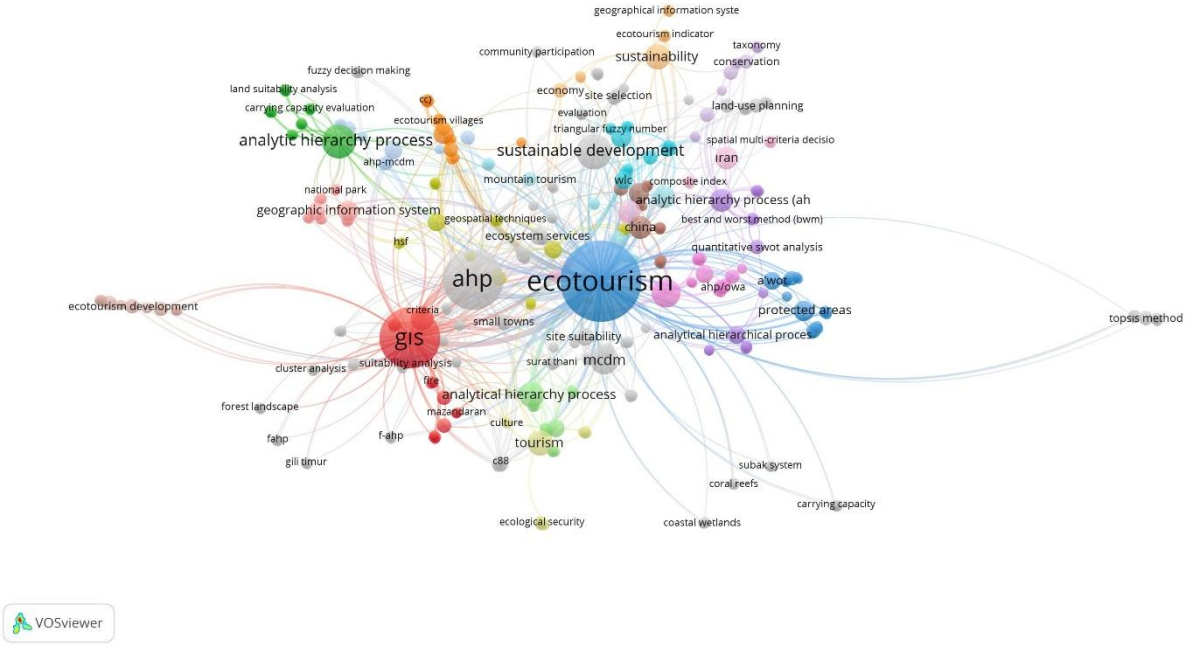
Kurumsal iş birliği ağı Görsel 14. de sunulmuştur. Ağ incelendiğinde; iki ana kümenin tek bir merkez üniversite üzerinden birbirine bağlandığı bir yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ağın tam merkezinde yer alan yeşil renkli Mansoura Üniversitesi (Mısır) 14 adet iş birliği ile, sol taraftaki Cezayir-Sudan (kırmızı) kümesi ile sağ taraftaki Hindistan (yeşil) kümesini birbirine bağlayan bir köprü rolü oluşturmuştur (Görsel 14).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Görsel 14. Kurum iş birliği ağı

Anahtar kelimeler, makalelerin ana içeriğini yansıtan temel bilgileri ortaya koymada etkilidirler (Yan ve Zhiping, 2023). Dolayısıyla; anahtar kelime eş-görünüm haritası ile, ekoturizmde AHP konulu akademik literatürün kavramsal yapısı, alt araştırma temaları ile bu temaların birbiriyle olan entegrasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan anahtar kelimeler incelendiğinde; "ekoturizm, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP" ağın omurgasını oluşturan ve en yüksek yoğunluğa sahip üç ana kavramı oluşturmuştur (Görsel 15).



Görsel 15. Anahtar kelime eş oluşum analizi

Görsel 15'e göre; farklı renklerle gruplandırılmış, ekoturizm ve AHP kesişimindeki ana araştırma eğilimlerini gösteren belirgin tematik kümeler bulunmaktadır. Uygunluk analizi, CBS, milli park ve arazi uygunluk analizi kavramlarından oluşan kırmızı ve yeşil küme; ekoturizm alanlarının belirlenmesi, milli parkların planlanması ve arazi kullanım uygunluğunun değerlendirilmesi süreçlerinde CBS tabanlı mekânsal analizlerin baskın bir yaklaşım olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Pembe, mor & gri kümede ise; Çok Kriterli Karar Verme ve Yöntemlerini içeren kavramlarının yoğunlaştığı saptanmıştır. Bu durum, ekoturizm

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

destinasyonlarının stratejik planlamasında AHP'nin nitel ve nicel analizleri birleştirmek için sıklıkla kullanıldığını göstermektedir. Açık mavi & sarı kümede ise; sürdürülebilir kalkınma, ekosistem hizmetleri, taşıma kapasitesi değerlendirmesi ve koruma kavramları dikkat çekmektedir. Bu durum, AHP metodolojisinin yalnızca ekonomik veya mekansal değil, ekolojik koruma dengesi ve toplumsal katılım boyutlarını ölçmek için de bir araç olarak tercih edildiğini ortaya koymaktadır.

3.6. Atıf Analizi

Çizelge 1, WoS'ta ekoturizmde AHP araştırmaları üzerine en çok alıntı yapılan 10 makaleyi göstermektedir. Buna göre, Zabihi vd.'nin hazırladıkları 2020 yılında yayımlanan "Study on the rural ecotourism resource evaluation system" başlıklı çalışma ilgili konudaki en fazla atıf alan çalışma olmuştur. "Environment, Development and Sustainability" en çok atıf alan dergi (120 adet) olurken, 2020 en fazla alıntının (247 adet) yapıldığı yıl olmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. WoS'ta Ekoturizmde AHP araştırmaları üzerine en çok alıntı yapılan makaleler

Yazar(lar)	Yıl	Dergi	Toplam atıf	Yıllık ort. atıf
Zabihi, vd.	2020	Tourism Management Perspectives	97	13.86
Jeong, vd.	2014	Land Use Policy	88	6.77
Kumari, vd.	2010	Tropical Ecology	75	4.41
Gebre, vd.	2021	Int. Soil and Water Conservation Research	69	11.50
Chaudhary, vd.	2022	Environment, Development and Sustainability	69	11.50
Çetinkaya, vd.	2018	Kybernetes	57	6.33
Mansour, vd.,	2020	Journal of Ecotourism	56	8.00
Acharya, vd.,	2022	Sustainability	54	10.80
Sahani,	2020	Environment, Development and Sustainability	51	7.29
Xiang, vd.,	2020	Environmental Technology & Innovation	45	6.43

Ekoturizm alanında en çok atıf alan çalışmalar incelendiğinde, konunun salt bir turizm potansiyeli çerçevesinde değerlendirilmesinin yanı sıra; koruma-kullanma dengesini gözeten çok boyutlu bir mekânsal planlama çerçevesinde değerlendirildiğini göstermektedir. Özellikle de ilgili çalışmaların dağlık ekosistemler (Himalayalar), ada/kıyı şeritleri ve kırsal yerleşim baskısı altındaki hassas alanlarda yoğunlaştığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bildiri kapsamında; WoS veri tabanında başlık alanında yer alan ekoturizmde AHP kullanımı ile ilgili çalışmaların bibliyometrik analiz yoluyla bütünsel bir profili ortaya konulmuştur. Bulgular çerçevesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddelenmiştir.

- Yayın sayısındaki artış trendine bağlı olarak, ilgili konunun keşif aşamasından gelişim gösteren çok disiplinli bir alana doğru ilerlediği saptanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

- Konuyla ilgili önde gelen dergiler arasında "Sustainability yer alırken, "Environmental Development and Sustainability" atıf etkisi açısından lider konumda olmuştur.
- Çin, ilgili konuda yayın sayısı ve finansman desteği bakımından en üretken ülke konumunda yer alırken, alanda Asya konumlu ülkelerin ağırlıklı olarak yer aldığı gözlemlenmiştir. Çin, İran ve Hindistan uluslararası iş birliği ağlarında öncü olarak rol üstlenmişlerdir.
- Yöntemin özellikle çevre bilimleri, sürdürülebilirlik, coğrafya ve uzaktan algılama gibi alanlarla birlikte kullanılması, ekoturizm planlama ve alan uygunluğu çalışmalarında çok kriterli ve mekânsal değerlendirme yaklaşımlarının önem kazandığını ortaya koymaktadır.
- Konunun, teknik, analitik ve metodolojik boyutu ile SCI + SSCI indekslerde kabul görerek, sürdürülebilir kalkınma ve planlamaya dayanan disiplinler arası bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.
- Ekoturizmde AHP odaklı çalışmaların uluslararası iş birliği yapısı, Çin ve İran'ın liderlik ettiği çift merkezli bir yapı oluşturmuştur.
- Anahtar kelimeler, ekoturizm uygunluk analizlerinde AHP ve CBS'nin araştırma alanının temel metodolojik eksenini oluşturduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, ekoturizmde AHP kullanımı konusunun; doğa koruma, taşıma kapasitesi, milli park yönetimi ve CBS destekli arazi planlaması gibi çevre odaklı ve mekânsal mühendislik gerektiren alanlarda da ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, ekoturizmde AHP kullanımına yönelik araştırmaların; sürdürülebilirlik, koruma, arazi kullanım planlaması ve taşıma kapasitesini bütünleştiren mekânsal planlama süreçlerine odaklandığını ortaya koymaktadır.

Çalışma sonuçları; ekoturizm araştırmalarında AHP'nin kullanımına ilişkin bilimsel literatürün gelişiminde mevcut duruma yönelik önceliklerin belirlenmesi ve gelecekteki araştırmalar için de çerçeve oluşturulmasına yönelik bir referans görevi sağlayacaktır. Bununla birlikte, bibliyometrik verilerin; kullanılan veri tabanı, arama kriteri ve alanına bağlı olarak sürekli olarak güncelleneceği göz önüne alındığında, burada sunulan sonuçların zaman içinde değişebileceği göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] Abtahee, M., Islam, A.A., Haque, N., Zonaed, H., Ritu, S.M., Islam, E., Zaman, A. (2023). Mapping Ecotourism Potential in Bangladesh: The Integration of an Analytical Hierarchy Algorithm and Geospatial Data. *Sustainability*, 15(15), 11522. https://doi.org/10.3390/su151511522

[2] Acharya, A., Mondal, B.K., Bhadra, T., Abdelrahman, K., Mishra, P.K., Tiwari, A., Das, R., (2022). Geospatial Analysis of Geo-Ecotourism Site Suitability Using AHP and GIS for Sustainable and Resilient Tourism Planning in West Bengal, India. *Sustainability*, 14(4), 2422. https://doi.org/ 10.3390/ su14042422.

[3] Ali, Z., Makian, S., Ashfaq, S., Nasir, M.J., Tufail, M. (2026). Geo spatial assessment of ecotourism suitability using GIS based AHP and its socio economic and environmental impacts in Chitral, Pakistan. *Discover Environment*, 4(193), 1-28. https://doi.org/10.1007/s44274-026-00704-5.

[4] Amsalu, A., Tizazu, A., Tefera, E.B., Zerssa, G.W., Gemeda, D.O. (2026). Spatial assessment of ecotourism potential in the Kafa Biosphere Reserve, Ethiopia: A GIS-based multi-criteria decision analysis. *Scientific African*, 33, e03477, https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2026.e03477.

[5] Bhunia U, Singh AK. Integrated geospatial analysis for ecotourism potential: a study of Jhargram District using geographic information systems and analytical hierarchy process. *Int J Geoherit Parks*. 13(4), 561–78. https://doi.org/ 10.1016/ J.IJGEOP.2025.10.003

[6] Bunruamkaew K, Murayama Y. 2011. Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS and AHP: A Case Study of Surat Thani Province, Thailand. *Procedia Soc Behav Sci.*, 21, 269–278.

[7] Chaudhary, S., Kumar, A., Pramanik, M., Negi, MS. (2022). Land Evaluation and Sustainable Development of Ecotourism in the Garhwal Himalayan Region Using Geospatial Technology and Analytical Hierarchy Process. *Envıronment Development and Sustaınabılıty,* 24(2), 2225-2266. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 2225–2266. https://doi.org/10.1007/ s10668-021-01528-4.

[8] Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M., Özceylan, E. (2018). Evaluation of Ecotourism Sites: A GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Kybernetes*, 47(8), 1664-1686. https://doi.org/10.1108/K-10-2017-0392.

[9] Fadafan, F.K., Soffianian, A., Pourmanafi, S., Morgan, M., (2022). Assessing Ecotourism in A Mountainous Landscape Using GIS–MCDA Approaches. *Appl. Geogr.*, 147. https://doi.org/10274310.1016/ j.apgeog.2022.102743.

[10] Gebre, SL., Cattrysse, D., Alemayehu, E., Van Orshoven, J. (2021). Multi-criteria Decision Making Methods to Address Rural Land Allocation Problems: A Systematic Review. *Internatıonal Soıl And Water Conservatıon Research*, 9(4), 490-501. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.005.

[11] Gong, R., Xue, J., Zhao, L., Zolotova, O., Ji, X., Xu, Y. (2019). A Bibliometric Analysis of Green Supply Chain Management Based on the Web of Science (WOS) platform. *Sustainability*, 11(12), 3459. https://doi.org/10.3390/su11123459.

[12] Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., Jaraíz-Cabanillas, F.J. (2014). An Operational Method to Supporting Siting Decisions for Sustainable Rural Second Home Planning in Ecotourism Sites. *Land Use Polıcy*, 41, 550-560. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.012.

[13] Kolcha, T., Biazen, M., Girma, Z. (2025). Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP) in Aroresa and Chire Districts, Southern Ethiopia. *Int J Geoherit Parks*., 13(4), 601–15. https://doi.org/10.1016/J.IJGEOP.2025.12.00.

[14] Kumari, S., Behera, M. D., & Tewari, H. R. (2010). Identification of potential ecotourism sites in West District, Sikkim using geospatial tools. *Tropical Ecology*, 51(1), 75–85. 10.5555/20103030865.

[15] Lyu, P., Liu, X., Yao, T. (2026). A bibliometric analysis of literature on bibliometrics in recent half-century. Journal of Information Science, 52(2): 324-344. https://doi.org/ https://doi.org/ 0.1177/ 01655515231191233.

[16] Mankelkelot, T.K., Ayele, NA, Ayele, M., Tenzer, R. (2026). Integrating GIS and AHP for Sustainable Ecotourism Site Suitability Analysis: A Case Study of Bahir Dar, Ethiopia. *Scientific Reports*, 16, 10261. https://doi.org/10.1038/s41598-026-41548-6.

[17] Mansour, S., Al-Awhadi, T., Al-Hatrushi, S. (2020). Geospatial Based Multi-Criteria Analysis for Ecotourism Land Suitability Using GIS & AHP: A Case Study of Masirah Island,

Oman. *Journal of Ecotourısm*, 19(2), 148-167. https://doi.org/ 10.1080/14724049.2019.1663202.

[18] Mobaraki O., Abdollahzadeh M., Kamelifar Z., (2014). Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS and AHP: A Case Study of Isfahan Townships, Iran, *Management Science Letters*. 4(8), 1893–1898, https://doi.org/ 10.5267/ j.msl.2014.6.038.

[18] Nahuelhual L., Carmona A., Lozada P., Jaramillo A., Aguayo M., (2013). Mapping Recreation and Ecotourism As A Cultural Ecosystem Service: An Application at the Local Level in Southern Chile, *Applied Geography*. 40, 71 82, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.004, 2-s2.0-84875073021.

[19] Saaty, RW. (1987). The Analytic Hierarchy Process-What it is and How it is Used. *Math Model*. 9(3–5), 161–76. https:// doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8. 26.

[20] Saaty, TL. (1990). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Eur J Oper Res.*, 48(1), 9–26. https://doi. org/10.1016/0377-2217(90)90057-I.

[21] Sahahiri, R.M., Alattas, A., Fallatah, A., Mandourah, A. (2026). Spatial Multi-Criteria Evaluation of Ecotourism Route Suitability. *Geographies*, 6, 23. https://doi.org/10.3390/geographies6010023.

[22] Sahani, N. (2020). Application of Analytical Hierarchy Process and GIS for Ecotourism Potentiality Mapping in Kullu District, Himachal Pradesh, India. *Envıronment Development and Sustaınabılıty,* 22(7), 6187-6211. https://doi.org/ 10.1007/s10668-019-00470-w.

[23] Salazar, M.F.B., Baraibar-Diez, E., Agudo, J.C., (2026). Exploring the Tourism Sustainability Knowledge Network Through Bibliometric Analysis and a Computational Literature Review. *International Journal of Tourism Research,* 28(3), e70365. https://doi.org/10.1002/jtr.70365.

[24] Ullah, K.M., Hafiz, R., (2014). Finding Suitable Locations for Ecotourism Development in Cox's Bazar Using Geographical Information System and Analytical Hierarchy Process, 256-267. https:// doi.org/10.1080/ 10106049. 2012.760005.

[25] Wu X, Qiao S, Tan Q (2022) Destination Management for Ecotourism Activity Using Analytical Hierarchy Process. *Sci Program*, 2022 (1), 4143060. https://doi.org/10.1155/2022/4143060.

[26] Xiang, C., Qin, J.X., Yin, L. (2020). Study on the Rural Ecotourism Resource Evaluation System. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101131. https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101131.

[27] Yan, L., Zhiping, W. (2023). Mapping the Literature on Academic Publishing: A Bibliometric Analysis on WOS. *SAGE Open.* 13(1), 1-16. https://doi.org/ 10.1177/21582440231158562.

[28] Zabihi, H., Alizadeh, M., Wolf, I.D., Karami, M., Ahmad, A., Alizadeh, H. (2020). A GIS-based Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (F-AHP) for Ecotourism Suitability Decision Making: A Case Study of Babol in Iran. *Tourısm Management Perspectıves*. 36, 100726. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100726.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

SICAKLIK, HAVA KİRLİLİĞİ VE RUH SAĞLIĞI: PSİKİYATRİK REFAHI TEHDİT EDEN YENİ ÇEVRESEL TEHDİTLER

Doç. Dr. Çiçek EDİZ

Çukurova Üniversitesi, E-mail: cicekediz@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9717-1839

Doç. Dr. Derya YANIK

Batman Üniversitesi, E-mail: d.oruclu@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8004-6786

ÖZET

İklim değişikliği ve hava kirliliği, ruh sağlığının yeterince ele alınmamış belirleyicileri olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Küresel sıcaklıkların artması, sıcak hava dalgalarının daha sık ve şiddetli hale gelmesi ve partikül ve gaz halindeki hava kirleticilerine kronik maruz kalma, çeşitli psikiyatrik sorunlarla ilişkilendirilmektedir. Bu sorunlar arasında majör depresif bozukluk, anksiyete bozuklukları, şizofreni spektrum bozuklukları, intihar düşüncesi ve intihar vakalarının yanı sıra mevcut psikiyatrik hastalıkların alevlenmesi yer almaktadır. Bu derleme, hava sıcaklığı ile hava kirliliğini psikiyatrik morbiditeyle ilişkilendiren güncel epidemiyolojik, klinik ve kanıtları bir araya getirmektedir. Yüksek sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları, psikiyatri servisine yatışlarda, acil servise başvurularda ve intihar oranlarında artışla ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki belirli sıcaklık eşiklerinin üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hava kirleticileri özellikle ince partikül madde (PM2,5), azot dioksit (NO_2) ve kükürt dioksit (SO_2) sistemik inflamasyon, oksidatif stres, nöroinflamasyon ve kan-beyin bariyerinin bozulması gibi mekanizmalar yoluyla depresyon, psikotik bozukluklar ve nörobilişsel gerileme ile ilişkilendirilmiştir. Çocuklar, yaşlılar, önceden var olan psikiyatrik veya nörobilişsel bozuklukları olan bireyler ve sosyoekonomik açıdan dezavantajlı gruplar, orantısız bir şekilde etkilenmektedir. Hızla artan kanıt tabanına rağmen, metodolojik ve müdahale çalışmalarının yetersizliği kesin sonuçlara varılmasını sınırlamaktadır. Bu bulgular doğrultusunda, çevresel maruziyetlerin psikiyatrik etiyoloji ve klinik risk değerlendirmesine sistematik olarak entegre edilmesi ve iklim değişikliğine duyarlı toplum ruh sağlığı politikalarının geliştirilmesi önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, hava sıcaklığı, hava kirliliği, ruh sağlığı, psikiyatri, çevresel psikiyatri, intihar riski

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TEMPERATURE, AIR POLLUTION, AND MENTAL HEALTH: NEW ENVIRONMENTAL THREATS TO PSYCHIATRIC WELL-BEING

ABSTRACT

Climate change and air pollution are increasingly recognized as under-addressed determinants of mental health. Rising global temperatures, more frequent and severe heat waves, and chronic exposure to particulate and gaseous air pollutants have been linked to various psychiatric disorders. These issues include major depressive disorder, anxiety disorders, schizophrenia spectrum disorders, suicidal ideation, and suicide, as well as the exacerbation of existing psychiatric illnesses. This review synthesizes current epidemiological, clinical, and evidence-based data linking air temperature and air pollution to psychiatric morbidity. High temperatures and heat waves have been associated with increases in psychiatric hospitalizations, emergency department visits, and suicide rates. This association is most pronounced above certain temperature thresholds. Air pollutants—particularly fine particulate matter (PM2.5), nitrogen dioxide (NO_2), and sulfur dioxide (SO_2)—have been linked to depression, psychotic disorders, and neurocognitive decline through mechanisms such as systemic inflammation, oxidative stress, neuroinflammation, and disruption of the blood-brain barrier. Children, the elderly, individuals with pre-existing psychiatric or neurocognitive disorders, and socioeconomically disadvantaged groups are disproportionately affected. Despite a rapidly growing body of evidence, the lack of methodological and intervention studies limits the ability to draw definitive conclusions. In light of these findings, the systematic integration of environmental exposures into psychiatric etiology and clinical risk assessment, as well as the development of climate-sensitive public mental health policies, emerge as critical necessities.

Keywords: Climate change, air temperature, air pollution, mental health, psychiatry, environmental psychiatry, suicide risk

1. GİRİŞ

Son yirmi yılda küresel ruh sağlığı yükü artmaya devam etmektedir. Giderek artan araştırmalar, özellikle hava sıcaklığı ve hava kirliliği gibi çevresel maruziyetleri bu yükün bağımsız ve değiştirilebilir risk faktörleri olarak tanımlamaktadır. Tarihsel olarak, psikiyatrik epidemiyoloji ruhsal hastalıkların genetik, psikososyal ve sosyoekonomik belirleyicilerini vurgulamış, buna karşın çevresel ve iklimsel faktörlere nispeten daha az ilgi gösterilmiştir. Bu durum içinde bulunduğumuz iklim değişikliği çağında hızla değişmektedir. Küresel ısınmayla bağlantılı iklim kaynaklı tehlikeler 1970'lerden bu yana belirgin şekilde yoğunlaşmıştır ve hava kirliliği, dünya çapında hastalık yükü açısından önde gelen çevresel risk faktörlerinden biri olmaya başlamıştır (Cuijpers ve ark., 2023; Radua ve ark., 2024). Her iki maruziyet de birbiriyle örtüşen biyolojik yolaklar üzerinde etki göstermekte ve halihazırda yapısal olarak dezavantajlı durumda olan nüfus gruplarını orantısız bir şekilde etkilemektedir (Tota ve ark., 2024)

Bu derlemenin amacı, hava sıcaklığı ve hava kirliliği ile psikiyatrik sonuçlar arasındaki ilişkilere ilişkin mevcut kanıtları gözden geçirmek ve sentezlemektir. Ayrıca, yüksek riskli

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

grupları belirleyerek, elde edilen kanıtların klinik psikiyatri, ruh sağlığı hizmetlerinin planlanması ve çevre politikaları açısından etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. HAVA SICAKLIĞI VE PSİKİYATRİK SONUÇLAR

Yükselen hava sıcaklığı ile sıcaklık değişkenliğinin ruh sağlığı sonuçlarının kötüleşmesiyle bağlantılı olduğunu gösteren önemli ve giderek artan bir kanıt literatürü bulunmaktadır (Xue ve ark., 2019; Thompson ve ark., 2023). Sistematik incelemeler ve meta-analizler, ortalama sıcaklıktaki artışların ve sıcaklık değişkenliğinin artmasının, daha yüksek intihar ve intihar davranışı oranları, ruhsal hastalıklar nedeniyle hastaneye başvuru ve yatış sayılarında artış ve toplum refahında daha geniş çaplı düşüşlerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Thompson ve ark., 2023). Bu ilişkiler, birçok coğrafi ve iklimsel ortamlarda gözlemlenmiştir. Bu da söz konusu ilişkinin sadece belirli bir nüfus veya bölgeye özgü bir durum olmadığını göstermektedir (Xue ve ark., 2019). ABD'de 2,2 milyondan fazla yetişkin ve yaklaşık 3,5 milyon acil servis başvurusunun incelendiği geniş ölçekli bir çalışmada, aşırı sıcak günlerin herhangi bir ruhsal bozukluk nedeniyle acil servis başvurularında %8 artışla ilişkili olduğu; benzer artışların madde kullanım bozuklukları, anksiyete ve stresle ilişkili bozukluklar, duygudurum bozuklukları, şizofreni spektrumu bozuklukları ve kendine zarar verme ile ilişkili bozukluklarda da görüldüğü bildirilmiştir (Nori-Sarma ve ark., 2022). 144 çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizde, sıcak hava dalgalarının psikiyatrik nedenlerle hastaneye başvuru veya yatış insidansında %9,7 artışla ilişkili olduğu bulunmuştur (Thompson ve ark., 2023).

Türkiye'de sıcaklık ve sağlık arasındaki ilişkiye yönelik araştırmalar son yıllarda artmakla birlikte, ruh sağlığına ilişkin kanıtlar hâlen sınırlıdır. Türkiye genelinde 2007-2022 yıllarındaki intiharların incelendiği yakın tarihli bir çalışmada, ortam sıcaklığı ve mevsimsel sıcaklık farklılıklarının bazı yaş grupları ve intihar yöntemleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Demir ve ark., 2026). Psikiyatrik yatışları doğrudan değerlendiren Yazla ve arkadaşları (2026), Çorum'da bipolar bozukluk atakları nedeniyle gerçekleşen psikiyatri servisi yatışlarının Nisan-Kasım ayları arasında arttığını ve yatışların daha fazla olduğu aylarda ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ortalama sıcaklık, bipolar bozukluk nedeniyle yatış sıklığını ayırt eden anlamlı bir değişken olarak belirlenmiştir (Yazla ve ark., 2026).

Sıcak hava dalgaları, özellikle akut bir risk dönemi olarak görünmektedir. Birçok çalışma, aşırı sıcak dönemlerinde psikiyatri acil servis başvurularında ve hastaneye yatışlarda ölçülebilir artışlar olduğunu bildirmektedir (Thompson ve ark., 2018; Cianconi ve ark., 2020; Thompson ve ark., 2023). Bu ilişki genellikle doğrusal olmayan bir şekilde tanımlanmaktadır: risk, tüm sıcaklık aralığı boyunca istikrarlı bir şekilde artmak yerine, sıcaklıklar belirli eşikleri aştığında orantısız bir şekilde artmaktadır (Thompson ve ark., 2018). Ülkeler arası analizler de benzer şekilde, bu eşiklerin üzerinde ruh sağlığı ile ilgili morbidite insidansının keskin bir şekilde hızlandığını ortaya koymuştur (Thompson ve ark., 2023). Akut sıcaklık olaylarının ötesinde, uzun süreli kuraklık ve olağandışı derecede düşük veya yüksek sıcaklıkların uzun süre devam etmesi gibi kronik veya yavaş başlangıçlı iklimsel stres faktörleri de duyarlı bireylerde bazen literatürde "meteoropati" veya artmış meteorosensitivite olarak tanımlanan bir fenomen olan

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ruh hali bozukluğu, sinirlilik ve artmış anksiyete gibi olumsuz psikolojik sonuçlarla ilişkilendirilmiştir (Cianconi ve ark., 2020).

İntihar riski, ciddiyeti ve halk sağlığı açısından önemi nedeniyle özellikle vurgulanmayı hak etmektedir. Çok sayıda sistematik derleme, artan hava sıcaklığı ve bazı analizlerde daha uzun güneş ışığı süresi ile intihar riski arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmektedir. Bu ilişki, tüm çalışmalarda olmasa da birçoğunda mevsimsel ve uzun vadeli eğilimler için düzeltme yapıldıktan sonra da devam etmektedir (Gao ve ark., 2019; Heo ve ark., 2021). Bir bütün olarak değerlendirildiğinde, bu kanıtlar hava sıcaklığını önemsiz bir çevresel rahatsızlık olarak değil, psikiyatrinin en ciddi sonuçlarından bazıları için ölçülebilir ve değiştirilebilir bir risk faktörü olarak konumlandırmaktadır (Thompson ve ark., 2023).

3. HAVA KİRLİLİĞİ VE PSİKİYATRİK SONUÇLAR

Hava kirliliği, uzun süredir solunum ve kardiyovasküler hastalıkların başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ancak ruh sağlığıyla olan ilişkisi, son zamanlarda ciddi bilimsel ilgi görmeye başlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri ve Danimarka'da yürütülen geniş çaplı nüfus temelli çalışmalar, yüksek düzeyde hava kirliliğine maruz kalmanın, depresyon, şizofreni, bipolar bozukluk ve kişilik bozukluğu dahil olmak üzere bir dizi psikiyatrik bozukluğun risk artışıyla anlamlı bir şekilde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Batool ve ark., 2025). İnce partikül madde (PM2,5), kaba partikül madde (PM10), azot dioksit (NO2), kükürt dioksit (SO2) ve karbon monoksit (CO) bu durumla ilişkilendirilmiştir. İncelenen literatürde PM2,5, NO2 ve SO2'nin anksiyete, psikotik belirtiler ve depresif belirtilerin alevlenmesiyle ilişkili olduğu görülmüştür (Cuijpers ve ark., 2023; Tota ve ark., 2024).

Beyin gelişiminin kritik dönemlerinin, havadaki toksik maddelere karşı artan fizyolojik duyarlılıkla çakıştığı göz önüne alındığında, çocuklar ve ergenler özellikle savunmasız bir grubu oluşturuyor gibi görünmektedir (Batool ve ark., 2025). Pediatrik popülasyonlara odaklanan derlemeler, hava kirliliğine maruz kalma ile depresif belirtiler ve intihar davranışları riskindeki artış arasında bir ilişki olduğunu (Batool ve ark., 2025) ve ayrıca ortamdaki kirletici konsantrasyonlarındaki kısa vadeli artışları, çocuk ve ergenlerde ruh sağlığı şikayetleri nedeniyle acil servise başvuruların ölçülebilir bir artışla ilişkilendiren zaman serisi kanıtlarını rapor etmektedir (Wang ve ark, 2007). Nöro-görüntüleme çalışmaları bu epidemiyolojik bulguları desteklemekte ve hava kirliliğine maruz kalma ile ilişkili yapısal ve işlevsel beyin değişikliklerini, özellikle de duygusal düzenleme, hafıza ve yürütücü işlevlerin merkezinde yer alan hipokampus, amigdala ve prefrontal korteks bölgelerinde bildirmektedir (Batool ve ark., 2025). Bu beyin bölgelerini inceleyen yüzden fazla çalışmanın yer aldığı yakın tarihli bir derlemede, çalışmaların çoğunun hem insan hem de hayvan modellerinde, daha yüksek kirletici konsantrasyonlarına maruz kalmanın ardından artmış ruh sağlığı belirtileri veya değişmiş duygusal davranışlar bildirdiği saptanmıştır (Batool ve ark., 2025).

Duygudurum ve psikotik bozuklukların ötesinde, hava kirliliği aynı zamanda demans ve Alzheimer hastalığı riskinde artış, genel olarak psikolojik sıkıntı ve algılanan stresin artması ve akut kirlilik zirveleri sırasında önceden ciddi ruhsal hastalığı olan bireylerde kısa vadeli ölüm riskinin artmasıyla da ilişkilendirilmiştir (Batool ve ark., 2025). Genel olarak bakıldığında, bu bulgular hava kirliliğinin psikiyatrik etkilerinin, doğum öncesi ve erken çocukluk dönemindeki

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

nöro-gelişimden yetişkinlikteki duygudurum ve psikotik bozukluklara, hatta yaşamın son dönemlerindeki nörobilişsel gerilemeye kadar yaşamın tüm aşamalarını kapsadığını göstermektedir (Radua ve ark., 2024; Batool ve ark., 2025).

4. RİSK ALTINDAKİ GRUPLAR

Sıcaklık ve hava kirliliğinin psikiyatrik etkileri, nüfus genelinde eşit bir şekilde dağılmamaktadır. Yaşlılar, özellikle de ciddi nörobilişsel bozuklukları veya önceden var olan psikiyatrik hastalıkları olanlar, yüksek sıcaklıklara ve artmış hava kirliliğine maruz kaldıktan sonra psikiyatri hastanelerine yatış riskinde önemli ölçüde artışla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, yaşa bağlı termoregülasyon kapasitesindeki azalma, çoklu ilaç kullanımı ve fizyolojik dayanıklılığın azalmasını yansıtıyor olabilir (Mehta ve ark., 2024). Çocuklar ve ergenler, devam eden nörogelişim, vücut ağırlığı birimi başına daha yüksek göreceli solunum maruziyeti ve maruziyetten kaçınmaya yönelik sınırlı davranışsal kapasite nedeniyle ikinci bir yüksek risk grubunu oluşturmaktadır (Wang ve ark, 2007; Batool ve ark., 2025).

Önceden ciddi ruhsal hastalığı olan bireyler, hem psikotrop ilaçların ısı düzenlemesini bozabilmesi hem de kirlilik zirvelerine akut maruz kalmanın bu popülasyonda kısa vadeli ölüm oranının artmasıyla ilişkilendirilmesi nedeniyle üçüncü bir savunmasız grubu oluşturmaktadır (Mehta ve ark., 2024; Batool ve ark., 2025). Son olarak, sosyoekonomik açıdan dezavantajlı topluluklar, yetersiz konut yalıtımı, soğutma imkânlarına sınırlı erişim ve kentsel ısı adası etkileri gibi faktörler nedeniyle aşırı sıcağa ve genellikle endüstriyel veya yoğun trafikli bölgelere yakın olmalarının bir sonucu olarak hava kirliliğine orantısız bir şekilde yüksek düzeyde maruz kalmaktadır. Bu durum, mevcut sağlık eşitsizliklerini daha da ağırlaştırmaktadır (Cuijpers ve ark., 2023; Fenton ve ark., 2025). Bu nedenle, ruh sağlığına yönelik bu çevresel tehditlerin ele alınması, sağlığın sosyal ve ekonomik belirleyicilerini ele almaya yönelik daha geniş kapsamlı çabalardan ayrı düşünülemez (Fenton ve ark., 2025).

5. KLİNİK UYGULAMA VE TOPLUM RUH SAĞLIĞI POLİTİKASI AÇISINDAN SONUÇLAR

Yukarıda özetlenen kanıtlar, psikiyatri uygulamaları ve halk sağlığı politikası açısından çeşitli sonuçlar doğurmaktadır. Klinik açıdan, psikiyatri hemşireleri ve diğer ruh sağlığı uzmanları, savunmasız hastaların risk değerlendirmelerinde yerel sıcaklık ve hava kalitesi koşullarını dikkate almalıdır. Özellikle sıcak hava dalgaları ve yoğun hava kirliliği dönemlerinde, bilişsel bozukluğu olan yaşlı yetişkinler ve şiddetli ruhsal hastalığı olan bireyler daha yakından izlenmelidir. Bu dönemlerde yüksek riskli hastalarla proaktif iletişim kurulması da yararlı olabilir.

Sistem düzeyinde ise, ruh sağlığı hizmetleri, aşırı hava olayları sırasında psikiyatrik acil servislerin kapasite artırımı konusuna dikkat edilerek, iklim ve çevre sağlığı acil durum hazırlık planlamasına entegre edilmelidir (Mehta ve ark., 2024). Politika düzeyinde, kanıta dayalı bulgular, hava kalitesi düzenlemelerine ve kentsel ısı etkisinin azaltılmasına (örneğin, yeşil alanların genişletilmesi, bina tasarımının iyileştirilmesi ve soğutma altyapısına eşit erişim) yönelik yatırımların, yalnızca solunum veya kardiyovasküler hastalıkları hedefleyen önlemler olarak değil, başlı başına birer toplumm ruh sağlığı müdahalesi olarak sürdürülmesini desteklemektedir (Cuijpers ve ark., 2023; Fenton ve ark., 2025). Bireysel klinik tedavilerin yanı

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

sıra, sosyal bağları ve psikososyal desteği güçlendiren toplum temelli ve önleyici yaklaşımlar da önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlar, iklimle ilişkili ruh sağlığı risklerinin yönetiminde yalnızca bireysel ve hastalık odaklı modellere kıyasla daha kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (Cianconi ve ark., 2020).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıcaklık ve hava kirliliği, depresyon, anksiyete, psikotik bozukluklar, intihar davranışı ve nörobilişsel gerileme gibi durumlarla bağlantıları olan, psikiyatrik sağlığa yönelik ölçülebilir ve değiştirilebilir tehditler olarak ortaya çıkmaktadır (Thompson ve ark., 2023; Cuijpers ve ark., 2023; Radua ve ark., 2024; Batool ve ark., 2025). Önerilen mekanizmalar arasında nöroinflamasyon, oksidatif stres, kan-beyin bariyerinin bozulması, epigenetik düzensizlik, uyku bozuklukları ve termoregülasyon bozuklukları yer almaktadır. Bu mekanizmalar, çevresel maruziyetler ile psikiyatrik sonuçlar arasındaki ilişki için biyolojik bir temel sunmaktadır (Tota ve ark., 2024). Buna karşın çocuklar, yaşlılar, önceden psikiyatrik hastalığı olan bireyler ve sosyoekonomik açıdan dezavantajlı gruplar, bu riskin orantısız bir kısmını üstlenmektedir (Wang ve ark, 2007; Batool ve ark., 2025; Mehta ve ark., 2024). İklim değişikliği aşırı sıcak olaylarının sıklığını ve şiddetini artırmaya devam ederken ve hava kirliliği kalıcı bir küresel sağlık tehlikesi olmaya devam ederken, psikiyatri, çevresel maruziyetleri etiyolojik modellerin, klinik risk değerlendirmesinin ve toplum ruh sağlığı planlamasının kenarından merkezine taşımalıdır (Fenton ve ark., 2025). Gelecekteki araştırmalar, psikiyatrik bakım ve halk sağlığı politikalarının bu genişleyen ve giderek daha acil hale gelen kanıt tabanına orantılı bir şekilde yanıt verebilmesi için, uzunlamasına ve yarı deneysel tasarımlara, birey düzeyinde maruz kalma değerlendirmesine ve uyum ve müdahale stratejilerinin değerlendirilmesine öncelik vermelidir (Radua ve ark., 2024)

KAYNAKÇA

Batool, M., Ullah, A. I., Rizvi, S. S. H., Ali, M., Noor, R., Ejaz, S., ... & Ali, R. (2025). Mental Health Impacts and Air Pollution in Pakistan: A Small-scale Cross-sectional Study of Awareness, Coping Strategies, and Mitigation Gaps. *The Open Public Health Journal, 18*(1). https://doi.org/10.2174/0118749445432039251027115224

Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review. *Frontiers in Psychiatry, 11*, 74. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00074

Cuijpers, P., Miguel, C., Ciharova, M., Kumar, M., Brander, L., Kumar, P., & Karyotaki, E. (2023). Impact of climate events, pollution, and green spaces on mental health: an umbrella review of meta-analyses. *Psychological Medicine, 53*(3), 638–653. https://doi.org/10.1017/S0033291722003890

Demir, U., Can, H. N., Utku, Z., Keskin, S., & Asirdizer, M. (2026). The influence of altitude and ambient temperatures on suicide deaths in Türkiye from 2007 to 2022. *East Journal of Medicine, 31*(1), 174–193. https://doi.org/10.5505/ejm.2026.09234

Fenton, A., Neiling, K., Goode, C. K., Win, R., & Cooper, N. (2025). Environmental drivers of mental health: a planetary health perspective. *The Journal for Nurse Practitioners, 21*(10), 105549. https://doi.org/10.1016/j.nurpra.2025.105549

Gao, J., Cheng, Q., Duan, J., Xu, Z., Bai, L., Zhang, Y., ... & Su, H. (2019). Ambient temperature, sunlight duration, and suicide: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment, 646*, 1021–1029. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.098

Heo, S., Lee, W., & Bell, M. L. (2021). Suicide and associations with air pollution and ambient temperature: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(14), 7699. https://doi.org/10.3390/ijerph18147699

Mehta, M. M., Johnson, A. E., Ratnakaran, B., Seritan, I., & Seritan, A. L. (2024). Climate change and aging: implications for psychiatric care. *Current Psychiatry Reports, 26*(10), 499–513. https://doi.org/10.1007/s11920-024-01525-0

Nori-Sarma, A., Sun, S., Sun, Y., Spangler, K. R., Oblath, R., Galea, S., Gradus, J. L., & Wellenius, G. A. (2022). Association between ambient heat and risk of emergency department visits for mental health among US adults, 2010 to 2019. *JAMA Psychiatry, 79*(4), 341–349. https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2021.4369

Radua, J., De Prisco, M., Oliva, V., Fico, G., Vieta, E., & Fusar-Poli, P. (2024). Impact of air pollution and climate change on mental health outcomes: an umbrella review of global evidence. *World Psychiatry, 23*(2), 244–256. https://doi.org/10.1002/wps.21219

Thompson, R., Hornigold, R., Page, L., & Waite, T. (2018). Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. *Public Health, 161*, 171–191. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.008

Thompson, R., Lawrance, E. L., Roberts, L. F., Grailey, K., Ashrafian, H., Maheswaran, H., Toledano, M. B., & Darzi, A. (2023). Ambient temperature and mental health: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health, 7*(7), e580–e589. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00104-3

Tota, M., Karska, J., Kowalski, S., Piątek, N., Pszczołowska, M., Mazur, K., & Piotrowski, P. (2024). Environmental pollution and extreme weather conditions: insights into the effect on mental health. *Frontiers in Psychiatry, 15*, 1389051. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1389051

Wang, S. Q., Zhang, J. L., Zeng, X. D., Zeng, Y. M., & Chen, S. Y. (2007). Effects of traffic exhausts on children's neurobehavioral functions scored by neurobehavioral evaluation methods in Quanzhou, Fujian province. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi, 28*(11), 1073–1076.

Xue, T., Zhu, T., Zheng, Y., & Zhang, Q. (2019). Declines in mental health associated with air pollution and temperature variability in China. *Nature Communications, 10*(1), 2165. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10196-y

Yazla, E., Aydınoğlu, Ü., Kör, H., & Akmeşe, Ö. F. (2026). Bipolar bozuklukta mevsimsel örüntüler: Psikiyatrik yatan hasta başvuruları ile hava durumu arasındaki ilişkinin retrospektif analizi. *Hitit Medical Journal, 8*(2), 248–258. https://doi.org/10.52827/hititmedj.1836599

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

İKLİM KRİZİNDE EKO-ÖFKE: ÇEVRESEL BOZULMAYA YÖNELİK DUYGUSAL BİR TEPKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Çiçek EDİZ

Çukurova Üniversitesi, E-mail: cicekediz@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9717-1839

Doç. Dr. Derya YANIK

Batman Üniversitesi, E-mail: d.oruclu@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8004-6786

ÖZET

İklim krizi şiddetlendikçe, çevresel bozulmaya yönelik olumsuz duygusal tepkiler de giderek daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır. Bu konuda araştırma literatüründe ve kamuoyundaki tartışmalarda kaygı ve keder daha çok ön plana çıkmaktadır. Bu derleme ise, nispeten ihmal edilmiş bir duygu olan "eko-öfke"ye odaklanmaktadır. Eko-öfke, genel olarak çevresel zarardan sorumlu olduğu düşünülen bireylere, kurumlara veya sistemlere yönelik hayal kırıklığı, kızgınlık veya ahlaki öfke olarak tanımlanmaktadır. Birleşen kanıtlar, ekolojik öfkenin ekolojik sıkıntının uyumsuz bir yan ürünü olarak işlev görmekten ziyade, daha iyi bilinen muadillerine kıyasla kendine özgü ve birçok açıdan daha işlevsel bir psikolojik niş işgal ettiğini göstermektedir. Ekolojik kaygı ve ekolojik üzüntüden farklı olarak, ekolojik öfkenin zaman içinde çevre dostu davranışlara katılımı güvenilir bir şekilde öngördüğü gösterilmiştir ve çeşitli nüfus çalışmalarında ruh sağlığı sonuçlarıyla daha olumsuz değil, daha olumlu bir korelasyon sergilemektedir. Bu derlemede, geniş ölçekli kesitsel araştırmalar, uzunlamasına deneyim örnekleme çalışmaları ve ölçek geliştirme araştırmalarından elde edilen güncel kanıtlar doğrultusunda eko-öfkenin yaygınlığı, yöneldiği hedefler, psikolojik ve davranışsal işlevleri ile değerlendirilme biçimleri ele alınmaktadır. Eko-öfke, iklim değişikliğiyle ilişkili duyguların daha geniş kavramsal çerçevesi içinde değerlendirilerek klinik uygulamalar, sosyal hizmetler ve halk ruh sağlığı iletişimi açısından olası yansımaları tartışılmaktadır. Mevcut kanıtlar, eko-öfkenin diğer iklim duygularıyla ilişkili olmakla birlikte kavramsal ve işlevsel açıdan ayırt edilebilir bir duygusal tepki olarak ele alınmasının önemine işaret etmektedir. Bununla birlikte, mevcut ölçüm araçlarının eko-öfkenin çok boyutlu yapısını yeterince temsil edip etmediği belirsizliğini korumaktadır. Bu nedenle, eko-öfkenin kavramsal sınırlarının netleştirilmesi, psikometrik açıdan güçlü değerlendirme araçlarının geliştirilmesi ve ruh sağlığı ile çevre yanlısı davranışlar üzerindeki rolünün incelenmesi gelecekteki araştırmalar için önemli önceliklerdir.

Anahtar kelimeler: Eko-öfke, iklim duyguları, eko-kaygı, çevre dostu davranış, çevresel bozulma, psikolojik iyilik hali

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ECO-ANGER IN THE CLIMATE CRISIS: UNDERSTANDING AN EMOTIONAL RESPONSE TO ENVIRONMENTAL DEGRADATION

ABSTRACT

As the climate crisis intensifies, negative emotional responses to environmental degradation have begun to attract increasing attention. In the research literature and public discourse on this topic, anxiety and grief have come to the forefront. This review, however, focuses on "eco-anger," a relatively neglected emotion. Eco-anger is generally defined as disappointment, anger, or moral outrage directed at individuals, institutions, or systems perceived to be responsible for environmental harm. Converging evidence suggests that rather than functioning as a mere byproduct of ecological distress, eco-anger occupies a distinct and, in many respects, more functional psychological niche compared to its better-known counterparts. Unlike ecological anxiety and ecological grief, ecological anger has been shown to reliably predict participation in environmentally friendly behaviors over time and exhibits a more positive rather than negative correlation with mental health outcomes in various population studies. In this review, the prevalence, targets, psychological and behavioral functions, and methods of assessment of eco-anger are examined in light of current evidence derived from large-scale cross-sectional studies, longitudinal experiential sampling studies, and scale development research. Eco-anger is evaluated within the broader conceptual framework of emotions related to climate change, and its potential implications for clinical practice, social services, and public mental health communication are discussed. Current evidence points to the importance of treating eco-anger as a conceptually and functionally distinct emotional response, despite its association with other climate-related emotions. However, it remains unclear whether current measurement tools adequately capture the multidimensional nature of eco-anger. Therefore, clarifying the conceptual boundaries of eco-anger, developing psychometrically robust assessment tools, and examining its role in mental health and pro-environmental behaviors are key priorities for future research.

Keywords: Eco-anger, climate emotions, eco-anxiety, eco-friendly behavior, environmental degradation, psychological well-being

1. GİRİŞ

Son on yılda, iklim krizinin psikolojik etkileri akademik ve kamuoyunun ilgisinin kenarından merkezine doğru kaymıştır (Cianconi ve Janiri, 2020; Hepp ve ark., 2023). Bu ilginin büyük bir kısmı, anlaşılır bir şekilde, ekolojik tehdide tepki olarak ortaya çıkan endişe, takıntılı düşünme ve davranış bozukluklarını tanımlamak için günümüzde yaygın olarak kullanılan "eko-kaygı" kavramı üzerinde yoğunlaşmıştır (Clayton, 2020). Bununla birlikte, giderek artan sayıda araştırmacı, iklimle ilgili sıkıntıyı tek ve ayrıştırılmamış bir kavram olarak ele almanın, ortaya koyduğundan çok daha fazlasını gizlediğini savunmaya başlamıştır. Pihkala (2022), kaygı, keder, suçluluk, umut ve öfkeyi birbirinden ayıran bir iklim duyguları sınıflandırması önermiş ve her birinin değerlendirme, motivasyon ve davranışla farklı bir ilişki içinde olduğunu savunmuştur. Özellikle öfke, sosyal psikoloji araştırmalarında harekete geçirici bir duygu olarak uzun bir geçmişe sahiptir. Genellikle, tanımlanabilir ve suçlanabilir bir aktörün adaletsiz

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

bir durum yaratmış olduğu algısı tarafından tetiklenir ve öfkeli kişiyi kaçınma yerine düzeltici eyleme yöneltme eğilimindedir (Gregersen ve ark., 2023).

Çevre alanına uygulandığında, bu duygu "eko-öfke" olarak adlandırılmaya başlanmıştır. Çevrenin bozulmasından sorumlu görülenlere hükümetlere, şirketlere, iklim değişikliği inkârcılarına veya genel olarak insanlığa yönelik bir hayal kırıklığı, öfke veya ahlaki kızgınlık halidir (Hogg ve ark., 2021; Gregersen ve ark., 2023). Sezgisel olarak makul olmasına ve çağdaş iklim aktivizminin söylemlerinde öne çıkmasına rağmen, eko-öfke, eko-kaygıya kıyasla belirgin şekilde daha az ampirik ilgi görmüştür ve mevcut değerlendirme araçları tarafından yeterince ele alınmamaktadır (Stanley ve ark, 2021). Bu derleme, ekolojik öfkeyle ilgili hâlâ gelişmekte olan kanıt tabanını pekiştirmeyi amaçlamakta ve özellikle şu üç soruya odaklanmaktadır: Bu duygu ne kadar yaygındır ve kime yöneliktir? Diğer iklim duygularına kıyasla davranışsal ve psikolojik sonuçlarla nasıl bir ilişkisi vardır ve şu anda ne kadar iyi ölçülmektedir? Son olarak, bu kanıtların klinik, sosyal hizmet ve halk sağlığı uygulamaları açısından ne anlama geldiği ele alınacaktır.

2. AYRI BİR DUYGUSAL YAPI OLARAK EKO-ÖFKE

Eko-kaygı, genel olarak mevcut ve gelecekteki çevresel tehditlere ilişkin öngörülü bir endişe ve sıkıntı olarak anlaşılır (Marczak ve ark., 2023; Ediz ve Yanık, 2023). Bu durum, duygusal belirtiler, tekrarlayan düşünceler ve kişinin çevresel zarara yaptığı kişisel katkıya dair endişe ile karakterize edilir (Hogg ve ark., 2021). Buna karşılık, ekolojik öfke dışa yöneliktir. Belirsiz bir geleceğe dair yaygın bir kaygıdan ziyade, çevresel zarardan veya eylemsizlikten sorumlu olduğu algılanan belirli aktörlere yönelik hayal kırıklığını yansıtır (Hogg ve ark., 2021). Bu ayrım sadece anlamsal değildir. Duyguların değerlendirme teorilerine göre öfke ve kaygı, tehdit edici durumların farklı biçimlerde algılanmasından kaynaklanır. Öfke, genellikle haksız, sorumlusu belirlenebilir ve değiştirilebilir bir durum algısıyla ortaya çıkarken; kaygı, belirsiz ve kontrol edilmesi güç bir tehdit algısıyla ilişkilidir (Contreras ve ark., 2024). Bu farklılık davranışlara da yansır: öfke yaklaşma ve yüzleşme eğilimini, kaygı ise kaçınma veya tehdide karşı tetikte olma eğilimini artırabilir.

İklim duygularına ilişkin ampirik çalışmalar da bu teorik ayrımı desteklemektedir. Contreras (2024), genel nüfustan katılımcılarla yürüttükleri 60 günlük günlük çalışmasında eko-kaygı, eko-öfke ve eko-üzüntünün zaman içindeki değişimini ve bunların iklim değişikliğiyle ilişkili olmayan genel duygusal karşılıklarıyla ilişkisini incelemiştir. Bulgular, eko-duyguların genel duygusal karşılıklarıyla yakından ilişkili olmakla birlikte onlardan ayırt edilebilir yapılar olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, eko-öfkenin gündelik öfkenin yalnızca çevresel sorunlara yönelmiş bir biçimi değil, kendine özgü bir duygusal tepki olarak ele alınabileceğini desteklemektedir. Ayrıca incelenen üç eko-duygu arasında yalnızca eko-öfkenin, zaman içinde çevre yanlısı niyet ve davranışları yordadığı belirlenmiştir.

3. EKO-ÖFKENİN YAYGINLIĞI VE ÖFKENİN YÖNELDİĞİ KAYNAKLAR

Eko-öfkenin toplumdaki yaygınlığına ilişkin veriler, eko-kaygıya kıyasla henüz sınırlıdır. Bununla birlikte, mevcut çalışmalar eko-öfkenin azımsanmayacak ölçüde yaygın bir duygusal tepki olduğunu göstermektedir. Stanley (2025) tarafından Avustralya'da 5.244 katılımcıyla yürütülen geniş ölçekli bir araştırmada, katılımcıların %48,6'sı iklim değişikliği konusunda en

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

azından "biraz" öfkeli olduğunu bildirmiştir. Araştırmada ayrıca katılımcıların kime veya neye öfke duydukları incelenmiş ve eko-öfkenin yöneldiği 13 farklı kaynak belirlenmiştir (Stanley ve ark, 2025).

En yaygın öfke kaynağı, hükümetlerin, işletmelerin ve toplumun iklim değişikliği karşısındaki eylemsizliği ve ilgisizliği olmuştur. Öfke bildiren katılımcıların yaklaşık %60'ı bu durumu öfkelerinin kaynağı olarak belirtmiştir. Bunu iklim değişikliğini inkâr edenlere ve büyük şirketler gibi çevresel zarardan sorumlu görülen aktörlere yönelik öfke izlemiştir. Katılımcılar ayrıca genel olarak insanlığa ve belirli siyasi veya ulusal aktörlere karşı da öfke bildirmiştir. Bu bulgular, eko-öfkenin yalnızca çevresel bozulmanın kendisine değil, bu bozulmadan sorumlu tutulan ya da çözüm üretmekte yetersiz kaldığı düşünülen kişi, kurum ve yapılara da yöneldiğini göstermektedir (Stanley ve ark, 2025).

Eko-öfkenin yöneldiği kaynak, bu duygunun psikolojik ve davranışsal sonuçları açısından da önemli görünmektedir. Özellikle iklim değişikliği karşısındaki eylemsizlik ve ilgisizliğe yönelik öfke, daha fazla çevre yanlısı davranışla ilişkili olmakla birlikte daha yüksek psikolojik sıkıntıyla da bağlantılı bulunmuştur. Bu durum, eko-öfkenin bir yandan bireyi harekete geçirebilirken diğer yandan psikolojik bir yük oluşturabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık, büyük kirleticiler veya iklim değişikliğini inkâr edenler gibi sorumluluğu daha açık biçimde tanımlanabilen aktörlere yönelik öfkenin, eyleme geçme motivasyonuyla daha doğrudan ilişkili olabileceği görülmektedir (Stanley ve ark, 2025).

Dolayısıyla eko-öfkenin tek ve homojen bir duygu olarak değerlendirilmesi yeterli değildir. Öfkenin ne kadar yoğun olduğunun yanı sıra kime veya neye yöneldiğinin de değerlendirilmesi, eko-öfkenin ruh sağlığı ve çevre yanlısı davranışlar üzerindeki farklı etkilerinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

4. EKOLOJİK ÖFKENİN İŞLEVSEL İLİŞKİLERİ: DAVRANIŞ VE REFAH

Son zamanlarda yapılan ekolojik duygu araştırmalarından ortaya çıkan belki de en çarpıcı bulgu, ekolojik öfkenin, ekolojik kaygı ve ekolojik üzüntüden farklı olarak, defalarca daha uyumsal sonuçlarla ilişkilendirilmiş olmasıdır. Yukarıda açıklanan zamansal ağ çalışmasında Contreras ve ark. (2024), incelenen üç ekolojik duygudan sadece ekolojik öfkenin, altmış günlük çalışma süresi boyunca sonraki çevre dostu niyet ve davranışları öngördüğünü bulmuştur. Buna karşılık, ekolojik kaygı ve ekolojik üzüntü, benzer sıklıkta yaşanmasına rağmen bu tür bir ileriye dönük ilişki göstermemiştir. Bu asimetri, Hogg ve ark. (2021) tarafından daha önce yapılan kesitsel bulguları yansıtmaktadır. Bu araştırmacılar, ekolojik öfkenin hem kişisel çevre dostu davranışlara hem de kolektif iklim eylemine daha fazla katılımı öngördüğünü bildirmişlerdi (Hogg ve ark., 2021). Oysa ekolojik kaygı ve bununla ilişkili bir kavram olan ekolojik depresyon, daha düşük refah düzeyiyle ve ekolojik kaygı durumunda kolektif eyleme katılma istekliliğinin azalmasıyla ilişkilendirilmişti.

Bu sonuçlar, ekolojik öfkenin teorik değerlendirme yapısıyla tutarlı olarak çevresel tehdide karşı uyumsal, yaklaşma odaklı bir tepki işlevi gördüğü bir tabloya işaret etmektedir. Bu, ekolojik öfkenin her durumda zararsız olduğu anlamına gelmez. Genel eylemsizliğe odaklanan öfke, katılımı öngörmesine rağmen artmış sıkıntı ile ilişkilendirilmiştir. Bu da ekolojik öfke ile refah arasında, hedefi ve yoğunluğuna göre değişen daha karmaşık,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

muhtemelen çift yönlü bir ilişki olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, bugüne kadarki kanıtlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, ekolojik öfkenin, ekolojik kaygı ve ekolojik keder ile tek bir "iklim sıkıntısı" şemsiyesi altında ayrım gözetmeksizin gruplandırılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Çünkü böyle bir yaklaşım, iklim kriziyle mücadeleye yönelik gerçek anlamda farklı ve nispeten yapıcı bir duygusal yolu göz ardı edecektir.

5. ÖLÇÜM ZORLUKLARI

Eko-öfkenin çevre yanlısı davranışlarla ilişkisine dair artan kanıtlara rağmen, bu duygunun ölçümü eko-kaygıya kıyasla daha sınırlı kalmaktadır. İklimle ilişkili psikolojik tepkilerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Hogg Eko-Kaygı Ölçeği, duygusal belirtiler, ruminasyon, davranışsal belirtiler ve kişinin kendi çevresel etkisine ilişkin kaygı olmak üzere dört boyut üzerinden eko-kaygıyı değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir (Hogg ve ark., 2021). Bu nedenle ölçek, eko-öfkeyi ayrı ve özgül bir yapı olarak değerlendirmeyi amaçlamamaktadır.

Daha yakın dönemde geliştirilen ölçüm araçları ise iklim değişikliğine yönelik duyguların çeşitliliğini daha kapsamlı biçimde ele almaya başlamıştır. Bunlardan biri olan Inventory of Climate Emotions (ICE), iklim değişikliğine ilişkin farklı duygusal tepkileri, öfke de dahil olmak üzere çok boyutlu bir yapı içerisinde değerlendirmektedir. Wullenkord ve ark. (2024), ICE'nin Norveç ve İrlanda örneklemlerindeki psikometrik özelliklerini inceleyerek iklimle ilişkili duyguların birbirinden ayırt edilebilir yapılar olarak değerlendirilebileceğine ilişkin kanıt sunmuştur. Bununla birlikte, ICE'nin amacı eko-öfkeyi kendi içinde ayrıntılı ve çok boyutlu bir yapı olarak değerlendirmekten ziyade farklı iklim duygularını birlikte ölçmektir.

Dolayısıyla mevcut araçlar eko-öfkenin değerlendirilmesine katkı sağlasa da bu duygunun yoğunluğunu, yöneldiği kişi veya kurumları, algılanan sorumluluk ve adaletsizlik kaynaklarını ve davranışsal sonuçlarını birlikte değerlendirebilecek özgül bir ölçüm yaklaşımına hâlen ihtiyaç bulunmaktadır. Nitekim geniş ölçekli araştırmaların bir bölümünde eko-öfke, katılımcılara iklim değişikliği konusunda ne ölçüde öfkeli olduklarını soran tek maddelik veya araştırmaya özgü ölçümlerle değerlendirilmektedir. Bu durum, eko-öfkenin çok boyutlu yapısının ortaya konmasını ve çalışmalar arasında karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmesini güçleştirmektedir. Eko-öfkeye özgü, psikometrik açıdan güçlü ve kültürlerarası geçerliliği gösterilmiş ölçüm araçlarının geliştirilmesi bu nedenle önemli bir araştırma gereksinimidir.

6. SAVUNMASIZ VE YETERİNCE İNCELENMEMİŞ NÜFUS GRUPLARI

Çocuklar ve ergenler, özel bir endişe kaynağı olan ve kanıt açısından belirgin boşlukların bulunduğu bir nüfus grubunu oluşturmaktadır. On ülkede 16 ila 25 yaş arası gençlerle yapılan küresel bir ankette Hickman ve ark. (2021), katılımcıların büyük çoğunluğunun iklim değişikliği konusunda endişeli olduğunu ve birçoğunun, hükümetlerin harekete geçmemesine yönelik öfke, suçluluk ve ihanet hissi dahil olmak üzere, bu konuyla ilişkili çok çeşitli duygular yaşadığını ortaya koymuştur. Léger-Goodes ve ark. (2022) tarafından pediatrik eko-kaygı literatürüne yönelik yapılan bir kapsamlı inceleme de benzer şekilde, çocuklarda ve gençlerde belgelenen duygusal tepkiler arasında öfkenin, üzüntü, korku ve depresyonun yanı sıra yer

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

aldığını ortaya koydu. Ancak mevcut çalışmaların çoğunun bu duyguları betimleyici bir şekilde ele aldığını, öfkeyi ise kendine özgü gelişimsel seyri ve ilişkili faktörleri olan analitik olarak ayrı bir yapı olarak incelemediğini belirtti. Eko-öfkenin yetişkin popülasyonlarda uyumsal bir işlev görebileceğine dair kanıtlar göz önüne alındığında, gelecekteki araştırmalar için acil bir soru, doğrudan sivil veya siyasi eylem yolları genellikle daha kısıtlı olan çocuklar ve ergenler için de aynı durumun geçerli olup olmadığıdır.

İkinci bir yeterince araştırılmamış boyut, psikolojinin ötesindeki mesleki ve disiplinlerarası bakış açılarıyla ilgilidir. McCaffery ve Boetto (2025) tarafından ekolojik duygular üzerine yapılan sosyal hizmet literatürüne yönelik kapsam belirleyici bir derleme, bu meslekte iklimle ilgili duygularla somut bir şekilde ilgilenen çok az sayıda çalışma tespit etmiştir. Bu çalışmalarda öfke yerine kaygı, umut ve empatiye daha fazla önem verilmiştir; derleme ayrıca, çevresel zarara orantısız bir şekilde maruz kalan Yerli ve diğer marjinalleştirilmiş topluluklar içinde yaşanan öfke ve kederle ilgili çalışmaların neredeyse hiç bulunmadığını belirtmiştir. Sosyal hizmet uygulaması, sıkıntıya yönelik tepkilerde salt bireysel olmaktan ziyade yapısal bir yaklaşıma yöneldiği ölçüde, bu durum önemli bir eksiklik teşkil etmektedir. Çünkü eko-öfke tam da algılanan yapısal adaletsizliğe dışa dönük olması nedeniyle bireysel semptom yönetiminden ziyade, onu kolektif ve savunuculuk temelli tepkilere yönlendiren bir sosyal hizmet çerçevesine özellikle uygun olabilir.

7. KLİNİK UYGULAMA VE TOPLUM RUH SAĞLIĞI AÇISINDAN SONUÇLAR

Burada incelenen kanıtlar, birkaç pratik sonuç doğurmaktadır. İlk olarak, iklim kriziyle ilgili öfke ifade eden danışanlarla çalışan klinisyenler ve diğer uygulayıcılar, bu öfkeyi refleks olarak yönetilmesi veya azaltılması gereken bir semptom olarak çerçevelendirmekte dikkatli olmalıdır. Eko-kaygı ve eko-üzüntü, içe kapanma ve refahın azalmasıyla ilişkili görünürken, eko-öfke daha sıklıkla aktif katılımla bir arada görülmekte ve hatta bunu teşvik etmektedir. Bunu öncelikle bir sıkıntı biçimi olarak ele almak, birçok durumda gerçek bir tehdide karşı orantılı ve potansiyel olarak yapıcı bir tepki olabilecek bir durumu patolojikleştirme riskini doğurur (Clayton, 2020). Bunun yerine klinisyenler, danışanların bu öfkeyi keşfetmelerine yardımcı olmayı ve uygun durumlarda bu öfkeyi anlamlı eylemlere yönlendirmelerini değerlendirebilir. Ancak aynı zamanda, daha ağır bir sıkıntı yükü taşıdığı görülen ve daha geleneksel destekleyici müdahaleleri gerektirebilecek vakalar alt kümesine örneğin, genelleştirilmiş, dağınık eylemsizliğe odaklanmış öfke dikkatlerini sürdürmelidirler.

İkincisi, iklim değişikliği konusunda büyük ölçüde korku veya kaygıya dayalı mesajlara dayanan halk sağlığı ve bilimsel iletişim çabaları, davranışsal açıdan daha etkili bir duygusal kaldıracı kullanma fırsatını kaçırıyor olabilir. Eğer eko-öfke, eko-kaygının yapamadığı şekilde çevre dostu katılımı güvenilir bir şekilde öngörüyorsa, o zaman halkın öfkesini meşrulaştıran ve uygun şekilde yönlendiren iletişim stratejileri örneğin, belirli, eyleme geçirilebilir kurumsal hedeflere doğru yaygın bir tehdit hissini öncelikle güçlendiren stratejilere kıyasla, endişeyi davranışa dönüştürmede daha etkili olabilir. Son olarak, yapısal olarak dezavantajlı ve yerli toplulukların çevresel zararlara orantısız bir şekilde maruz kaldığı göz önüne alındığında, sosyal hizmet gibi meslekler, ekolojik öfkeyi bireysel bir psikolojik sorun olarak değil, bir çevre

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

adaleti bilinci biçimi olarak meşrulaştıran çerçeveler geliştirmek için uygun bir konumdadır (McCaffery ve Boetto, 2025).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim krizinin derinleşmesiyle birlikte çevresel değişimlere verilen duygusal tepkilerin ruh sağlığı üzerindeki önemi giderek artmaktadır (Rana ve ark., 2026). Bu derlemede ele alınan bulgular, eko-öfkenin yalnızca genel iklim sıkıntısının ya da eko-kaygının bir bileşeni olarak değil, kendine özgü bilişsel, duygusal ve davranışsal özellikleri bulunan ayrı bir iklim duygusu olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Mevcut kanıtlar, eko-öfkenin özellikle çevresel tahribat, iklim eylemsizliği, kurumsal yetersizlik ve algılanan adaletsizliklere yöneldiğini; eko-kaygı ve eko-üzüntüden farklı olarak çevre yanlısı niyet ve davranışlarla daha güçlü ilişkiler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle eko-öfkenin yalnızca azaltılması gereken olumsuz bir duygu olarak ele alınması yerine, uygun biçimde düzenlendiğinde çevresel katılımı ve kolektif eylemi destekleyebilecek potansiyel bir psikolojik kaynak olarak değerlendirilmesi önemlidir.

Bu yaklaşım ruh sağlığı hizmetleri açısından da önemli çıkarımlar taşımaktadır. Psikiyatri hemşireleri, bireylerin iklim değişikliğine yönelik duygusal tepkilerini değerlendirmede, eko-öfkeyi eko-kaygı, üzüntü ve genel psikolojik sıkıntıdan ayırt etmede ve işlevsel ya da işlevsel olmayan baş etme biçimlerini belirlemede önemli bir role sahip olabilir. Psikiyatri hemşireliği uygulamalarında eko-öfkenin doğrudan patolojik bir belirti olarak değerlendirilmesi yerine, duygunun kaynağının ve yöneldiği hedeflerin anlaşılması; duygu düzenleme, güçlendirme, psikososyal destek ve işlevsel baş etme stratejilerinin desteklenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca psikiyatri hemşireleri, bireysel bakımın ötesinde toplum ruh sağlığı, iklim okuryazarlığı ve iklim değişikliğinin psikososyal etkilerine yönelik koruyucu ve önleyici programlarda da aktif roller üstlenebilir (Ediz ve Uzun, 2024).

Bununla birlikte, mevcut literatür önemli sınırlılıklar taşımaktadır. Bulguların büyük bölümünün sınırlı sayıda ülke ve kültürel bağlamdan elde edilmiş olması, eko-öfkenin yaygınlığı ve yöneldiği hedefler konusunda kültürlerarası genellemeler yapılmasını güçleştirmektedir. Uzunlamasına ve deneyim örnekleme çalışmalarının sınırlı sayıda ve görece küçük örneklemlerle yürütülmüş olması da eko-öfkenin zaman içindeki değişimi ve davranışsal sonuçları hakkında daha güçlü kanıtlara duyulan gereksinimi göstermektedir.

En önemli araştırma boşluklarından biri ise eko-öfkeyi özgül ve çok boyutlu olarak değerlendirebilecek geçerli ve güvenilir ölçüm araçlarının yetersizliğidir. Gelecekte, eko-öfkenin yoğunluğunun yanı sıra kaynağını, yöneldiği hedefleri ve davranışsal sonuçlarını değerlendirebilen psikometrik açıdan güçlü ölçüm araçlarının geliştirilmesi ve farklı kültürlerde geçerliliğinin incelenmesi öncelikli olmalıdır. Ayrıca çocuklar, ergenler, ruhsal hastalığı olan bireyler ve iklim değişikliğinin etkilerine orantısız biçimde maruz kalan topluluklarda eko-öfkenin incelenmesi; psikiyatri hemşireliği ve diğer ruh sağlığı disiplinleri tarafından geliştirilecek duygu düzenleme, güçlendirme ve eylem odaklı müdahalelerin etkinliğinin değerlendirilmesi gelecekteki çalışmalar açısından önemli araştırma alanlarıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

KAYNAKÇA

Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review. *Frontiers in Psychiatry, 11*, Article 74. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00074

Clayton, S. (2020). Climate anxiety: Psychological responses to climate change. *Journal of Anxiety Disorders, 74*, Article 102263. https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102263

Contreras, A., Blanchard, M. A., Mouguiama-Daouda, C., & Heeren, A. (2024). When eco-anger (but not eco-anxiety nor eco-sadness) makes you change! A temporal network approach to the emotional experience of climate change. *Journal of Anxiety Disorders*, *102*, Article 102822. https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2023.102822

Ediz, Ç., & Uzun, S. (2024). The perspectives of nurses, as prominent advocates in sustainability, on the global climate crises and its impact on mental health. *Journal of Advanced Nursing*. https://dx.doi.org/10.1111/jan.16131

Ediz, Ç., & Yanık, D. (2023). The effects of climate change awareness on mental health: Comparison of climate anxiety and hopelessness levels in Turkish youth. *International Journal of Social Psychiatry*. https://dx.doi.org/10.1177/00207640231206060

Gregersen, T., Andersen, G., & Tvinnereim, E. (2023). The strength and content of climate anger. *Global Environmental Change, 82*, 102738. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102738

Hepp, J., Klein, S. A., Horsten, L. K., Urbild, J., & Lane, S. P. (2023). Introduction and behavioral validation of the climate change distress and impairment scale. *Scientific Reports, 13*, 11272. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37573-4

Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R. E., Mayall, E. E., Wray, B., Mellor, C., & van Susteren, L. (2021). Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: A global survey. *The Lancet Planetary Health, 5*(12), e863–e873. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00278-3

Hogg, T. L., Stanley, S. K., O'Brien, L. V., Wilson, M. S., & Watsford, C. R. (2021). The Hogg Eco-Anxiety Scale: Development and validation of a multidimensional scale. *Global Environmental Change, 71*, Article 102391. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102391

Léger-Goodes, T., Malboeuf-Hurtubise, C., Mastine, T., Généreux, M., Paradis, P.-O., & Camden, C. (2022). Eco-anxiety in children: A scoping review of the mental health impacts of the awareness of climate change. *Frontiers in Psychology, 13*, Article 872544. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.872544

Marczak, M., Wierzba, M., Zaremba, D., Kulesza, M., Szczypiński, J., Kossowski, B., Budziszewska, M., Michałowski, J. M., Klöckner, C. A., & Marchewka, A. (2023). Beyond climate anxiety: Development and validation of the Inventory of Climate Emotions (ICE): A measure of multiple emotions experienced in relation to climate change. *Global Environmental Change, 83*, 102764. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102764

McCaffery, J., & Boetto, H. (2025). Eco-emotional responses to climate change: A scoping review of social work literature. *The British Journal of Social Work, 55*(1), 120–140. https://doi.org/10.1093/bjsw/bcae129

Pihkala, P. (2022). Toward a taxonomy of climate emotions. *Frontiers in Climate, 3*, 738154. https://doi.org/10.3389/fclim.2021.738154

Rana, S. S. J. B., Morris, P. G., Brett, C. E., Pacheco, E., Demetriou, K., & Tunç, H. (2026). A systematic review and meta-analysis on the relationship of eco-emotions on the mental health and wellbeing of young adults. *Applied Psychology: Health and Well-Being, 18*(3), e70157. https://doi.org/10.1111/aphw.70157

Stanley, S. K., Hogg, T. L., Leviston, Z., & Walker, I. (2021). From anger to action: Differential impacts of eco-anxiety, eco-depression, and eco-anger on climate action and wellbeing. *The Journal of Climate Change and Health, 1*, Article 100003. https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100003

Stanley, S. K., Leviston, Z., Hogg, T. L., & Walker, I. (2025). The various forms of anger about climate change in Australia and their relations with self-reported actions, intentions, and distress. *Journal of Environmental Psychology, 101*, 102490. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102490

Wullenkord, M. C., et al. (2024). Emotional responses to climate change in Norway and Ireland: A validation of the Inventory of Climate Emotions (ICE) in two European countries and an inspection of its nomological span. *Frontiers in Psychology, 15*, 1211272. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1211272

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE KALİTE GÜVENCE AÇISINDAN AMBALAJ KAYNAKLI RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kalite Güvence Mühendisi, Özgü Nur KAHRAMAN

DİMES A.Ş., ozgu.kahraman@dimes.com.tr - 0009-0001-9051-9441

ÖZET

Meyve suyu ürünlerinde ambalaj, ürünün raf ömrü boyunca mikrobiyolojik güvenliğin, fiziksel bütünlüğün ve duyusal kalitenin korunmasında kritik bir bileşendir. Bu çalışmanın amacı, meyve suyu endüstrisinde ambalaj kaynaklı riskleri kalite güvence perspektifinden değerlendirmek ve risklerin etkin yönetimi için temel kontrol alanlarını ortaya koymaktır. Çalışma, güncel bilimsel literatür, gıda güvenliği standartları ve sektörel teknik kaynakların incelenmesine dayalı bir derleme olarak yürütülmüştür. Ambalaj kaynaklı riskler; sızdırmazlık ve kapama bütünlüğü, mekanik hasar, bariyer özelliklerinin yetersizliği, ambalaj-ürün etkileşimleri, migrasyon, aseptik bütünlüğün bozulması, depolama ve taşıma koşullarına bağlı deformasyonlar ile kontaminasyon riski başlıklarında ele alınmıştır. Değerlendirmede, özellikle kapama ve sızdırmazlık bütünlüğünün bozulmasının ürün güvenliği ve raf ömrü üzerinde doğrudan etkili olabileceği; ambalaj kusurlarının yalnızca son ürün kontrolüyle değil, ambalaj malzemesi kabulünden dolum-kapama prosesine, depolama ve sevkiyata kadar bütünleşik bir yaklaşımla yönetilmesi gerektiği görülmüştür. Kalite güvence sistemlerinde risk temelli ambalaj kontrollerinin; tedarikçi yönetimi, proses izleme, bütünlük testleri, görsel kontroller, izlenebilirlik ve uygunsuzlukların kök neden analizi ile desteklenmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak, ambalaj kaynaklı risklerin proaktif biçimde yönetilmesi; ürün güvenliğinin korunması, kalite kayıplarının azaltılması ve tüketici memnuniyetinin sürdürülebilirliği açısından temel bir kalite güvence unsuru olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Meyve suyu, ambalaj bütünlüğü, kalite güvence, gıda güvenliği, risk değerlendirmesi.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDE TEDARİKÇİ YÖNETİMİNİN GIDA GÜVENLİĞİ VE KALİTE PERFORMANSINA ETKİSİ

Kalite Güvence Yöneticisi, Hilal TÜFENK TEKERCİOĞLU
DİMES A.Ş, hilal.tekercioglu@dimes.com.tr- 0000-0002-1345-8745

ÖZET

Gıda işletmelerinde güvenli ve kaliteli ürünlerin sürdürülebilir şekilde üretilmesi, üretim proseslerinin kontrolünün yanı sıra tedarik zincirinin etkin yönetilmesini de gerektirmektedir. İçecek sektöründe hammadde, yardımcı malzeme ve ambalaj materyallerinin farklı tedarikçilerden temin edilmesi, tedarikçi yönetimini gıda güvenliği ve kalite yönetiminin önemli unsurlarından biri haline getirmektedir. Tedarik zincirinde meydana gelebilecek uygunsuzlukların üretim proseslerine ve nihai ürün kalitesine yansıyabilmesi nedeniyle tedarikçilerin risk bazlı yaklaşımla değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, içecek sektöründe tedarikçi yönetiminin gıda güvenliği ve kalite performansı üzerindeki rolünü değerlendirmek ve etkin bir tedarikçi yönetim sisteminin temel unsurlarını ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında tedarikçi seçimi ve onaylama, risk bazlı tedarikçi sınıflandırması, performans değerlendirmesi, hammadde ve ambalaj uygunluk kontrolleri, analiz sonuçları, tedarikçi denetimleri, uygunsuzluk yönetimi ve düzeltici faaliyetlerin takibi ele alınmıştır.

Değerlendirme sonucunda, tedarikçi yönetiminin yalnızca maliyet ve teslimat performansı üzerinden yürütülmesinin yeterli olmadığı; ürün güvenliği, kalite, mevzuat uygunluğu ve tedarikçi performansının birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Risk bazlı sınıflandırma, düzenli performans takibi, uygunluk kontrolleri ve tedarikçi denetimleri, tedarik zinciri kaynaklı risklerin yönetiminde temel uygulamalar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, sistematik ve risk bazlı tedarikçi yönetiminin gıda güvenliği ve kalite performansının sürdürülebilirliğine katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi yönetimi, gıda güvenliği, kalite performansı, içecek sektörü, risk bazlı yaklaşım

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

PEYNİR TÜKETİMİYLE İLİŞKİLİ *SALMONELLA ANATUM* GIDA KAYNAKLI SALGIN: EPİDEMİYOLOJİK, MİKROBİYOLOJİK VE HALK SAĞLIĞI DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Salim YAKUT

Harran Üniversitesi, Tıp Fakültesi,Tıbbi Mikrobiyoloji AD

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2675-6677

salimyakut@harran.edu.tr 05073171349

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman YALÇIN

Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ulusal Moleküler Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarı

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1434-2717 05303881101

slymn_yalcin@hotmail.com

Dr. Öğr. Üyesi Aydın BOZKAYA

Harran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları AD

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8800-2753

63aydinbozkaya@gmail.com 05436882061

Doç. Dr. Tuba DAMAR ÇAKIRCA

Harran Üniversitesi, Tıp Fakültesi,Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji AD

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1706-230X

dr.tubadamar@gmail.com 05444495379

Prof. Dr. Fadile YILDIZ ZEYREK

Harran Üniversitesi, Tıp Fakültesi,Tıbbi Mikrobiyoloji AD

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7386-9944

fadilezeyrek@harran.edu.tr 05322241193

Amaç:
Bu çalışmada, ortak peynir tüketim öyküsü bulunan ve gastrointestinal semptomlarla başvuran bir aile kümelenmesinde, *Salmonella enterica* serovar Anatum enfeksiyonunun epidemiyolojik, mikrobiyolojik ve moleküler/genomik özellikleri incelenerek olgular ile şüpheli gıda arasındaki klonal ve etiyolojik ilişki araştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem:

Nisan 2026'da gastrointestinal şikayetlerle başvuran 14 hasta ile şüpheli peynir örneği değerlendirmeye alınmıştır. Hastalara ait dışkı ve kan örnekleri ile peynir homojenatı konvansiyonel kültür, immünokromatografik testler, mikroskobik inceleme ve mikro-ELISA yöntemleriyle incelenmiştir. Suş düzeyinde tanımlamalar Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS) **ve** Fourier

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ile gerçekleştirilmiştir. Dışkı ve peynir örnekleri, sendromik yaklaşım kapsamında moleküler gastrointestinal paneller (Anatolia Geneworks ve BioFire FilmArray GI) ile analiz edilmiştir. İzolatların antimikrobiyal duyarlılıkları European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST) kriterlerine göre disk difüzyon yöntemiyle belirlenmiş ve fenotipik Extended-Spectrum Beta-Lactamase (ESBL) varlığı araştırılmıştır. Klonal yakınlık Pulsed-Field Gel Electrophoresis (PFGE) ve Oxford Nanopore platformunda gerçekleştirilen Whole-Genome Sequencing (WGS) ile değerlendirilmiştir. WGS kapsamında 7-gen MLST, cgMLST/wgMLST, k-mer uzaklığı, Average Nucleotide Identity (ANI), SNP/indel analizi ile antimikrobiyal direnç ve virülans genleri araştırılmıştır.

Bulgular

Şüpheli gıdayı tüketen 18 bireyin 16'sı (%88,9) semptomatik, 2'si (%11,1) asemptomatik olarak değerlendirilmiştir. Hastaneye başvuran 14 hastanın 6'sının dışkı kültüründe ve peynir örneğinde *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Anatum izole edilmiştir. Moleküler gastrointestinal panellerde ise 14 hastanın tamamında *Salmonella* spp. saptanmıştır. Tüm izolatlar test edilen antimikrobiyallere fenotipik olarak duyarlı bulunmuş ve ESBL fenotipi göstermemiştir. PFGE analizinde klinik izolatlar ile peynir izolatının bant profillerinin birebir aynı olduğu gösterilmiştir. WGS analizi, klinik (S58) ve peynir (S52) izolatlarının her ikisinin de Sequence Type 64 (ST64) olduğunu doğrulamıştır. İzolatlar arasında %100 ANI ve D = 0.000000 k-mer uzaklığı saptanmış; 4,7 Mb'lık kromozom boyunca yalnızca 6 SNP ve 3.678 cgMLST lokusunda 4 alel farkı belirlenmiştir. Her iki izolatın da aynı 170 virülans faktörü genini taşıdığı ve kazanılmış antimikrobiyal direnç geni içermediği belirlenmiştir. Asemptomatik iki bireyden birinin peyniri kaynatarak, diğerinin ise sıcak çaya batırarak tükettiği öğrenilmiştir.

Sonuç

Epidemiyolojik, mikrobiyolojik, PFGE ve yüksek çözünürlüklü genomik verilerin birlikte değerlendirilmesi, klinik ve peynir kaynaklı *S. Anatum* izolatları arasındaki güçlü klonal ilişkiyi ortaya koymuş ve çiğ sütten yapılan peynirin salgınla ilişkili olası kaynak olduğunu desteklemiştir. Nadir görülen serovarların neden olduğu gıda kaynaklı salgınların hızlı tespiti ve kaynak takibinde, konvansiyonel yöntemlerin WGS tabanlı moleküler sürveyans ve Tek Sağlık (One Health) yaklaşımıyla bütünleştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Salmonella* Anatum, gıda kaynaklı salgın, çiğ süt peyniri, tüm genom sekanslama, WGS, cgMLST, PFGE.

Salmonella Anatum Foodborne Outbreak Associated with Cheese Consumption: Epidemiological, Microbiological, and Public Health Evaluation

Objective

This study investigated the epidemiological, microbiological, and molecular/genomic characteristics of *Salmonella enterica* serovar Anatum infection in a family cluster with a shared history of cheese consumption and gastrointestinal symptoms, with the aim of evaluating the clonal and etiological relationship between the cases and the suspected food source.

Materials and Methods

In April 2026, 14 patients presenting with gastrointestinal complaints and a suspected cheese sample were evaluated. Stool and blood specimens obtained from the patients, as well as the cheese homogenate, were examined using conventional culture methods,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

immunochromatographic tests, microscopic examination, and micro-enzyme-linked immunosorbent assay (micro-ELISA). Strain-level identification was performed using Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). Stool and cheese samples were analyzed using molecular gastrointestinal panels (Anatolia Geneworks and BioFire FilmArray GI) within a syndromic diagnostic approach. Antimicrobial susceptibility of the isolates was determined by the disk diffusion method according to the criteria of the European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST), and the presence of phenotypic Extended-Spectrum Beta-Lactamase (ESBL) production was investigated. Clonal relatedness was assessed by Pulsed-Field Gel Electrophoresis (PFGE) and Whole-Genome Sequencing (WGS) performed on the Oxford Nanopore platform. WGS analysis included 7-gene multilocus sequence typing (MLST), core-genome and whole-genome MLST (cgMLST/wgMLST), k-mer distance, Average Nucleotide Identity (ANI), SNP/indel analysis, and screening for antimicrobial resistance and virulence genes.

Results

Among the 18 individuals who consumed the suspected food, 16 (88.9%) were symptomatic and 2 (11.1%) were asymptomatic. *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Anatum was isolated from stool cultures of 6 of the 14 patients who presented to the hospital and from the cheese sample. Molecular gastrointestinal panels detected *Salmonella* spp. in all 14 patients. All isolates were phenotypically susceptible to all tested antimicrobials and showed no ESBL phenotype. PFGE analysis demonstrated identical banding patterns between the clinical isolates and the cheese isolate. WGS confirmed that both the clinical (S58) and cheese (S52) isolates belonged to Sequence Type 64 (ST64). The isolates showed 100% ANI and a k-mer distance of D = 0.000000. Only 6 SNPs were identified across the 4.7-Mb chromosome, while only 4 allele differences were detected among 3,678 cgMLST loci. Both isolates carried the same 170 virulence factor genes, and no acquired antimicrobial resistance genes were detected. Of the two asymptomatic individuals, one reported consuming the cheese after boiling it, whereas the other consumed it after dipping it into hot tea.

Conclusion

The combined evaluation of epidemiological, microbiological, PFGE, and high-resolution genomic data demonstrated a strong clonal relationship between the clinical and cheese-derived *S. Anatum* isolates and supported the raw-milk cheese as a potential source associated with the outbreak. These findings highlight the importance of integrating conventional methods with WGS-based molecular surveillance and a One Health approach for the rapid detection and source tracking of foodborne outbreaks caused by uncommon serovars.

Keywords: *Salmonella* Anatum, foodborne outbreak, raw-milk cheese, whole-genome sequencing, WGS, cgMLST, PFGE.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ÜZÜM BAĞLARINDA SALKIM GÜVESİ (*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller), MÜCADELESİNDE BİYOTEKNOLOJİK GELİŞMELER

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 56100, Merkez, SİİRT

email: mehmetkaplan@siirt.edu.tr

ORCID ID**:** 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Salkım güvesi (*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller), bağlarda ürün miktarı ve kalitesini önemli ölçüde etkileyen başlıca zararlılardan biridir. Zararlının mücadelesinde çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlere duyulan gereksinim, biyoteknolojik uygulamaların geliştirilmesini hızlandırmıştır. Dünyanın farklı bağcılık bölgelerinde yürütülen çalışmalar, özellikle feromon temelli çiftleşmeyi engelleme tekniğinin (*mating disruption*) salkım güvesi popülasyonlarının baskılanmasında etkili ve güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Geleneksel pasif feromon yayıcıların yanı sıra, feromonu belirli zaman aralıklarında ortama bırakan aerosol sistemleri, daha düşük sayıda yayıcı kullanımı ve geniş alanlarda etkin uygulama açısından önemli bir gelişme olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca biyobozunur feromon yayıcıların geliştirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından yeni olanaklar sunmaktadır. Son yıllarda feromon salınımının sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullarla ilişkilendirilmesi ve matematiksel modellerle zararlının uçuş dönemlerinin birlikte değerlendirilmesi, uygulamaların zamanlamasının daha hassas belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanında, aynı yayıcı sistem içerisinde birden fazla zararlı türün feromonlarının kullanılması, bağlarda biyoteknolojik mücadelenin kapsamını genişletmektedir. Bu gelişmeler, salkım güvesine karşı kimyasal mücadeleye olan bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir entegre zararlı yönetiminin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Salkım güvesi, bağcılık, biyoteknolojik mücadele, çiftleşmeyi engelleme.

BIOTECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN THE MANAGEMENT OF THE EUROPEAN GRAPEVINE MOTH (*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller) IN VINEYARDS

Abstract

The European grapevine moth, *Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller, is one of the major insect pests affecting grape production, with significant impacts on both yield and fruit quality. The need for environmentally friendly and sustainable pest management strategies has accelerated the development of biotechnological approaches for its control. Studies conducted in different viticultural regions worldwide have demonstrated that pheromone-based mating

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

disruption is an effective and reliable strategy for suppressing *L. botrana* populations. In addition to conventional passive pheromone dispensers, aerosol-based systems that release pheromones at predetermined intervals have emerged as an important technological development, particularly by reducing the number of dispensers required and improving efficacy over large areas. The development of biodegradable pheromone dispensers also offers new opportunities for enhancing environmental sustainability. In recent years, integrating pheromone release dynamics with environmental variables such as temperature and relative humidity, together with mathematical models for predicting pest flight activity, has contributed to more precise timing of control applications. Furthermore, the use of pheromones targeting multiple pest species within the same dispenser system has expanded the potential scope of biotechnological control in vineyards. These developments have considerable potential to reduce dependence on chemical insecticides against *L. botrana* and to strengthen sustainable integrated pest management programs in viticulture.

Keywords: European grapevine moth, viticulture, biotechnological control, mating disruption,

1. GİRİŞ

Asmanın (*Vitis vinifera* L.) yetiştirildiği bölgelerde verim ve ürün kalitesini sınırlandıran önemli faktörlerden biri zararlı organizmalardır. Bu zararlılar içerisinde Salkım güvesi, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae), özellikle Akdeniz havzası ve Avrupa'nın önemli bağcılık alanlarında ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Zararlının larvaları asmanın çiçek, koruk ve olgunlaşmaya başlayan tanelerinde beslenerek doğrudan ürün kaybına neden olmakta, beslenme sonucu oluşan yaralar ise özellikle hasada yakın dönemde fungal hastalıkların gelişmesini kolaylaştırabilmektedir. Bu nedenle Salkım güvesinin meydana getirdiği zarar yalnızca doğrudan ürün kaybı ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sofralık ve şaraplık üzümlerin kalite özelliklerini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Ioriatti et al., 2011).

Salkım güvesinin yönetiminde uzun yıllar boyunca sentetik insektisitler temel mücadele araçlarından biri olmuştur. Bununla birlikte, tekrarlanan kimyasal uygulamalar; kalıntı problemi, yararlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkiler, çevresel kirlilik, uygulama maliyetleri ve zararlı popülasyonlarında insektisitlere karşı direnç gelişmesi gibi nedenlerle sürdürülebilirlik açısından çeşitli sorunlar ortaya çıkarabilmektedir. Özellikle sofralık üzüm üretiminde hasat öncesi bekleme süresi ve ürün üzerinde pestisit kalıntısı bulunmaması yönündeki tüketici taleplerinin artması, kimyasal mücadeleye alternatif veya tamamlayıcı yöntemlerin önemini artırmıştır. Bu durum, entegre zararlı yönetimi içerisinde biyoteknik mücadele yöntemlerinin geliştirilmesine ve yaygınlaştırılmasına zemin hazırlamıştır.

Salkım güvesine karşı geliştirilen biyoteknolojik yöntemler arasında en başarılı ve yaygın uygulamalardan biri feromon temelli çiftleşmeyi engelleme tekniğidir. Bu yöntemde dişi Salkım güvesinin erkek bireyleri çekmek amacıyla kullandığı eşeysel feromonun sentetik formu bağ ortamına kontrollü biçimde salınmaktadır. Ortamdaki sentetik feromon yoğunluğunun artırılması, erkeklerin doğal dişileri bulmasını zorlaştırmakta ve başarılı çiftleşmelerin azalmasına neden olmaktadır. Böylece yumurta bırakacak dişi sayısının ve takip eden nesillerdeki popülasyon yoğunluğunun düşürülmesi hedeflenmektedir. Feromon temelli

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

çiftleşmeyi engelleme, Salkım güvesinde kimyasal insektisit kullanımını azaltma potansiyeli nedeniyle dünya bağcılığında en fazla üzerinde çalışılan biyoteknik yöntemlerden biri durumundadır (Ioriatti et al., 2011).

Dünya genelindeki araştırmalar, biyoteknolojik mücadelenin yalnızca geleneksel feromon yayıcıların kullanılmasından ibaret olmadığını göstermektedir. Son yıllarda düşük yoğunlukta kullanılan aerosol yayıcılar, feromonun hava içerisindeki dağılımının kimyasal analizlerle belirlenmesi, uzaktan izleme sistemleri, elektronik tuzaklar ve farklı zararlı türlerine yönelik feromonların aynı uygulama sistemi içerisinde kullanılabilmesi gibi yeni teknolojiler araştırılmaktadır. Bu gelişmeler, biyoteknik mücadelenin daha hassas, ekonomik ve çevre dostu hâle getirilmesine yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir (Lucchi et al., 2018; Mafra-Neto et al., 2019; Benelli et al., 2023).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise salkım güvesi, bağ yetiştiriciliğinin yoğun olduğu bölgelerde önemli bir zararlı durumundadır. Gaziantep, Manisa ve son yıllarda Diyarbakır gibi farklı bağcılık bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalar, zararlının popülasyon dinamiğinin ve zarar düzeyinin yöreye, üzüm çeşidine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebildiğini ortaya koymaktadır (Aslan & Candan, 2018; Sermen & Kaplan, 2024; Ünlü & Güleç, 2018). Bu nedenle biyoteknolojik mücadele programlarının bölgesel popülasyon özellikleri dikkate alınarak planlanması önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, üzüm bağlarında Salkım güvesine karşı dünyada ve Türkiye'de gerçekleştirilen biyoteknolojik mücadele araştırmalarının değerlendirilmesi; feromon temelli çiftleşmeyi engelleme, yeni nesil feromon yayıcılar, aerosol teknolojileri, uzaktan izleme ve steril böcek tekniği gibi yaklaşımlardaki gelişmelerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. GELİŞME

2.1. Salkım Güvesinin Biyoteknolojik Mücadele Açısından Önemi

Salkım güvesinin biyoteknolojik mücadele açısından uygun bir hedef olmasının temel nedenlerinden biri, türün eşeysel iletişim sisteminin ayrıntılı biçimde ortaya konulmuş olmasıdır. Dişi bireyler erkekleri çekmek amacıyla karakteristik bir eşeysel feromon salgılamakta, erkekler ise bu kimyasal sinyali kullanarak dişilerin yerini belirlemektedir. Bu doğal iletişim mekanizmasının sentetik feromonlarla değiştirilmesi veya bozulması, zararlının çiftleşme başarısını azaltmak amacıyla kullanılabilmektedir.

Ioriatti ve arkadaşları (2011), Salkım güvesinin kimyasal ekolojisi ve yönetimi üzerine gerçekleştirdikleri kapsamlı değerlendirmede feromon aracılı çiftleşmeyi engellemenin bağlarda kullanılabilecek en umut verici mücadele yöntemlerinden biri olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar, yöntemin Avrupa'daki geniş bağ alanlarında uygulanmaya başladığını ve başarılı uygulamalarda insektisit kullanımının azaltılabildiğini belirtmiştir.

Biyoteknolojik yöntemin temel avantajı, hedef organizmanın davranışsal ve kimyasal özelliklerinden yararlanılmasıdır. Bu nedenle klasik insektisitlerden farklı olarak geniş spektrumlu toksik etki oluşturmak yerine hedef zararlının iletişim ve üreme davranışını değiştirmeye odaklanmaktadır. Bu özellik, yöntemin entegre zararlı yönetimi ve sürdürülebilir bağcılık açısından değerini artırmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Bununla birlikte, çiftleşmeyi engelleme tekniğinin başarısı yalnızca bağa feromon yayıcıların yerleştirilmesine bağlı değildir. Bağın büyüklüğü, şekli, çevredeki kontrol edilmeyen bağ alanları, zararlının başlangıç popülasyon yoğunluğu, rüzgâr yönü, topoğrafya ve feromonun bağ içerisinde homojen dağılımı yöntemin başarısını etkileyebilmektedir. Dolayısıyla biyoteknolojik uygulamaların bölgesel ve alan bazlı planlanması gerekmektedir.

2.2. Geleneksel Feromon Yayıcılar Ve Çiftleşmeyi Engelleme

Salkım güvesine karşı kullanılan ilk nesil biyoteknik uygulamalarda, bağ içerisine belirli sayıda pasif feromon yayıcı yerleştirilerek sentetik eşeysel feromonun uzun süre boyunca ortama salınması sağlanmaktadır. Bu sistemlerde yayıcıların bağ içerisinde belirli aralıklarla dağıtılması ve zararlının aktif döneminden önce uygulamanın gerçekleştirilmesi önemlidir.

Çiftleşmeyi engelleme tekniğinin etkinliği farklı ülkelerde yapılan saha çalışmalarıyla ortaya konulmuştur. Örneğin Kıbrıs'ta yürütülen üç yıllık çalışmada Isonet-L feromon yayıcıları kullanılan bağlarda salkım güvesinin meydana getirdiği salkım zararı, kontrol alanlarına göre belirgin biçimde azaltılmıştır. 2004–2006 döneminde feromon uygulanan alandaki zarar oranları sırasıyla %6,8, %6,0 ve %10,4 olarak belirlenirken, uygulama yapılmayan alanlarda bu oranlar %40,8, %59,6 ve %64,4'e ulaşmıştır. Bu sonuçlar, uygun koşullarda feromon temelli çiftleşmeyi engellemenin salkım güvesi zararını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir (Vassiliou, 2009).

İsrail'de yürütülen araştırmalarda, salkım güvesinin (*Lobesia botrana*) yanı sıra bağ ekosistemlerinde bulunan diğer lepidopter zararlıların yönetiminde de feromon temelli biyoteknik mücadele yaklaşımları değerlendirilmiştir. Harari ve ark. (2007), yalnızca *L. botrana* feromonunun kullanıldığı çiftleşmeyi engelleme uygulaması ile *L. botrana* ve *Cryptoblabes gnidiella* feromonlarının birlikte kullanıldığı stratejileri karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçları, feromon uygulanan parsellerde zararlıların bulaşıklık düzeyinin ve insektisit uygulama sıklığının kontrol alanlarına kıyasla azaldığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, aynı üretim alanında birden fazla lepidopter zararlının bulunması durumunda, türlere özgü feromonların birlikte kullanılmasına dayalı çoklu çiftleşmeyi engelleme stratejilerinin, kimyasal mücadeleye olan gereksinimin azaltılmasına katkı sağlayabilecek alternatif bir biyoteknik yaklaşım olduğunu göstermektedir (Harari et al., 2007).

2.3. Türkiye'de Çiftleşmeyi Engelleme Çalışmalarındaki Gelişmeler

Türkiye'de Salkım güvesine karşı biyoteknik mücadele konusunda gerçekleştirilen ilk önemli saha çalışmalarından biri Gaziantep'in İslahiye ilçesinde yürütülmüştür. Akyol ve Aslan tarafından 2005 ve 2006 yıllarında gerçekleştirilen araştırmada Antep Karası üzüm çeşidinin bulunduğu bağlarda Isonet-L yayıcıları kullanılarak çiftleşmeyi engelleme tekniğinin etkinliği incelenmiştir. Araştırmanın 2005 yılı sonuçlarına göre çiftleşmeyi engelleme uygulanan bağda Salkım güvesi bulaşıklığı birinci, ikinci ve üçüncü döllerde sırasıyla %6, %3 ve %5 olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde insektisit kullanılan kontrol alanında bulaşıklık oranları %20, %18 ve %3 olarak kaydedilmiştir. 2006 yılında ise çiftleşmeyi engelleme uygulanan bağda bulaşıklık oranları sırasıyla %5, %2 ve %3 olmuştur. Çalışmada çiftleşmeyi engelleme uygulamasının, zararlı yoğunluğunun ekonomik zarar eşiğini aşması durumunda *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* gibi biyolojik kökenli preparatlarla desteklenebileceği belirtilmiştir (Akyol & Aslan, 2009).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Türkiye'de daha sonraki önemli uygulamalardan biri Adıyaman bağlarında gerçekleştirilmiştir. Toprak ve ark. (2022), 2016 ve 2017 yıllarında Isonet-L yayıcılarını kullanarak çiftleşmeyi engelleme tekniğini değerlendirmiştir. Çalışmada çiftleşmeyi engelleme uygulanan bağlarda 2016 yılında 50 salkım üzerinden değerlendirilen bulaşıklık oranları birinci, ikinci ve üçüncü döllerde sırasıyla %0, %4 ve %3 olurken, geleneksel mücadele yapılan bağlarda bu değerler %0, %10 ve %5 olarak belirlenmiştir. 2017 yılında ise çiftleşmeyi engelleme alanlarında oranlar %2, %4 ve %4; geleneksel uygulama alanlarında %4, %10 ve %7 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca çiftleşmeyi engelleme uygulanan bağlarda insektisit kullanılmaması, yöntemin kimyasal mücadeleye alternatif oluşturabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Bu çalışmalar Türkiye'de Salkım güvesine karşı feromon temelli mücadele yaklaşımının yalnızca deneysel bir yöntem olmadığını, uygun bağ koşullarında pratik olarak uygulanabilir bir seçenek olduğunu göstermektedir.

2.4. Aerosol Feromon Yayıcılar

Biyoteknolojik mücadelede son yıllardaki önemli gelişmelerden biri, pasif feromon yayıcıların yanında aktif aerosol yayıcıların geliştirilmesidir. Geleneksel pasif sistemlerde bağ içerisinde yüksek sayıda yayıcının dağıtılması gerekirken, otomatik aerosol cihazlarında feromon, hedef zararlının aktif olduğu dönemlere göre programlanarak belirli zaman aralıklarında kısa **süreli salımlar** şeklinde atmosfere bırakılmaktadır (Benelli et al., 2019; Gavi et al., 2020; Lucchi et al., 2018; Lucchi et al., 2023).

Lucchi ve arkadaşları (2018), İspanya'nın Aragon bölgesinde gerçekleştirdikleri iki yıllık çalışmada Salkım güvesine karşı aerosol feromon yayıcıların etkinliğini incelemiştir. Çalışmada aerosol sisteminin geleneksel pasif yayıcılarla karşılaştırılabilir düzeyde mücadele sağlayabildiği ortaya konulmuştur. Bu sistemlerin önemli avantajları arasında hektar başına daha az yayıcı kullanılması ve buna bağlı olarak işçilik gereksiniminin azaltılması bulunmaktadır (Lucchi et al., 2018).

İtalya'da Benelli ve arkadaşları (2023) tarafından yürütülen araştırmada ise yeni bir aerosol yayıcı farklı uygulama yoğunluklarında test edilmiştir. Çalışmada 2, 3 ve 4 cihaz/ha yoğunlukları değerlendirilmiş ve aerosol uygulamalarının Salkım güvesinin bulaşıklık düzeyini önemli ölçüde azaltabildiği belirlenmiştir. Yeni sistemin etkinliği, pasif yayıcılarla ve başka bir ticari aerosol sistemle karşılaştırılabilir bulunmuştur. Araştırmacılar, özellikle küçük parsellerden oluşan İtalyan bağlarında aerosol teknolojisinin kullanım potansiyeline dikkat çekmiştir (Benelli et al., 2023).

Aerosol sistemlerin önemli bir diğer avantajı, feromonun daha az sayıda cihazla geniş alana dağıtılabilmesidir. Bununla birlikte, aerosol yayıcıların başarısında bağın topoğrafyası, parselin geometrik yapısı ve hâkim rüzgârların önemli rol oynadığı bildirilmektedir. Bu nedenle aerosol sistemlerin farklı iklim ve bağ yapılarında ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.5. Feromon Salınımının Hassas Ölçülmesi

Biyoteknolojik mücadelenin geliştirilmesinde yalnızca yeni yayıcıların tasarlanması değil, bağ atmosferindeki feromon yoğunluğunun doğru biçimde belirlenmesi de önemlidir. Navarro-Llopis ve arkadaşları (2020), Salkım güvesine karşı uygulanan pasif ve aerosol feromon sistemlerinden kaynaklanan hava kaynaklı feromon yoğunluğunu belirlemek amacıyla hassas kromatografik ve spektroskopik analiz yöntemlerinden yararlanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Araştırmada pasif yayıcılar ve aerosol sistemlerinin bağ atmosferinde farklı zamansal ve mekânsal feromon profilleri oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca asma yapraklarının havadaki feromonun bir bölümünü adsorbe ederek daha sonra yeniden salabilmesinin, bağ içerisindeki feromon dağılımını etkileyebileceği ortaya konulmuştur. Bu bulgu, çiftleşmeyi engelleme sistemlerinin etkinliğinin yalnızca yayıcıdan çıkan feromon miktarıyla açıklanamayacağını göstermektedir (Navarro-Llopis et al., 2020).

Bu tür hassas ölçüm teknikleri, gelecekte feromon yayıcıların gereğinden fazla miktarda kullanılmasını önleyerek maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Aynı zamanda bağın farklı noktalarında gerekli feromon yoğunluğunun belirlenmesi, uygulama programlarının daha hassas biçimde tasarlanmasına olanak sağlayacaktır.

2.6. Uzaktan İzleme Ve Dijital Teknolojiler

Biyoteknolojik mücadeledeki diğer önemli gelişme, zararlı popülasyonlarının klasik arazi kontrollerine gerek kalmadan izlenebilmesini sağlayan dijital teknolojilerdir. Türkiye'de Ünlü ve arkadaşları (2019), Konya'nın Hadim ve Taşkent ilçelerinde Salkım güvesinin popülasyon gelişimini uzaktan izlemek amacıyla kamera destekli feromon tuzaklarını kullanmıştır.

Araştırmada feromon tuzaklarına kameralar yerleştirilmiş ve elde edilen görüntüler internet üzerinden takip edilmiştir. Böylece bağa sürekli olarak gitmeye gerek kalmadan ergin uçuşunun başlangıcı ve popülasyon gelişimi hakkında bilgi elde edilmiştir. Çalışmada ilk erginlerin Hadim'de 7 Nisan, Taşkent'te ise 15 Nisan 2016 tarihinde yakalandığı belirlenmiştir (Ünlü et al., 2019).

Bu yaklaşım, biyoteknik mücadele açısından oldukça önemlidir. Çünkü çiftleşmeyi engelleme uygulamalarında feromon yayıcıların doğru zamanda bağa yerleştirilmesi ve zararlının popülasyonunun uygulama öncesinde ve sonrasında izlenmesi gerekir. Kamera destekli tuzaklar, gelecekte görüntü işleme ve yapay zekâ sistemleriyle birleştirildiğinde zararlı bireylerinin otomatik olarak tanınmasını ve sayılmasını sağlayabilecek bir altyapı oluşturabilir. Dolayısıyla biyoteknolojik mücadele, yalnızca feromon kullanımı olarak değil, feromon + sensör + kamera + veri analizi bütünlüğü içerisinde ele alınmalıdır. Böyle bir sistem, bağlarda hassas tarım uygulamalarının önemli bir bileşeni hâline gelebilir.

2.7. Türkiye'de Popülasyon Dinamiklerinin Belirlenmesi

Biyoteknik mücadele programlarının başarısı, hedef zararlının bölgedeki biyolojisinin ve popülasyon dinamiğinin doğru şekilde belirlenmesine bağlıdır. Türkiye'de bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar, Salkım güvesinin farklı bölgelerde önemli farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Sermen ve Kaplan (2024), Diyarbakır ili Hazro ilçesindeki bağlarda 2021 ve 2022 yıllarında feromon tuzakları kullanarak Salkım güvesinin ergin popülasyon değişimini ve bulaşıklık oranını araştırmıştır. Çalışmada zararlının ilk erginleri 18 Nisan'da, son erginleri ise 14 Kasım'da belirlenmiş ve erginlerin yaklaşık sekiz ay boyunca doğada aktif olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca bölgede hasattan önce üç, hasattan sonra ise bir olmak üzere dört belirgin popülasyon tepe noktası tespit edilmiştir. Bulaşıklık oranları bağ ve yıllara göre %5 ile %45 arasında değişmiştir (Sermen & Kaplan, 2024). Bu sonuçlar, özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi bağlarında biyoteknik mücadele programlarının yalnızca standart takvimlere göre yürütülmemesi gerektiğini göstermektedir. Feromon uygulamasının zamanı ve süresi, bölgenin iklim özellikleri ve zararlının yerel uçuş dinamikleri dikkate alınarak belirlenmelidir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2.8. Çoklu Feromon Ve Türler Arası Biyoteknik Mücadele

Bağ ekosistemlerinde çoğu zaman tek bir zararlı türü bulunmamaktadır. Salkım güvesinin yanında farklı Lepidoptera türleri ve diğer zararlı organizmalar da ekonomik zarar oluşturabilmektedir. Bu nedenle gelecekte biyoteknolojik mücadelede aynı sistem içerisinde birden fazla zararlının yönetilmesine yönelik teknolojiler önem kazanacaktır.

Harari ve ark. (2007) çalışması, iki farklı zararlı türünün feromonlarının birlikte kullanılabileceğini göstermesi açısından dikkat çekicidir. Bu tür çoklu feromon sistemleri, özellikle farklı zararlıların aynı dönemde ekonomik zarar oluşturduğu bağlarda kimyasal mücadele ihtiyacının daha fazla azaltılmasına katkı sağlayabilir. Ancak birden fazla feromonun aynı ortamda kullanılması, türler arasındaki kimyasal iletişimin ve yayıcıların birbirleriyle etkileşiminin ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini gerektirir. Gelecekte geliştirilecek akıllı yayıcı sistemleri sayesinde farklı zararlıların uçuş dönemlerine göre farklı feromonların kontrollü biçimde salınması mümkün olabilir.

2.9. Steril Böcek Tekniği Ve Gelecekteki Potansiyel

Salkım güvesine karşı henüz çiftleşmeyi engelleme kadar yaygın olmayan bir başka biyoteknolojik yaklaşım Steril Böcek Tekniği (SBT) ve kalıtsal kısırlıktır. Bu yaklaşımda laboratuvarda üretilen erkek bireyler steril hâle getirilerek doğal popülasyona bırakılmakta ve steril erkeklerin doğal dişilerle çiftleşmesi sonucunda verimli yavru oluşumunun azaltılması amaçlanmaktadır.

Saour (2014), Salkım güvesi üzerinde gama ışını uygulamalarının sterilizasyon ve kalıtsal kısırlık açısından etkisini araştırmıştır. Çalışmada farklı radyasyon dozlarının erkek ve dişilerin üreme kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve belirli dozların erkeklerde fertiliteyi büyük ölçüde azaltabildiği ortaya konulmuştur. Araştırmacı, 150 Gy dozunu Salkım güvesine yönelik steril böcek ve F1 kısırlık programları açısından uygun bir seçenek olarak değerlendirmiştir (Saour, 2014). Bu yaklaşımın gelecekte bağlarda feromon temelli çiftleşmeyi engelleme ile birlikte kullanılması teorik olarak mümkün olmakla birlikte, geniş ölçekli saha uygulamalarından önce laboratuvar üretimi, steril bireylerin rekabet yeteneği, salım oranları, hedef dışı etkiler ve ekonomik uygulanabilirlik gibi konuların ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir.

2.10. Yeni Nesil Biyoteknolojik Yaklaşım: Hassas Ve Veri Temelli Mücadele

Salkım güvesi mücadelesinin geleceğinde en önemli gelişmelerden birinin farklı teknolojilerin bir araya getirilmesi olacağı öngörülmektedir. Günümüzde feromon tuzakları yalnızca ergin popülasyonunun belirlenmesi amacıyla değil, zararlının uçuş başlangıcının ve yoğunluk değişiminin izlenmesi için de kullanılmaktadır. Kamera sistemleri bu süreci otomatik hâle getirebilirken, meteorolojik sensörler sıcaklık, nem, rüzgâr ve diğer çevresel değişkenleri eş zamanlı olarak kaydedebilmektedir. Bu verilerin matematiksel modellerle birlikte değerlendirilmesi, Salkım güvesinin uçuş dönemlerinin ve muhtemel zarar riskinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olabilir. Böylece mücadele uygulamaları takvim esaslı olmaktan çıkarılarak ihtiyaç ve risk esaslı hâle getirilebilir.

Son yıllarda çiftleşmeyi engelleme uygulamalarının başarısının değerlendirilmesinde yalnızca erkeklerin feromon tuzaklarına yakalanma oranının kullanılmasının yeterli olmayabileceği de vurgulanmaktadır. Knight ve arkadaşları (2025), çeşitli tortricid türlerinde çiftleşmeyi engelleme programlarının başarısını değerlendirirken dişilerin gerçek çiftleşme durumunun

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

daha fazla dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Araştırmacılar, yeni çift eşeyli cezbedicilerin farklı feromon uygulama sistemlerinin karşılaştırılmasında kullanılabileceğini ve bu yaklaşımın biyoteknik mücadelenin değerlendirilmesini geliştirebileceğini bildirmiştir (Knight et al., 2025).

Bu gelişme, Salkım güvesi mücadelesinde gelecekte yalnızca "tuzakta kaç erkek yakalandı?" sorusunun değil, "bağdaki dişilerin ne kadarı başarılı biçimde çiftleşebildi?" sorusunun da dikkate alınacağını göstermektedir.

3. SONUÇ

Salkım güvesi, üzüm bağlarında verim ve kalite kayıplarına yol açabilen önemli zararlılardan biri olup, sürdürülebilir bağcılık açısından çevre dostu ve etkili mücadele yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda biyoteknolojik mücadele yöntemleri, kimyasal insektisit kullanımının azaltılması ve yararlı organizmaların korunması açısından önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Özellikle eşeysel feromonlara dayalı çiftleşmeyi engelleme tekniği, zararlının üreme davranışını hedeflemesi bakımından çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte yöntemin başarısı; zararlı yoğunluğu, bağın büyüklüğü ve yapısı, çevredeki bağ alanları, meteorolojik koşullar ve uygulama zamanlaması gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir.

Gelecekte Salkım güvesi mücadelesinde tek bir yönteme bağlı kalmak yerine farklı biyoteknik ve biyolojik mücadele yöntemlerinin entegre edilmesi önem taşımaktadır. Feromon yayıcıların yanı sıra aerosol sistemlerinin geliştirilmesi, zararlı popülasyonunun daha hassas izlenmesine olanak sağlayacak akıllı tuzakların kullanılması ve dijital görüntüleme teknolojilerinden yararlanılması mücadele programlarının etkinliğini artırabilir. Ayrıca meteorolojik veriler, zararlı gelişim dönemleri ve popülasyon yoğunluklarının birlikte değerlendirilmesi, mücadele zamanının daha doğru belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Türkiye'de farklı bağcılık bölgelerinde yerel koşullara uygun biyoteknik mücadele programlarının geliştirilmesi, bu yöntemlerin etkinliğinin ve ekonomik uygulanabilirliğinin artırılması açısından önemlidir. Gelecekte sensör teknolojileri, uzaktan izleme, görüntü işleme ve karar destek sistemlerinin biyoteknik mücadeleyle bütünleştirilmesi, Salkım güvesinin daha hassas, ekonomik ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Aslan, M. M., & Candan, G. (2018). Farklı üzüm çeşitlerinde salkım güvesi *Lobesia botrana* (Denis et Schiffermüller)'nın zarar durumunun belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 21*(4), 482–488. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.433326

Akyol, B., & Aslan, M. M. (2009). Investigations on efficiency of mating disruption technique against the European grapevine moth (*Lobesia botrana* Den. et Schiff.) (Lepidoptera: Tortricidae) in vineyard, Turkey. *Journal of Applied Sciences Research, 5*(10), 1556–1561.

Benelli, G., Lucchi, A., Thomson, D., & Ioriatti, C. (2019). Sex pheromone aerosol devices for mating disruption: Challenges for a brighter future. *Insects, 10*(9), 308. https://doi.org/10.3390/insects10090308

Benelli, G., Ricciardi, R., Cosci, F., Iodice, A., Ladurner, E., Savino, F., & Lucchi, A. (2023). Sex pheromone aerosol emitters for *Lobesia botrana* mating disruption in Italian vineyards. *Insects, 14*(3), 270. https://doi.org/10.3390/insects14030270

Gavi, A., Vacas, S., Navarro, I., Primo, J., & Navarro-Llopis, V. (2020). Airborne pheromone quantification in treated vineyards with different mating disruption dispensers against *Lobesia botrana*. *Insects, 11*(5), 289. https://doi.org/10.3390/insects11050289

Harari, A. R., Ovadia, S., & Dunkelblum, E. (2007). Pest management programmes in vineyards using male mating disruption. *Pest Management Science, 63*(10), 971–976. https://doi.org/10.1002/ps.1365

Ioriatti, C., Anfora, G., Tasin, M., De Cristofaro, A., Witzgall, P., & Lucchi, A. (2011). Chemical ecology and management of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology, 104*(4), 1125–1137. https://doi.org/10.1603/EC10443

Knight, A. L., Preti, M., & Basoalto, E. (2025). What can we learn from dissecting tortricid females about the efficacy of mating disruption programs? *Insects, 16*(3), 248. https://doi.org/10.3390/insects16030248

Lucchi, A., Sambado, P., Juan Royo, A. B., Bagnoli, B., Conte, G., & Benelli, G. (2018). Disrupting mating of *Lobesia botrana* using sex pheromone aerosol devices. *Environmental Science and Pollution Research, 25*, 22196–22204.https://doi.org/10.1007/s11356-018-2341-3

Lucchi, A., Ladurner, E., Iodice, A., Savino, F., Ricciardi, R., D'Anna, G., & Benelli, G. (2023). Sex pheromone aerosol emitters for *Lobesia botrana* mating disruption in Italian vineyards. *Insects, 14*(3), 270. https://doi.org/10.3390/insects14030270

Navarro-Llopis, V., Vacas, S., Primo, J., & others. (2020). Airborne pheromone quantification in treated vineyards with different mating disruption dispensers against *Lobesia botrana*. *Insects, 11*(5), 289. https://doi.org/10.3390/insects11050289

Saour, G. (2014). Sterile insect technique and F1 sterility in the European grapevine moth, *Lobesia botrana*. *Journal of Insect Science, 14*(1), 8. https://doi.org/10.1093/jis/14.1.8

Sermen, R., & Kaplan, M. (2024). Hazro İlçesi (Diyarbakır) bağ alanlarında Salkım güvesi [*Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae)]'nin ergin popülasyon değişimi ve bulaşma oranının belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 21*(1), 166–176. https://doi.org/10.33462/jotaf.1254136

Toprak, M. M., Aslan, M. M., & Gözübenli, Z. S. (2022). Adıyaman ili bağ alanlarında *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae)'ya karşı çiftleşmeyi engelleme tekniğinin kullanılması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26*(2).

Ünlü, L., & Güleç, F. (2018). Ahmetli ve Turgutlu (Manisa) ilçelerindeki bağlarda salkım güvesi [*Lobesia botrana* Den. & Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae)]'nin popülasyon değişimi ve bulaşıklık oranının saptanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 33*(3), 191–201. https://doi.org/10.7161/omuanajas.391372

Ünlü, L., Akdemir, B., Ögür, E., & Şahin, İ. (2019). Remote monitoring of European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) population using camera-based pheromone traps in vineyards. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7*(4), 652–657. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i4.652-657.2382

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Vassiliou, V. A. (2009). Control of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in vineyards in Cyprus using the mating disruption technique. *Crop Protection, 28*(2), 145–150. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.09.013

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TARIMSAL EKOSİSTEMDE BÖCEKLERİN ÇOĞALMASINI OLUMSUZ ETKİLEYEN BİYOTİK FAKTÖRLER

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 56100, Merkez, SİİRT

email: mehmetkaplan@siirt.edu.tr

ORCID ID**:** 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Böcekler, ekosistemlerin işleyişinde besin zincirlerinin önemli bir bileşeni olmakla birlikte, popülasyon büyüklükleri çeşitli biyotik faktörlerin etkisi altında sürekli olarak değişmektedir. Böceklerin çoğalmasını ve popülasyon yoğunluklarını sınırlandıran biyotik faktörler arasında özellikle avcılar, parazitoitler, patojenler, rekabet, besin kaynaklarının yetersizliği ve konukçu-bitki etkileşimleri önemli bir yere sahiptir. Avcı organizmalar, böceklerin yumurta, larva, nimf ve ergin dönemlerinde bireyleri tüketerek popülasyonların artış hızını doğrudan azaltmaktadır. Parazitoitler ise özellikle yumurta, larva ve pupa dönemlerinde konukçularını kullanarak gelişimlerini tamamlamakta ve konukçunun ölümüne neden olarak böcek popülasyonlarının baskılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bakteri, virüs, fungus ve nematod gibi entomopatojenler de böceklerde hastalıklara neden olarak yaşam süresini, üreme başarısını ve popülasyon yoğunluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bunun yanında, aynı veya farklı türlere ait bireyler arasındaki rekabet; besin, barınak, üreme alanı ve diğer sınırlı kaynakların paylaşılması nedeniyle böceklerin gelişme ve üreme performansını azaltabilmektedir. Bitkilerin savunma mekanizmaları da fitofag böceklerin beslenmesini ve çoğalmasını sınırlandıran önemli biyotik etkileşimler arasında yer almaktadır. Bu faktörlerin etkisi tek başına veya birlikte ortaya çıkabilmekte ve böcek popülasyonlarının ekosistemde belirli bir denge içerisinde kalmasına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, biyotik faktörlerin böcek popülasyonlarının düzenlenmesindeki rolünün anlaşılması, ekolojik denge ve sürdürülebilir zararlı yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Böcek popülasyonları, biyotik faktörler, avcılar, parazitoitler, entomopatojenler.

BIOTIC FACTORS ADVERSELY AFFECTING INSECT REPRODUCTION IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

Abstract

Insects are an important component of food webs and play essential roles in the functioning of ecosystems; however, their population sizes continuously fluctuate under the influence of various biotic factors. Among the major biotic factors that limit insect reproduction and population densities are predators, parasitoids, pathogens, competition, limited food resources,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

and host plant–insect interactions. Predators directly reduce the rate of population increase by consuming insects during different developmental stages, including eggs, larvae, nymphs, and adults. Parasitoids, on the other hand, utilize their hosts, particularly during the egg, larval, and pupal stages, to complete their development and ultimately cause host mortality, thereby contributing significantly to the suppression of insect populations. Entomopathogenic organisms, including bacteria, viruses, fungi, and nematodes, can adversely affect insect populations by causing diseases that reduce longevity, reproductive success, and population density. In addition, competition among individuals of the same or different species may reduce insect growth and reproductive performance due to the limited availability of food, shelter, breeding sites, and other essential resources. Plant defense mechanisms also constitute important biotic interactions that restrict feeding and reproduction in phytophagous insects. These factors may act independently or interact synergistically, contributing to the maintenance of insect populations within a dynamic ecological balance. Therefore, understanding the role of biotic factors in regulating insect populations is of considerable importance for maintaining ecological stability and developing sustainable pest management strategies.

Keywords: Insect populations, biotic factors, predators, parasitoids, entomopathogens.

TARIMSAL EKOSİSTEMDE BÖCEKLERİN ÇOĞALMASINI OLUMSUZ ETKİLEYEN BİYOTİK FAKTÖRLER

1. GİRİŞ

Böcekler, ekosistemlerin biyolojik çeşitliliği ve işleyişi açısından önemli canlı gruplarından biridir. Besin zincirlerinde birincil tüketici, ikincil tüketici veya ayrıştırıcılarla ilişkili organizmalar olarak görev yapan böcekler; tozlaşma, organik maddelerin parçalanması, besin elementlerinin döngüsü ve diğer canlılar arasındaki enerji transferi gibi çok sayıda ekolojik süreçte rol almaktadır. Bununla birlikte böcek popülasyonlarının büyüklüğü ve dağılımı, çevresel koşulların etkisiyle sürekli olarak değişmektedir. Bu değişimde sıcaklık, nem, yağış ve ışık gibi abiyotik faktörlerin yanı sıra predatörler, parazitoitler, entomopatojenler, rakip organizmalar, besin kaynaklarının sınırlılığı ve konukçu bitkilerin özellikleri gibi biyotik faktörler de önemli rol oynamaktadır.

Böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde özellikle doğal düşmanlar önemli bir yere sahiptir. Predatörler ve parazitoitler, böceklerin farklı gelişme dönemlerinde meydana getirdikleri ölüm oranlarını artırarak popülasyonların büyümesini sınırlandırmaktadır. Biyotik faktörler içerisinde entomopatojenler de böcek popülasyonlarının sınırlandırılmasında önemli bir yere sahiptir. Bakteri, fungus, virüs ve nematodlar gibi entomopatojenler, konukçularında hastalıklara neden olarak gelişme, yaşam süresi ve üreme başarısını azaltabilmektedir. Yuriinda entomopatojenlerin parazitoitlerle birlikte kullanılmasının biyolojik mücadelede önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir (Koller et al., 2023). Ayrıca, böcekler arasındaki tür içi ve türler arası rekabet; besin, yaşam alanı ve üreme kaynaklarının sınırlı olması durumunda popülasyon büyüklüğünün azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle biyotik faktörlerin birlikte değerlendirilmesi, böcek popülasyon dinamiklerinin ve ekosistem içerisindeki doğal denge mekanizmalarının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle söz konusu

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

organizmalar ekosistemlerde doğal popülasyon düzenleyicileri olarak değerlendirilmektedir. Biyolojik mücadele kavramı da büyük ölçüde bu doğal baskı mekanizmalarından yararlanılması esasına dayanmaktadır (Uygun et al., 2016; Kılınçer et al., 2010).

Böcek popülasyonlarının düzenlenmesi yalnızca doğal düşmanların doğrudan etkileriyle açıklanamamaktadır. Böcekler arasındaki tür içi ve türler arası rekabet, konukçu bitkinin besin kalitesi ve savunma mekanizmaları ile besin kaynaklarının miktarı da popülasyon büyümesini sınırlandırabilmektedir. Türkiye'de farklı tarımsal ekosistemlerde gerçekleştirilen çalışmalar, böcek popülasyonlarının doğal düşmanlar tarafından önemli ölçüde baskılanabildiğini göstermektedir. Örneğin Diyarbakır ve Elazığ illerindeki meyve bahçelerinde yürütülen bir çalışmada Coccidae türleri üzerinde sekiz predatör, 14 parazitoit ve iki hiperparazitoit tür belirlenmiştir (Gülmez et al., 2023). Benzer şekilde Diyarbakır, Elazığ ve Mardin illerindeki bağ alanlarında Cicadellidae türleriyle ilişkili 19 predatör tür ile yumurta parazitoitleri belirlenmiştir (Özgen & Karsavuran, 2016). Avcılar ve parazitoitler, böceklerin farklı gelişme dönemlerinde meydana getirdikleri ölüm oranları yoluyla popülasyon artışını doğrudan sınırlandırmaktadır. Türkiye'de yürütülen çalışmalar, tarımsal ekosistemlerde çok sayıda predatör ve parazitoit türünün zararlı böcek popülasyonlarını baskılayabildiğini ortaya koymaktadır. Kılınçer ve ark. (2010), predatörler, parazitoitler ve entomopatojenlerin zararlı popülasyonlarının doğal olarak baskılanmasında önemli biyolojik mücadele etmenleri olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Türkiye'nin kuzeybatısındaki mısır alanlarında gerçekleştirilen bir araştırmada farklı zararlı böcek türleri ile birlikte çok sayıda doğal düşman türünün bulunduğu belirlenmiş ve bu türlerin tarımsal ekosistemlerdeki biyolojik mücadele potansiyeline dikkat çekilmiştir (Koca ve Kaçar, 2024).

Bu çalışmanın amacı, ekosistemlerde böceklerin çoğalmasını olumsuz etkileyen başlıca biyotik faktörleri; predasyon, parazitizm, entomopatojenler, rekabet, besin kaynaklarının sınırlılığı, konukçu bitki özellikleri ve çoklu biyotik etkileşimler kapsamında değerlendirmektir. Ayrıca Türkiye'de gerçekleştirilen araştırmalar ile yabancı literatür birlikte ele alınarak bu faktörlerin ekolojik denge ve biyolojik mücadele açısından önemi ortaya konulmuştur.

2. GELİŞME

2.1. Böcek Popülasyon Dinamiklerinde Biyotik Faktörlerin Önemi

Popülasyon büyüklüğü, belirli bir zaman ve alanda bulunan bireylerin sayısı ile ifade edilmekte ve doğum, ölüm, göç ve göç alma gibi süreçlerin etkisi altında değişmektedir. Böceklerde özellikle kısa yaşam döngüsü, yüksek üreme kapasitesi ve birçok türün çok sayıda döl verebilmesi nedeniyle popülasyon yoğunlukları kısa zaman içerisinde önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Ancak doğal koşullarda hiçbir böcek popülasyonu sınırsız biçimde büyümemektedir. Kaynakların sınırlı olması ve diğer organizmalarla gerçekleşen biyotik etkileşimler popülasyon artışını sınırlandırmaktadır.

Biyotik faktörler yoğunluğa bağlı ve yoğunluktan bağımsız olarak değerlendirilebilir. Rekabet, predasyon ve parazitizm gibi faktörlerin etkisi çoğunlukla popülasyon yoğunluğu arttıkça güçlenmektedir. Örneğin bir böcek popülasyonunun yoğunluğu yükseldiğinde aynı besin

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

kaynağından yararlanan bireylerin sayısı artmakta ve rekabet şiddetlenmektedir. Benzer şekilde konukçu yoğunluğunun artması, bazı parazitoit ve predatörlerin konukçularını bulma olasılığını artırabilmektedir.

Ekolojik sistemlerde bu ilişkiler birbirinden bağımsız değildir. Bir herbivor böceğin popülasyonu, aynı anda hem konukçu bitkinin savunma mekanizmaları hem de predatör ve parazitoitlerin baskısı altında bulunabilir. Bu nedenle böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde tek bir faktörün etkisinden ziyade faktörler arasındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Özellikle doğal düşmanlar, böcek popülasyonlarının yoğunluğunun sınırlandırılmasında önemli bir role sahiptir. Ekolojik sistemlerde predatör ve parazitoitlerin oluşturduğu "yukarıdan aşağıya" (top-down) kontrol mekanizması, otçul böceklerin popülasyonlarının baskılanmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, böcek popülasyonlarının yalnızca doğal düşmanlar tarafından düzenlenmediği; kaynakların miktarı ve kalitesinin de ("aşağıdan yukarıya", bottom-up) popülasyon dinamiklerini önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Rosenheim, 1998). Price ve arkadaşları (1980), bitki–herbivor–doğal düşman ilişkilerinin üç trofik düzey arasındaki karşılıklı etkileşimlerden oluştuğunu vurgulamıştır. Daha sonraki çalışmalar da bitki özellikleri ile doğal düşmanların birlikte herbivor popülasyonlarını şekillendirdiğini ortaya koymuştur (Hunter & Price, 1992; Schmitz et al., 2000). Bu nedenle böceklerin çoğalmasını olumsuz etkileyen biyotik faktörlerin değerlendirilmesinde tek bir etkileşime odaklanmak yerine, aynı ekosistemde meydana gelen çoklu biyotik ilişkilerin birlikte ele alınması gerekmektedir.

2.2. Predasyon

Predasyon, bir organizmanın başka bir organizmayı yakalayarak tüketmesi şeklinde tanımlanan biyotik etkileşimdir. Böcek ekolojisinde predasyon, popülasyonların düzenlenmesinde en önemli ölüm faktörlerinden biridir. Predatörler, avlarını genellikle yaşamlarının birden fazla döneminde tüketmekte ve bir yaşam süresi boyunca çok sayıda av bireyinin ölümüne neden olabilmektedir. Böcekler içerisinde Coccinellidae, Chrysopidae, Syrphidae ve bazı Hemiptera grupları önemli predatörler arasında yer almaktadır. Ayrıca örümcekler, bazı akarlar, kuşlar ve diğer böcekçil hayvanlar da böcek popülasyonları üzerinde önemli predasyon baskısı oluşturabilmektedir.

Predatörlerin etkisi yalnızca av bireylerinin doğrudan tüketilmesiyle sınırlı değildir. Bir predatörün varlığı, av böceklerinin davranışlarını da değiştirebilir. Av bireyleri predatörlerden kaçınmak amacıyla beslenme faaliyetlerini azaltabilir, farklı mikrohabitatlara geçebilir veya üreme davranışlarını değiştirebilir. Böylece predatörlerin etkisi doğrudan ölümün yanı sıra dolaylı davranışsal etkiler şeklinde de ortaya çıkabilmektedir.

Türkiye'de yapılan çalışmalar, tarımsal alanlarda önemli predatör çeşitliliğinin bulunduğunu göstermektedir. Gülmez ve arkadaşları (2023), Diyarbakır ve Elazığ'daki meyve bahçelerinde Coccidae türleri üzerinde Coccinellidae, Cybocephalidae, Forficulidae ve Chrysopidae familyalarına ait sekiz predatör tür belirlemiştir. Aydın ilinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise unlubitlerle bulaşık 22 farklı konukçu bitki üzerinde Coccinellidae familyasına ait 10 predatör tür saptanmıştır (Yerlikaya et al., 2023). Telli ve Yiğit (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise *Planococcus citri* ile beslenen *Cryptolaemus montrouzieri*,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Exochomus quadripustulatus ve *Nephus includens* türlerinin av tüketim özellikleri incelenmiş ve predatörlerin av yoğunluğuna bağlı tepkileri değerlendirilmiştir.

Predatör çeşitliliğinin artması bazı durumlarda herbivor popülasyonlarının daha güçlü biçimde baskılanmasını sağlayabilir. Bununla birlikte predatörler arasında rekabet ve birbirlerini tüketme gibi etkileşimler de görülebilir. Finke ve Denno (2004), predatör çeşitliliğinin trofik kaskadların şiddetini değiştirebildiğini göstermiştir.

2.3. Parazitoitler

Parazitoitler, böcek popülasyonlarının doğal olarak sınırlandırılmasında önemli rol oynayan biyotik faktörlerdir. Özellikle Hymenoptera ve Diptera takımları içerisinde çok sayıda parazitoit tür bulunmaktadır. Parazitoitler, konukçularının yumurta, larva, nimf, pupa veya ergin dönemlerini kullanabilmektedir. Gelişimlerini konukçu üzerinde veya içerisinde tamamlayan parazitoitlerin yaşam döngüsünün sonunda konukçu çoğunlukla ölür. Parazitoitlerin böcek popülasyonlarını sınırlandırmasında konukçu bulma yeteneği önemli bir faktördür. Dişi parazitoitler, konukçularını görsel, kimyasal veya diğer duyusal ipuçları yardımıyla bulabilmektedir. Konukçu yoğunluğu arttıkça parazitoitlerin konukçuyla karşılaşma olasılığı da artabilmektedir. Bu durum, özellikle yoğunluğu yükselen zararlı böcek popülasyonlarının baskılanmasına katkı sağlayabilmektedir. Yumurta parazitoitleri biyolojik mücadelede özel bir öneme sahiptir. Çünkü yumurtanın parazitlenmesi sonucunda zararlı böcek daha larva dönemine ulaşmadan popülasyon kaybı meydana gelmektedir. Türkiye'de domates güvesi *Tuta absoluta* üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda *Trichogramma brassicae* yumurta parazitoiti ile *Nesidiocoris tenuis* predatörünün etkinliği araştırılmıştır. Çalışmada doğal düşman uygulamalarının kontrol uygulamasına göre zararlı baskısını azaltabildiği ortaya konmuştur (Güven et al., 2017). Türkiye'de farklı tarımsal ekosistemlerde yapılan çalışmalar, çok sayıda parazitoit türünün zararlı böceklerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Diyarbakır ve Elazığ'daki meyve bahçelerinde Coccidae türleri üzerinde gerçekleştirilen araştırmada 14 parazitoit ve iki hiperparazitoit türü tespit edilmiştir (Gülmez vd., 2023). Diyarbakır, Elazığ ve Mardin bağ alanlarında Cicadellidae türlerinin doğal düşmanlarının araştırıldığı çalışmada da *Trichogrammatidae* familyasına bağlı bir yumurta parazitoiti elde edilmiştir (Özgen & Karsavuran, 2016). Düzce ilinde *Hyphantria cunea* üzerinde yapılan araştırmada ise *Trichogramma brassicae, Chouioia cunea, Baryscapus* sp., *Apanteles hyphantriae, Hyposoter* sp., *Pales pavida* ve *Exorista larvarum* gibi çeşitli parazitoitler ile *Chrysoperla carnea* predatörü belirlenmiştir (Avcı et al., 2022).

Parazitoitlerin etkisi bazı durumlarda hiperparazitoitler tarafından azaltılabilir. Hiperparazitoitler başka bir parazitoit üzerinde gelişerek ikinci düzeyde bir biyotik etkileşim meydana getirir. Bu nedenle bir zararlı popülasyonunun baskılanmasında yalnızca birinci düzey doğal düşmanların değil, besin ağındaki daha üst trofik düzeylerin de dikkate alınması gerekmektedir. Parazitoitlerin kendileri de hiperparazitoitler ve predatörler tarafından baskılanabilmektedir. Rosenheim (1998), doğal düşmanların da başka predatör, parazitoit ve patojenlerin hedefi olabileceğini ve bu durumun doğal düşmanların zararlı popülasyonları üzerindeki kontrol gücünü değiştirebileceğini bildirmiştir

2.4. Entomopatojenler

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Böcekleri hastalandıran mikroorganizmalar ve diğer patojenik organizmalar entomopatojenler olarak adlandırılmaktadır. Bakteriler, funguslar, virüsler ve entomopatojen nematodlar böcek popülasyonlarının doğal olarak sınırlandırılmasında rol oynayan önemli biyotik faktörlerdir.

Entomopatojen funguslar içerisinde *Beauveria, Metarhizium, Isaria* ve benzeri cinsler önemli biyolojik mücadele etmenleri olarak değerlendirilmektedir. Funguslar, bazı durumlarda böceklerin vücut yüzeyinden konağa giriş yapabilmeleri nedeniyle diğer patojen gruplarından farklı bir özelliğe sahiptir.

Bakteriyel entomopatojenler içerisinde *Bacillus thuringiensis* özellikle Lepidoptera larvalarına karşı biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılan organizmalardan biridir. Virüsler arasında ise özellikle baculoviruslar birçok Lepidoptera türünün popülasyonlarının sınırlandırılmasında önem taşımaktadır.

Entomopatojen nematodlar da toprak ekosistemlerinde böcek larvalarını etkileyebilmektedir. Lewis ve arkadaşları (2006), entomopatojen nematodların toprak besin ağlarında yaygın böcek tüketicileri olduğunu ve biyolojik mücadele açısından önemli potansiyele sahip olduklarını belirtmiştir. Türkiye'de Baki ve Erler (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırmada bazı entomopatojen fungusların pamuk yaprakbiti *Aphis gossypii* üzerindeki biyolojik mücadele potansiyeli araştırılmıştır. Bu tür çalışmalar, yerel entomopatojenlerin belirlenmesinin sürdürülebilir zararlı yönetimi bakımından önem taşıdığını göstermektedir.

Entomopatojenlerin etkinliği konukçu yoğunluğu, böceğin gelişme dönemi, patojenin virülansı ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle entomopatojenlerin doğal ekosistemlerdeki etkileri yalnızca hastalık meydana getirme kapasitesi ile değil, konukçu ve diğer doğal düşmanlarla olan ilişkileriyle birlikte değerlendirilmelidir.

2.5. Rekabet

Rekabet, aynı sınırlı kaynağı kullanmak isteyen organizmalar arasında ortaya çıkan önemli bir biyotik etkileşimdir. Böceklerde rekabet; besin, konukçu bitki, barınma alanı, yumurtlama alanı ve eş gibi kaynaklar için gerçekleşebilir.

Tür içi rekabet, aynı türün bireyleri arasında ortaya çıkmaktadır. Popülasyon yoğunluğu arttıkça aynı kaynak üzerinde bulunan bireylerin sayısı yükselmekte ve birey başına düşen kaynak miktarı azalmaktadır. Özellikle larva döneminde besin miktarının sınırlı olması gelişme süresini uzatabilir ve ergin bireylerin üreme kapasitesini azaltabilir.

Türler arası rekabet ise farklı türlerin aynı kaynağı kullanması durumunda ortaya çıkmaktadır. Örneğin aynı konukçu bitkide beslenen iki fitofag böcek türü arasında besin için rekabet meydana gelebilir. Bir türün yoğunluğunun artması diğer türün gelişimini ve popülasyon büyüklüğünü sınırlandırabilir. Rekabetin böcek popülasyonları üzerindeki etkisi özellikle kaynakların sınırlı olduğu ekosistemlerde önem kazanmaktadır. Monokültür tarım alanlarında belirli bir konukçu bitkinin sürekli bulunması bazı zararlıların popülasyonlarını artırabilirken, aynı kaynak üzerinde yüksek birey yoğunluğunun oluşması tür içi rekabeti de artırabilir. Bunun yanında böceklerin aynı konukçu üzerinde farklı beslenme bölgelerini kullanması rekabeti azaltabilir. Örneğin bazı türlerin yapraklarda, bazılarının köklerde ve diğerlerinin meyve veya gövdelerde beslenmesi kaynak paylaşımını kolaylaştırabilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2.6. Besin Kaynaklarının Miktarı ve Kalitesi

Böceklerin büyüme ve çoğalması için yeterli miktarda ve uygun kalitede besin gerekmektedir. Besin kaynaklarının azalması, bireylerin gelişimini yavaşlatabilir ve üreme başarısını düşürebilir. Fitofag böceklerde konukçu bitkinin azot içeriği, su durumu, karbonhidrat miktarı ve ikincil metabolitleri gelişme ve üremeyi etkileyen temel özellikler arasındadır. Yeterli besin alamayan larvalarda gelişme süresi uzayabilir, ölüm oranı artabilir ve erginlerin yumurta bırakma kapasitesi azalabilir.

Böceklerin besin kalitesi ile doğal düşmanları arasındaki ilişkiler de önemlidir. Konukçu bitkinin besin içeriği herbivorun bünyesini değiştirebildiği için aynı zamanda herbivorla beslenen predatör ve parazitoitlerin performansını da etkileyebilir. Bu durum, bitki–herbivor–doğal düşman arasındaki üçlü etkileşimin önemli bir bileşenidir. Price ve arkadaşları (1980) bitkilerin herbivorların beslenme başarısını etkileyerek dolaylı biçimde doğal düşmanların performansını değiştirebildiğini belirtmiştir. Bu nedenle besin kaynaklarının niteliği, böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde doğrudan ve dolaylı etkiler meydana getirebilir.

2.7. Konukçu Bitkilerin Savunma Mekanizmaları

Fitofag böcekler açısından konukçu bitkinin varlığı, kalitesi ve savunma mekanizmaları popülasyon gelişimini doğrudan etkileyen biyotik faktörlerdir. Bitkiler, herbivor böceklere karşı fiziksel ve kimyasal savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Trikomlar, kalın epidermis ve sert dokular fiziksel savunmaya; alkaloidler, terpenoidler, fenolik bileşikler ve diğer ikincil metabolitler ise kimyasal savunmaya örnek olarak verilebilir.

Bitkinin besin içeriği de böceklerin gelişme ve üreme başarısında belirleyici olmaktadır. Konukçu bitkinin azot, karbonhidrat ve su içeriği böcek larvalarının gelişimini etkileyebilmektedir. Bunun yanında bitkinin yaşlanması, stres durumu ve fenolojik dönemi de böceklerin beslenme tercihlerini değiştirebilmektedir.

Bu nedenle böcek popülasyonlarının yalnızca doğal düşmanlar tarafından kontrol edildiği düşünülmemelidir. Rosenheim (1998), herbivor böceklerin popülasyon dinamiklerinde doğal düşmanların yanı sıra kaynakların ve konukçu bitkilerin de önemli rol oynadığını vurgulamıştır. Bu savunma bileşikleri böceklerin beslenme davranışlarını değiştirebilir veya gelişme ve üreme başarısını azaltabilir. Bazı bitkiler ayrıca herbivor saldırısı sonucunda uçucu organik bileşikler salgılayarak doğal düşmanları çekebilmektedir. Böylece bitkinin savunması doğrudan herbivora karşı gerçekleşirken, aynı zamanda predatör ve parazitoitlerin sisteme dahil olmasını sağlayan dolaylı bir mekanizma oluşturabilmektedir.

Bu ilişki, ekosistemlerde biyotik faktörlerin birbirleriyle ne kadar güçlü biçimde bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bitki savunması yalnızca herbivorun popülasyonunu azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda doğal düşmanların davranışını da etkileyebilmektedir.

2.8. Alternatif Av ve Konukçuların Önemi

Predatör ve parazitoitlerin ekosistem içerisinde uzun süre varlıklarını sürdürebilmeleri için hedef zararlı dışında alternatif besin kaynaklarına ihtiyaç duyabilmeleri önemli bir konudur.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Özellikle zararlı böcek popülasyonlarının düşük olduğu dönemlerde alternatif avların bulunması predatörlerin yaşamını sürdürmesine yardımcı olabilir. Benzer şekilde parazitoitler için alternatif konukçuların bulunması, doğal düşman popülasyonlarının tarımsal alanlarda korunmasını sağlayabilir.

Kütük ve Yiğit (2016), biyolojik mücadelenin başarısında alternatif av ve konukçuların yanı sıra doğal düşmanların kışlama alanlarının korunmasının önemini vurgulamıştır. Bu nedenle tarımsal ekosistemlerde yalnızca zararlı türlerin değil, doğal düşmanların yaşam alanlarının da korunması gerekmektedir. Çiçekli bitkilerin, çitlerin, doğal bitki örtüsünün ve uygun kışlama alanlarının korunması doğal düşmanların popülasyonlarını destekleyebilir.

2.9. Hiperparazitizm ve Doğal Düşmanlar Arasındaki Etkileşimler

Biyotik faktörler arasındaki ilişkiler yalnızca zararlı böcek ile doğal düşmanı arasındaki etkileşimle sınırlı değildir. Doğal düşmanların kendileri de başka organizmalar tarafından tüketilebilir veya parazitlenebilir. Hiperparazitoitler, birincil parazitoitlerin üzerinde veya içerisinde gelişerek onların popülasyonlarını sınırlandırabilir. Bu durum, zararlı böceğin doğal düşman baskısından kaçmasına ve popülasyonunun yeniden artmasına yol açabilir.

Gülmez ve arkadaşları (2023) Diyarbakır ve Elazığ meyve bahçelerinde Coccidae türleri üzerinde 14 parazitoit ve iki hiperparazitoit tür belirlemiştir. Bu bulgu, tarımsal ekosistemlerde doğal düşman topluluklarının çok katmanlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla biyolojik mücadele programlarında yalnızca hedef zararlı ile mücadele eden doğal düşmanın belirlenmesi yeterli değildir. Doğal düşmanın diğer organizmalarla olan ilişkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

2.10. Biyotik Faktörlerin Birlikte Etkisi ve Besin Ağı İlişkileri

Doğal ortamlarda predasyon, parazitizm, hastalık ve rekabet birbirinden bağımsız olarak gerçekleşmemektedir. Aynı böcek bireyi veya popülasyonu yaşam döngüsü boyunca birden fazla biyotik faktörün etkisi altında kalabilmektedir. Örneğin bir fitofag böcek hem bir predatör tarafından tüketilebilir hem de bir parazitoit tarafından enfekte edilebilir veya aynı konukçu bitki üzerindeki diğer herbivorlarla rekabet edebilir.

Doğal düşmanlar arasındaki etkileşimler de böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde önemlidir. Predatörlerin parazitoitleri tüketmesi, hiperparazitoitlerin parazitoitleri baskılaması veya bir patojenin konukçu böceğin savunma mekanizmalarını değiştirmesi, biyolojik kontrolün etkinliğini etkileyebilmektedir. Rosenheim (1998), doğal düşmanların da kendi doğal düşmanları tarafından baskılanabildiğini ve bu nedenle doğal düşman topluluklarının daha geniş bir besin ağı içerisinde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Türkiye'deki çalışmalar da bu karmaşık ilişkilerin tarımsal alanlarda mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Diyarbakır ve Elazığ'daki meyve bahçelerinde aynı zararlı grup üzerinde hem predatör, hem parazitoit hem de hiperparazitoitlerin belirlenmiş olması, tek bir zararlı türün çok sayıda biyotik etkileşim içerisinde bulunabileceğini göstermektedir (Gülmez vd., 2023). Bununla birlikte besin ağlarının karmaşıklığı, bir doğal düşmanın etkisinin başka bir doğal düşman tarafından değiştirilmesine neden olabilir. Finke ve Denno (2004), predatör

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

çeşitliliğinin besin ağı yapısını değiştirerek trofik etkilerin şiddetini etkileyebileceğini göstermiştir.

2.11. Biyotik Faktörlerin Biyolojik Mücadeledeki Önemi

Böceklerin çoğalmasını doğal olarak sınırlandıran biyotik faktörlerin anlaşılması, biyolojik mücadele çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Biyolojik mücadelede predatör, parazitoit ve entomopatojenlerden yararlanılarak zararlı popülasyonlarının ekonomik zarar düzeyinin altında tutulması amaçlanmaktadır.

Türkiye'de biyolojik mücadele konusunda yapılan çalışmalar, farklı tarımsal ekosistemlerde doğal düşmanların önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Uygun ve arkadaşları (2016), biyolojik mücadelede kullanılan canlı grupları ve doğal biyolojik mücadele mekanizmalarını kapsamlı biçimde değerlendirmiştir. Güven ve arkadaşlarının (2017) *Tuta absoluta* üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada *Trichogramma brassicae* ve *Nesidiocoris tenuis* kullanılarak yapılan uygulamaların zararlı popülasyonu ve bitki zararını azaltabildiği gösterilmiştir. Benzer şekilde Baki ve Erler (2023), entomopatojen fungusların *Aphis gossypii* üzerindeki biyolojik mücadele potansiyelini ortaya koymuştur.

Bu sonuçlar, doğal biyotik faktörlerin yalnızca ekolojik açıdan değil, sürdürülebilir tarım açısından da önemli olduğunu göstermektedir. Kimyasal mücadeleye aşırı bağımlılığın azaltılması ve doğal düşmanların korunması, tarımsal ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin devamlılığına katkı sağlayabilir.

2.12. Tarımsal Ekosistemlerde Biyotik Faktörlerin Korunması

Tarım alanlarında pestisitlerin yoğun ve yanlış kullanımı doğal düşmanların popülasyonlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle geniş spektrumlu insektisitler yalnızca hedef zararlıların değil, predatör ve parazitoitlerin de ölümüne neden olabilir. Bunun sonucunda doğal düşman baskısının azalması, bazı zararlı türlerin yeniden hızlı biçimde çoğalmasına yol açabilir. Bu nedenle Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) yaklaşımında doğal düşmanların korunması temel ilkelerden biridir. Zararlının ekonomik zarar eşiği dikkate alınmalı, doğal düşmanların varlığı izlenmeli ve mümkün olduğunca seçici mücadele yöntemleri tercih edilmelidir. Kılınçer ve arkadaşları (2010), biyolojik mücadelenin doğal popülasyon baskı mekanizmalarından yararlanması bakımından sürdürülebilir zararlı yönetiminde önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşımda tarımsal alanların çevresindeki doğal habitatların korunması, alternatif besin kaynaklarının sağlanması ve doğal düşmanların kışlama alanlarının muhafaza edilmesi de önemlidir. Böylece predatör ve parazitoitlerin tarımsal ekosistem içerisinde sürekli bulunması desteklenebilir.

3-SONUÇ

Böcek popülasyonlarının büyümesi ve çoğalması, ekosistem içerisindeki çok sayıda biyotik faktörün etkisi altında gerçekleşmektedir. Predatörler, parazitoitler, entomopatojenler, rekabet, besin kaynaklarının sınırlılığı ve konukçu bitkilerin savunma mekanizmaları, böcek popülasyonlarının doğal olarak sınırlandırılmasında önemli rol oynamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Predatör ve parazitoitler doğrudan ölüm oranlarını artırarak böcek popülasyonlarının yoğunluğunu azaltırken, entomopatojenler hastalık oluşturarak gelişme ve üreme başarısını düşürmektedir. Rekabet ise özellikle yüksek popülasyon yoğunluklarında besin ve yaşam alanı kaynaklarının bireyler arasında paylaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bunun yanında konukçu bitkilerin fiziksel ve kimyasal savunmaları, fitofag böceklerin beslenmesini ve çoğalmasını sınırlandırabilmektedir.

Sonuç olarak, böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde biyotik faktörler tek tek değil, birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunan çok katmanlı bir ekolojik sistem olarak değerlendirilmelidir. Predatör–av, parazitoit–konukçu, bitki–herbivor ve patojen–konukçu ilişkilerinin yanı sıra rekabet ve hiperparazitizm gibi etkileşimler de dikkate alınmalıdır. Biyotik faktörlerin korunması, ekosistem dengesinin sürdürülmesinin yanında sürdürülebilir tarımsal üretim açısından da önemlidir. Özellikle doğal düşmanların korunmasına dayalı biyolojik mücadele ve entegre zararlı yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması, zararlı böcek popülasyonlarının ekonomik zarar düzeylerinin altında tutulmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmalarda yalnızca tek bir zararlı türün değil, bitki–herbivor–predatör–parazitoit–patojen arasındaki bütüncül besin ağı ilişkilerinin araştırılması önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, hem ekolojik dengenin anlaşılmasına hem de kimyasal mücadeleye olan bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir biyolojik mücadele programlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4. KAYNAKÇA

Avcı, O., Öztemiz, S., & Ciner, İ. (2022). Amerikan beyaz kelebeği, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae)'nın ergin popülasyon takibi ile biyolojik mücadelesinde parazitoit ve predatörlerinin belirlenmesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 13*(2), 128–137. https://doi.org/10.31019/tbmd.1149134

Baki, D., & Erler, F. (2023). Biocontrol potential of some entomopathogenic fungi against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 14*(1), 44–53. https://doi.org/10.31019/tbmd.1204217

Barbosa, P., Aluja, M., & Martinez, R. (1991). Plant-mediated effects on insect herbivores and their natural enemies. *Ecological Entomology, 16*, 57–68.

Denno, R. F., Finke, D. L., & Langellotto, G. A. (2005). Direct and indirect effects of vegetation structure and food webs on insect herbivores. *Ecological Entomology, 30*, 533–544.

Finke, D. L., & Denno, R. F. (2004). Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature, 429*, 407–410. https://doi.org/10.1038/nature02554

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Altieri, M. A. (2004). *Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods*. CSIRO Publishing.

Gülmez, M., Gençer, L., & Ulusoy, M. R. (2023). Parasitoid and predator species of Coccidae (Hemiptera: Coccoidea) species in fruit orchards of Diyarbakır and Elazığ Provinces, Türkiye. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 14*(1), 30–42. https://doi.org/10.31019/tbmd.1197851

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Güner, P., Er, A., & Aşkun, T. (2025). Interactions between parasitoids and entomopathogenic fungi: Approaches for sustainable agriculture. Turkish Journal of Applied Sciences and Technology, 6(2), 143–164.

Güner, P., Er, A., & Aşkun, T. (2025). Interactions between parasitoids and entomopathogenic fungi: Approaches for sustainable agriculture. Turkish Journal of Applied Sciences and Technology, 6(2), 143–164.

Güven, B., Kılıç, T., Mıhcı, B., Şahin, Ç., & Uysal, D. (2017). Ege Bölgesinde *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae)'nın biyolojik mücadele olanaklarının araştırılması. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 8*(1), 59–70.

Hajek, A. E., & St. Leger, R. J. (1994). Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of Entomology, 39*, 293–322.

Hunter, M. D., & Price, P. W. (1992). Playing chutes and ladders: Heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology, 73*(3), 724–732.

Kılınçer, N., Yiğit, A., Kazak, C., Er, M. K., Kurtuluş, A., & Uygun, N. (2010). Teoriden pratiğe zararlılarla biyolojik mücadele. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 1*(1), 15–60.

Koca, A. S., & Kaçar, G. (2024). Maize pests and their natural enemies in the north-west of Türkiye. *KSU J. Agric Nat 27 (Suppl 1), 59-73, 2024*

Koller, J., Sutter, L., Gonthier, J., Collatz, J., & Norgrove, L. (2023). Entomopathogens and parasitoids allied in biocontrol: A systematic review. Pathogens, 12(7), 957.

Kütük, H., & Yiğit, A. (2016). Biyolojik mücadelenin başarısında parazitoit ve predatörlerin alternatif av ve konukçuları ile bunların kış barınaklarının önemi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 2*(1), 79–90.

Lacey, L. A., Frutos, R., Kaya, H. K., & Vail, P. (2001). Insect pathogens as biological control agents: Do they have a future? *Biological Control, 21*(3), 230–248.

Lewis, E. E., Campbell, J., Griffin, C., Kaya, H., & Peters, A. (2006). Behavioral ecology of entomopathogenic nematodes. *Biological Control, 38*(1), 66–79.

Losey, J. E., & Denno, R. F. (1998). Positive predator–predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology, 79*(6), 2143–2152.

Özgen, İ., & Karsavuran, Y. (2016). Diyarbakır, Elazığ ve Mardin illeri bağ alanlarında bulunan Cicadellidlerin predatör ve parazitoitleri ile yayılış alanları. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 1*(2).

Özgökçe, M. S., Atlıhan, R., & Karaca, İ. (2006). The effect of predator *Orius niger* on the population dynamics of *Aphis fabae* in broad bean. *Journal of Pest Science, 79*, 69–73.

Pell, J. K., Hannam, J. J., & Steinkraus, D. C. (2010). Conservation biological control using fungal entomopathogens. *BioControl, 55*, 187–198.

Price, P. W., Bouton, C. E., Gross, P., McPheron, B. A., Thompson, J. N., & Weis, A. E. (1980). Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics, 11*, 41–65.

Rosenheim, J. A. (1998). Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. *Annual Review of Entomology, 43*, 421–447.

Schmitz, O. J., Hambäck, P. A., & Beckerman, A. P. (2000). Trophic cascades in terrestrial systems: A review of the effects of carnivore removals on plants. *The American Naturalist, 155*(2), 141–153. https://doi.org/10.1086/303311

Straub, C. S., Finke, D. L., & Snyder, W. E. (2008). Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control, 45*(2), 225–237.

Telli, S., & Yiğit, A. (2016). Turunçgil unlubiti, *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae) ile bazı predatör coccinellid (Coleoptera) türleri arasındaki av/avcı ilişkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 3*(2), 121–132.

Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T. O., Kleijn, D., Rand, T. A., Tylianakis, J. M., van Nouhuys, S., & Vidal, S. (2007). Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control, 43*(3), 294–309.

Uygun, N., Ulusoy, M. R., & Satar, S. (2016). Biyolojik mücadele. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 1*(1), 1–14.

van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl, 57*, 1–20.

Vidal, M. C., Comerford, M. S., Maguire, B., & Murphy, S. M. (2026). Top-down and bottom-up effects on insect herbivores under global change—A meta-analysis. *Ecology Letters, 29*, e70386. https://doi.org/10.1111/ele.70386

Yerlikaya, H., Başpınar, H., Uygun, N., & Kaydan, M. B. (2023). Mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) predators of the family Coccinellidae (Coleoptera) from Aydın Province, Türkiye. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 14*(1), 54–62. https://doi.org/10.31019/tbmd.1226047

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

APPROACHES TO DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN VETERINARY MEDICINE AND RURAL LIVESTOCK FARMING

Prof.Dr.Ramazan İLGÜN
Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı
rilgun2017@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0150-3008

ABSTRACT

The institutionalization of the Veterinary profession and the inception of modern scientific training in the field date back to the 20th century. The importance of this profession is growing day by day, driven particularly by the rising demand for safe animal-based food resulting from population growth both globally and within our country. Within the framework of the "One Health" approach, the digital artificial intelligence revolution worldwide will support not only animal health but also public health and environmental sustainability. As in every professional field, advancements in technology and artificial intelligence applications have rendered traditional methods long the standard in agriculture and livestock farming, the core domains of veterinary medicine insufficient. Modern livestock practices still rely heavily on human observation, experience, and manual procedures. However, these methods can lead to numerous issues, such as delays in diagnosing and analyzing animal diseases; data loss resulting from manual record-keeping and analysis errors; reduced milk yield due to feed wastage; difficulties in monitoring reproduction; the risk of mastitis during manual milking; significant errors in farm and herd management; and the unnecessary use of medication most notably leading to the emergence of antibiotic resistance in treating animal diseases. Digital transformation will facilitate the efficient and effective use of resources in our country, helping to ensure global food security and reduce environmental impact while simultaneously safeguarding animal welfare. In summary, the adoption of digitalization and artificial intelligence in veterinary medicine and rural livestock farming has begun to play a pivotal role in ensuring animal welfare, reducing labor requirements, maintaining accurate and reliable data, boosting productivity, and guaranteeing the safety of food production.

Keywords: Artificial intelligence, agriculture, livestock farming, digitalization.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

INTRODUCTION

The institutionalization of the Veterinary profession and the inception of modern scientific training in the field date back to the 19th century. Factors such as rapid global population growth, climate change, and the depletion of natural resources place significant pressure on agricultural production. It has become imperative for the agricultural sector to shift towards more efficient and sustainable methods. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) emphasizes that digital technologies and artificial intelligence can make agricultural production more efficient, sustainable, and resilient. Artificial intelligence is a suite of technologies that supports decision-making processes by analyzing vast amounts of data.

In the agricultural sector, it is used in conjunction with sensors, satellite imagery, drones, and meteorological data to provide farmers with real-time information. (1,2). The aim of this review study is to evaluate the applications of artificial intelligence in the detection of contemporary animal and plant diseases, the enhancement of agricultural productivity, and effective farm management.

Artificial Intelligence Application Areas in Veterinary Medicine and Rural Agriculture

a) Smart irrigation systems in Rural Agriculture

Since the 2000s, climate change and specifically the efficient use of consumable water resources has become one of the most critical issues in modern agriculture. For instance, irrigation systems that reduce water waste through the use of drip irrigation lines have come into use (3). It is reported that these systems, in particular, analyze factors such as soil moisture, temperature, precipitation, and crop requirements to ensure irrigation occurs at the right time and in the right quantity (4).

b)Animal Disease and Pest Detection

Artificial intelligence technologies have begun to transform diagnostic and treatment processes in Veterinary medicine, just as they have in the healthcare sector. Scientific studies published in recent years indicate that artificial intelligence has become a powerful support tool in Veterinary medicine, particularly in the fields of imaging and data analysis (6). The combined application of artificial intelligence's decision-making capabilities and robotics constitutes the fundamental building block for fully autonomous smart farms. It has been reported that, through capabilities such as artificial intelligence applied in areas such as image processing, decision-making, monitoring, classification, forecasting, and farm and herd management systems can

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

resolve many issues and address critical situations on farms that would normally require human intervention. (7). It is reported that research utilizing image processing and sensor-based systems in agriculture demonstrates that pest-induced stress in plants can be detected through thermal and acoustic changes; furthermore, drone-based imaging systems and autonomic robots surpass traditional observation methods by enabling rapid data collection and on-site assessment across vast agricultural areas, thereby potentially leading to reduced pesticide use, a lower environmental burden, and increased productivity (8, 11).

c)Yield and Harvest Forecasting

Farmers can save time and labor in processes such as soil preparation, sowing, maintenance, fertilization, and harvesting by utilizing artificial intelligence, while also achieving improvements in yield and quality; specifically, AI algorithms are applied to assess the quality of seeds, soil, and fertilizer, as well as to predict irrigation schedules and crop yields. Furthermore, it is reported that AI algorithms are employed for disease and pest detection, as well as in harvesting operations particularly during harvesting, cleaning, transport, storage, and the assessment of product quality (9).

d) Agricultural Consultancy and Decision Support Systems

It is reported that AI can help transform agricultural production for smallholder farmers in low- and middle-income countries, strengthen global climate resilience, and facilitate farm operations; however, it is also noted that AI should be used in accordance with ethical principles and applied only where it truly adds value (10, 11).

CONCLUSION

Artificial intelligence offers significant opportunities as a key technology shaping the future of veterinary medicine and rural agriculture. Applications such as smart irrigation, disease detection, yield forecasting, and digital advisory services enable farmers to make more informed decisions and optimize their production processes. However, for these technologies to become widespread in rural areas, it is essential to improve internet infrastructure, enhance farmers' digital skills, and implement appropriate support policies and credit schemes; with the right investments and effective training programs, artificial intelligence will become a powerful tool that accelerates rural development and supports sustainable agriculture.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

In conclusion, the global use of artificial intelligence in agriculture and livestock farming is increasing, just as it is in every other field.

REFERENCES

1. Food and Agriculture Organization (FAO). Digital Agriculture and AI Innovation. https://www.fao.org/innovation/digital-agriculture-and-ai-innovation.Access data:22.09.2026
2. FAO & International Telecommunication Union (ITU). Digital Agriculture in Action: ArtificialIntelligenceforAgriculture(2021).https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb7142en.
3. Aras İ., (2006). Drip irrigation. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi,15(1),pp.49-60.
4. Yapay zeka destekli sulama otomasyonu ile su tasarrufu. https://dsi.gov.tr/Haber/Detay/15112.Acess data:22.09.2026.
5. Özcan, M. S., & İnal, K. S., (2026). Veteriner Görüntülemede Yapay Zekâ Destekli Tespit Sistemlerinin İncelenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2026. https://doi.org/10.35229/jaes.1809339.
6. Anonim.https://www.milliyet.com.tr/pazar/veterinerlikte-yapay-zeka-donemi-7576986.Access data:20.09.2026.
7. Işık, A.H., Ferdi Alakuş F., Eskicioğlu. Ö.C., (2021). Hayvancılıkta Robotik Sistemler ve Yapay Zekâ Uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9,370-382.
8. Güler ,C., Şin, B., Karabörklü. S., (2025). Entegre Zararlı Yönetimi Çalışmalarında Akıllı Tarım Sistemlerinin Kullanım Olanakları. *Journal of Agricultural Biotechnology (JOINABT)* 6(2), 81-97.
9. Anonim.https://turktarim.gov.tr/Haber/958/yapay zeka tarımda kullanılabilirmi.Access data.22.09.2026.
10. Anonim.https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/publication/harnessing-artificial-intelligence-for-agricultural-transformation..Acess data.22.09.2026.
11. World Bank. Digital Agriculture Roadmap Playbook (2025).

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EVALUATIONS OF MACRO-ANATOMICAL CHANGES IN DAIRY CATTLE AGED 1–5 YEARS FROM PREGNANCY TO THE DRY PERIOD

Prof.Dr.Ramazan İLGÜN
Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı
rilgun2017@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0150-3008

ABSTRACT

In today's world, where access to animal-based foods which are crucial for human health and the importance of their production are steadily increasing, successful milk production depends on efficient and robust dairy farming practices. Milk production plays a vital role as a fundamental component of animal agriculture, both globally and within our country. High reproductive performance in dairy animals is a fundamental requirement for the economic sustainability of an efficient dairy farming operation. In dairy farming, the gestation period is not merely a time for fetal development; it is also recognized as a multifaceted adaptation process that prepares the maternal organism for parturition and lactation. In this context, morphological and macro-anatomical monitoring and observation are of great importance. As pregnancy progresses, live body weight increases, and the anatomical center of gravity shifts. Relaxation has been observed in the ligaments of the bones forming the pelvic cavity. Following the diagnosis of pregnancy, the most distinct morphological changes are observed in the structure of the uterus; the uterine weight, which is approximately 700–1000 grams in the non-pregnant state, can increase 10- to 15-fold by the final stages of pregnancy. The uterine horns expand significantly particularly in the region where pregnancy is established and increase in volume alongside the development of the fetal membranes. Changes in hormonal balance begin to occur as the pregnancy nears its final stages: estrogen levels rise while progesterone levels fall, initiating the process of preparation for parturition. While embryonic development is the primary focus during the first trimester, fetal growth accelerates from the second trimester onwards, and the uterus expands to occupy a large portion of the abdominal cavity. Understanding the anatomical changes that occur throughout pregnancy from morphological, morphometric, and clinical perspectives is of great importance to veterinarians, as the accurate interpretation of rectal palpation and ultrasonographic examinations relies on this knowledge.

Keywords: Dairy cattle farming, morphology, pregnancy.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

INTRODUCTION

In today's world, where access to animal-based foods which are crucial for human health and the importance of their production are steadily increasing, successful milk production depends on efficient and robust dairy farming practices. Milk production plays a vital role as a fundamental component of animal agriculture, both globally and within our country. High reproductive performance in dairy animals is a fundamental requirement for the economic sustainability of an efficient dairy farming operation.

In dairy farming, the gestation period is not merely a time for fetal development; it is also recognized as a multifaceted adaptation process that prepares the maternal organism for parturition and lactation. In this context, morphological and macro-anatomical monitoring and observation are of great importance. In cows, the gestation period is not merely a time for fetal development; it is also a multifaceted period of adaptation that prepares the maternal organism for parturition and lactation.

Anatomically, numerous macro-anatomical changes occur throughout gestation, such as uterine growth, placental development, the preparation of mammary glands for lactation, and the topographical repositioning of abdominal organs. The remodeling of the mammary gland is of critical importance regarding the dry period which begins approximately 45–60 days prior to calving and preparation for the subsequent lactation period (1,2).

Macro-Anatomical Changes in the Reproductive System During Pregnancy

Macroanatomically, the uterus undergoes changes involving increases in volume and weight. For instance, it is reported that the uterus which weighs approximately 0.5–1 kg in the non-pregnant state reaches a level of 60–80 kg by the end of pregnancy due to the influence of the fetus, placenta, and fluids (3,4,5). From the early months of pregnancy, the uterine horn containing the fetus (cornu uteri dexter) enlarges significantly compared to the cornu sinister, resulting in an asymmetrical appearance (6).

Caruncle structures on the inner uterine wall join with the cotyledons of the placenta to form placentomes; these placentomes enlarge as pregnancy progresses (7). Regarding ovarian changes, the corpus luteum of pregnancy (corpus luteum graviditatis) persists in one of the ovaries throughout the period from the onset of pregnancy to parturition, secreting the hormone progesterone, which maintains the pregnancy.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

In terms of topographical changes, the cervix uteri is drawn toward the floor of the pelvic cavity as the uterus is pulled into the abdominal cavity. Changes such as relaxation and edema occur in the vagina and vulva. Monitoring these anatomical changes enables pregnancy diagnosis in the field via rectal palpation and ultrasonography (3,4,5,6,7).

Macro-Anatomical Changes in the Musculoskeletal System During Pregnancy

As parturition approaches particularly during the final 2–3 weeks rising estrogen levels (secreted by the placenta and ovaries) cause the relaxation of the sacrotuberous and sacroiliac ligaments, which connect the pelvic bones (4). The resulting laxity of the pubic symphysis leads to an enlargement of the cranial and caudal pelvic apertures (7). The shift in the center of gravity, combined with increased vertical mechanical stress on the hip joints, alters the gait and posture of cows especially during the final month of pregnancy and has been reported to prolong the time required for them to rise to a standing position (8).

Macro-Anatomical Changes in the Digestive and Respiratory Systems During Pregnancy

As pregnancy progresses, the physical volume of the rumen decreases, and physical pressure is exerted on surrounding organs; specifically, in the final months of pregnancy, the uterus extending into the abdominal cavity compresses digestive organs (particularly the rumen) upwards and forwards, reportedly leading to a reduction in ruminal content volume (9). Displacement of the Diaphragm and Reduction in Lung Volume: The forward displacement of intra-abdominal organs by the enlarging uterus exerts pressure on the diaphragm the muscle separating the thoracic and abdominal cavities pushing it into the chest cavity; this reportedly results in a reduction of the lungs' functional residual capacity (FRC) (10).

CONCLUSION

Understanding the anatomical changes that occur during pregnancy is of great importance for veterinarians. The accurate interpretation of rectal palpation and ultrasonographic examinations relies on this knowledge. Monitoring the anatomical changes observed as parturition approaches helps in estimating the time of birth. (NAV, 2017) was consulted for the terminology used in this review

REFERENCES

1. Keith. M., Dyce, Wolfgang O., Sack, C. J. G. Wensing (2009). Textbook of Veterinary Anatomy - E-Book, Elsevier Health Sciences.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2. Noakes DE, Parkinson TJ, England GCW.,(1997) Veterinary Reproduction and Obstetrics.Veterinary reproduction & obstetrics (7th edn), edited by G.H. Arthur, D.E. Noakes, H. Pearson and T.J. Parkinson : book review. *Journal of the South African Veterinary Association* 68(1):15.

3. Alaçam, E. (2010). Evcil Hayvanlarda Doğum ve İnfertilite. Medisan yayınları Ankara.

4. David E. Noakes, Timothy J. Parkinson, Geoffrey H. Arthur, Gary C. W. England. (2001). Arthur's Veterinary Reproduction and Obstetrics, Imprint: Saunders Ltd.

5. Senger ,P.,L. (2015). Pathways to Pregnancy and Parturition. Current Conceptions Inc., ISBN-10 : 096576480X.

6. Youngquıst, R.S. and Walter R.T. (2007). Current Therapy in Large Animal Theriogenology, Saunders., ISBN: 978-0-7216-9323-1. Sec.Edit.

7. Hafez, B.and E.S.E Hafez. (2000). Reproduction in Farm Animals. Lippincott Williams & Wilkins.pp.13-29.

8. Risco, C. A., & Retamal, P. (2011). Dairy Production Medicine. Wiley-Blackwell. (Bölüm: Management of the transition cow and periparturient disorders).

9. Gunter, S. A., et al. (1993). Effects of pregnancy on digesta kinetics and ruminal fermentation in beef cows. Journal of Animal Science, 71(11), 3101-3108.

10. Keith, I.M, Bisgard, G.E., Manohar, M, Klein. J., Bullard. V.A(1982). Respiratory effects of pregnancy and progesterone in Jersey cows. Respir Physiol. 1982 Dec;50(3):351-8. doi: 10.1016/0034-5687(82)90028-7. PMID: 6819620.

11. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. (2017). Nomina Anatomica Veterinaria (6th ed.). Editorial Committee. Hanover, Columbia, Ghent, Sapporo.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

KAUÇUK UÇLU ELDİVEN PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE TÜY YOLMA OPERASYONUNDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Gülcan AVCIOĞLU
gulcanavcioglu@hastavuk.com - 0009-0003-4140-1476
Kıvılcım ATEŞ ÇAKIROĞLU
kivilcimates@hastavuk.com - 0000-0001-9550-2801

ÖZET

Beyaz et üretim tesislerinde üretim süreci; kesim, tüy yumuşatma, tüy yolma, iç organ çıkartma, karkas soğutma, anatomik parçalama, paketleme, depolama ve sevkiyat ana aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği HasTavuk üretim tesisinde tüy yumuşatma işleminde aeroscalder (buhar ile yumuşatma) teknolojisi kullanılmaktadır. Tüyleri yumuşamış olan piliçler tüy yolma makinelerine yönlendirilir ve tüyleri yolunur, makine çıkışında tüy kontrol personeli tarafından da kontrolü sağlanır. Bu kontrolde piliç üzerinde tüy kalması durumunda personeller elleri ile yolma işlemini gerçekleştirir. Piliçlerin yumuşatma basamağında derinin ve tüylerin nemlenmesi v.b. sebeplerle oluşan kayganlaşma, ellerinde bulunan nitril eldivenle yolma işlemini de zorlaştırmaktadır. Personellerin önünden dakikada ortalama 200 adet piliç geçmektedir ve bu çalışma hızında kavranamayan tüyler yolunamamakta ve tekrar kavramaya vakit kalmamaktadır. Bu durumda tüy, piliç üzerinde kalabilmekte ve ürün kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında tüy yolma makinelerinde kullanılan kauçuk malzemelerden yola çıkılarak aynı malzeme kontrol operasyonunda personelin kullandığı eldivene uyarlanacaktır. Kauçuk yüksek sürtünme katsayısı nedeniyle tüy şaftını kavrayıp çekmek için gerekli tutuşu sağlarken piliç derisine zarar vermemekte, dayanımı sebebiyle çok uzun süre aşınmadan kullanılabilmektedir. Parmak hareketlerini kısıtlamayacak ergonomik tasarım Autodesk Fusion ortamında gerçekleştirilmiş, ön deneme için prototipler Bambu Lab H2S Combo 3D yazıcı kullanılarak esnek filament ile üretilmiş, parmak uçlarına kauçuk kesilerek yerleştirilmiştir. Mevcut nitril eldiven ile karşılaştırıldığında tüy kavrandığında yolunabilme oranında yüksek düzeyde iyileşmeler gözlemlenmiştir, kauçuk uçların dayanıklılığı test edilmiştir. Tasarımı tamamlanan eldivenin seri üretimi için araştırmalar devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tüy yolma, Kauçuk uçlu eldiven, Ergonomik tasarım, Beyaz et üretimi, Prototip geliştirme

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

DEVELOPMENT OF A RUBBER-TIPPED GLOVE PROTOTYPE AND EVALUATION OF ITS PERFORMANCE IN THE FEATHER PLUCKING OPERATION

Gülcan AVCIOĞLU
gulcanavcioglu@hastavuk.com - 0009-0003-4140-1476
Kıvılcım ATEŞ ÇAKIROĞLU
kivilcimates@hastavuk.com - 0000-0001-9550-2801

ABSTRACT

The production process in poultry meat production facilities consists of the main stages of slaughtering, feather softening, feather plucking, evisceration, carcass chilling, anatomical cutting, packaging, storage, and shipment. At the HasTavuk production facility where this study was conducted, aeroscalder technology (steam-based feather softening) is used in the feather softening process. After the feathers are softened, the poultry are directed to feather plucking machines, where the feathers are removed, followed by a final inspection by quality control personnel at the machine exit. If any feathers remain on the poultry during this inspection, personnel manually remove them using their hands. The slippery condition caused by factors such as moisture on the skin and feathers during the softening stage makes manual feather removal more difficult when using conventional nitrile gloves. An average of 200 poultry pass in front of each operator per minute, and at this operating speed, feathers that cannot be firmly grasped cannot be removed, as there is insufficient time for repeated gripping. Consequently, feathers may remain on the poultry, negatively affecting product quality. Within the scope of this study, rubber materials used in feather plucking machines were adapted to the gloves used by personnel during the inspection and feather removal operation. Due to its high coefficient of friction, rubber provides the necessary grip to grasp and pull the feather shaft without damaging the poultry skin. Its durability also enables long-term use with limited wear. An ergonomic design that does not restrict finger movement was developed using Autodesk Fusion. For preliminary testing, prototypes were produced from flexible filament using a Bambu Lab H2S Combo 3D printer, and rubber pieces were cut and attached to the fingertips. Compared with conventional nitrile gloves, significant improvements were observed in the rate of successful feather removal when feathers were grasped. The durability of the rubber tips was also tested. Research into the mass production of the finalized glove design is ongoing.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Keywords: Feather plucking, Rubber-tipped glove, Ergonomic design, Poultry meat production, Prototype development

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EFFECT OF STRESS RELIEF HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF LASER POWDER BED FUSION 316L STAINLESS STEEL

Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR

Erzurum Technical University, hilmi.tekdir@erzurum.edu.tr- 0000-0002-9141-9514

Prof. Dr. Ali Fatih YETİM

Erzurum Technical University, fatih.yetim@erzurum.edu.tr- 0000-0002-4314-6830

ABSTRACT

Laser Powder Bed Fusion (LPBF), a prominent metal additive manufacturing technology, is widely employed to produce AISI 316L stainless steel components for demanding industrial applications. This study aims to investigate the influence of stress relief heat treatment on the residual stress, surface hardness, and pin-on-disc wear behavior of LPBF-fabricated 316L stainless steel (SS). Samples with dimensions of 20 × 20 × 3 mm were produced and subsequently subjected to stress relief thermal treatment at 350 °C for 2 h under a controlled argon atmosphere to prevent surface oxidation. Characterization of the as-built (AB-316L) and heat-treated (HT-316L) specimens was performed using X-ray diffractometry (XRD), a Vickers micro-hardness tester, and a 3D optical profilometer for wear track examination. Dry sliding wear tests were conducted against Al_2O_3 ceramic balls under a 5 N normal load in ambient air conditions using a pin-on-disk tribometer. Experimental results revealed that the post-processing heat treatment effectively relieved process-induced internal stresses, reducing the residual tensile stress from 88 ± 5 MPa (AB-316L) to 30 ± 3 MPa (HT-316L), alongside a slight decrease in surface microhardness from 270 ± 12 $HV_{0.1}$ to 225 ± 10 $HV_{0.1}$. Crucially, the tribological performance improved following stress relief: the mean coefficient of friction (COF) dropped from 0.72 to 0.61, while the cumulative wear loss decreased significantly from 0.841 mm^3 to 0.690 mm^3. The reduction in friction and volumetric wear loss demonstrates that thermal stress relief is an effective strategy for enhancing the tribological longevity of LPBF-built 316L components by mitigating solidification-induced residual stresses.

Keywords: Laser Powder Bed Fusion (LPBF), 316L SS, Stress relief heat treatment, Residual stress, Tribological properties.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TOZ YATAĞINDA METAL EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Hilmi TEKDİR
Erzurum Teknik Üniversitesi, hilmi.tekdir@erzurum.edu.tr- 0000-0002-9141-9514
Prof. Dr. Ali Fatih YETİM
Erzurum Teknik Üniversitesi, fatih.yetim@erzurum.edu.tr- 0000-0002-4314-6830

ÖZET

Önemli bir metal eklemeli imalat teknolojisi olan Toz Yatağında Lazer Ergitme (LPBF), zorlu endüstriyel uygulamalar için AISI 316L paslanmaz çelik bileşenlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, gerilim giderme ısıl işleminin LPBF ile üretilen 316L paslanmaz çeliğin (SS) kalıntı gerilmesine, yüzey sertliğine ve pinli dairesel aşınma davranışına etkisini incelemeyi amaçlamıştır. 20 × 20 × 3 mm boyutlarındaki numuneler üretilmiş ve ardından yüzey oksidasyonunu önlemek amacıyla kontrollü argon atmosferinde 350 °C'de 2 saat boyunca gerilim giderme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. İşlemsiz (AB-316L) ve ısıl işlemli (HT-316L) numunelerin karakterizasyonu; X-ışını difraktometresi (XRD), Vickers mikro sertlik ölçüm cihazı ve aşınma izi incelemesi için 3D optik profilometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuru ortamda uygulan aşınma testleri, pim-disk tribometre kullanılarak oda sıcaklığı koşullarında 5 N normal yük altında Al_2O_3 seramik bilye kullanılarak yürütülmüştür. Deneysel sonuçlar, uygulanan ısıl işlemin imalat sürecinden kaynaklanan iç gerilmeleri etkili bir şekilde giderdiğini, yüzey mikro sertliğinde 270 ± 12 $HV_{0.1}$'den 225 ± 10 $HV_{0.1}$'e hafif bir düşüşle birlikte kalıntı çekme gerilmesini 88 ± 5 MPa'dan (AB-316L) 30 ± 3 MPa'ya (HT-316L) düşürdüğünü ortaya koymuştur. En önemlisi, gerilim giderme işleminin ardından tribolojik performans iyileşmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı (COF) 0,72'den 0,61'e düşerken, kümülatif aşınma kaybı 0,841 mm^3'ten 0,690 mm^3'e önemli ölçüde azalmıştır. Sürtünme ve hacimsel aşınma kaybındaki azalma, termal gerilim gidermenin, katılaşma kaynaklı kalıntı gerilmeleri hafifleterek LPBF ile üretilen 316L bileşenlerin tribolojik ömrünü artırmada etkili bir strateji olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Toz Yatağında Lazer Ergitme (LPBF), 316L Paslanmaz Çelik, Gerilim giderme ısıl işlemi, Kalıntı gerilme, Tribolojik özellikler.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. INTRODUCTION

Additive manufacturing is one of the most important milestones of technological production methods and it differs greatly from traditional manufacturing methods in terms of its methodology (Khedr et al., 2023). In contrast to traditional manufacturing methods, complex structures can be created easily by adding materials layer by layer regardless of component geometry (Hrabe & Quinn, 2013). Among different metal additive manufacturing methods, laser powder bed fusion (LPBF) is one of the mostly used techniques due to its reduced production time, adaptable manufacturing methodology and high design freedom (Periyasamy & Srinivasan, 2025; Voisin et al., 2022). AISI 316L stainless steel has become a widely processed material in LPBF applications because of its good mechanical strength, high ductility and excellent corrosion resistance in demanding industrial sectors (Laleh et al., 2019; Yadroitsev et al., 2010). AISI 316L stainless steel has become a widely processed material in LPBF applications because of its good mechanical strength, high ductility and excellent corrosion resistance in demanding industrial sectors (Kan et al., 2022; Novak et al., 2021). In the LPBF process, processing parameters such as laser power and scanning speed directly affect the microstructural features, including bimodal grain structures and cellular substructures (Tan et al., 2021).

In spite of these desirable properties, components produced by LPBF inherently experience steep thermal gradients and constrained thermal shrinkage during rapid melting and cooling cycles. As a result of these extreme thermal cycles, high tensile residual stresses up to 500 MPa are generated within the as-built parts (Dwivedi et al., 2026). These process-induced internal stresses can cause geometrical distortions, premature cracking and microstructural deterioration during service life, which limit the performance and reliability of LPBF-built 316L components (Li et al., 2024).

In order to extend the service life and improve the properties of LPBF 316L stainless steel, various post-processing surface modification and thermal treatment methods were proposed in different studies. Some researchers focused on surface coatings such as physical vapor deposition (PVD) and multi-layer thin films to increase surface hardness and wear resistance (Rashtchi et al., 2024; Staszuk, 2023). Aside from surface coatings, bulk heat treatments and hot isostatic pressing (HIP) were widely utilized to relieve internal residual stresses (Chen et al., 2025; Wang et al., 2021). Shin et al. investigated the effect of high-temperature heat treatment (1100 °C) and HIP on LPBF 316L, reporting that high temperatures eliminated residual stresses and cellular substructures, but caused surface softening and increased wear loss under dry sliding conditions (Shin et al., 2021). Dwivedi et al. demonstrated that post-heat treatments relieved internal tensile stresses up to 90%, while solution annealing formed protective tribofilms under lubricated conditions (Dwivedi et al., 2026). In a different study, Li et al. emphasized that annealing altered cellular dislocation networks and nano-oxide inclusions, affecting the balance between strength and ductility (Li et al., 2024). Likewise, Ozdogan et al. showed that stress relaxation and recrystallization behavior at elevated temperatures significantly influenced the fracture mechanisms of LPBF 316L (Ozdogan et al., 2026).

As seen in this literature survey, many different studies were performed to investigate the effects of high-temperature annealing, HIP and surface coatings on the microstructural,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

mechanical and tribological behavior of LPBF 316L stainless steel. However, high-temperature treatments often dissolve the fine cellular sub-boundaries, leading to a notable reduction in surface microhardness. Moreover, there isn't any study in the scientific literature which examines the influence of a low-temperature stress relief heat treatment at 350 °C for 2 hours in a controlled argon atmosphere on both residual stress relaxation and wear performance of LPBF 316L stainless steel without inducing surface oxidation.

Therefore, the main objective of this study is to investigate the effects of low-temperature argon stress relief heat treatment (350 °C, 2 h) on the structural, mechanical and tribological properties of LPBF-built 316L stainless steel. For that reason, as-built (AB-316L) and stress-relieved (HT-316L) samples were prepared and evaluated. Residual stress states and phase structures were characterized by X-ray diffraction (XRD). Mechanical properties were determined using a Vickers microhardness tester, while dry sliding wear tests were performed using a pin-on-disk tribometer. Finally, wear track morphologies and cumulative wear losses were evaluated using 3D optical profilometry.

2. EXPERIMENTAL DETAILS

2.1. LBPF Process and Heat Treatment

Prismatic samples of 316L stainless steel measuring 20 × 20 × 3 mm were fabricated utilizing the laser powder bed fusion (LPBF) technique. Spherical 316L metal powders with particle sizes ranging from 20 to 80 μm were selected as the raw building material. The standard chemical composition of these powders is provided in Table 1.

Table 1. The chemical composition of the 316L stainless steel powders (wt.%).

Material	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P
316L SS	Balance	16.5-18.5	10-13	2-2.5	0–2	0-1	0–0.045

The additive manufacturing operations were carried out on an MLab Cusing Machine (Concept Laser) equipped with a 100 W Ytterbium fiber laser. An external view of the utilized LPBF equipment is presented in Fig. 1a. To prevent any possible oxidation during the layer-by-layer melting process, the building chamber was continuously purged with nitrogen gas. A specific set of process parameters was chosen to achieve a uniform melt pool and ensure the structural integrity of the final parts. The laser power was set to 50 W and the scanning speed was maintained at 500 mm/s. The powder layer thickness was adjusted to 25 μm. Also, a chessboard scanning strategy with a 90° rotation between consecutive layers was applied for efficient material consolidation.

Following the manufacturing phase, a group of the as-built samples underwent a stress relief heat treatment to modify their internal stress states. This thermal process was conducted using a Protherm MoS series high-temperature furnace equipped with molybdenum disilicide heating elements, as shown in Fig. 1b. The specimens were heated to 350 °C and maintained at this temperature for 2 hours. A controlled argon atmosphere was provided throughout the entire heating and cooling cycles to strictly avoid the formation of any surface oxide layers.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

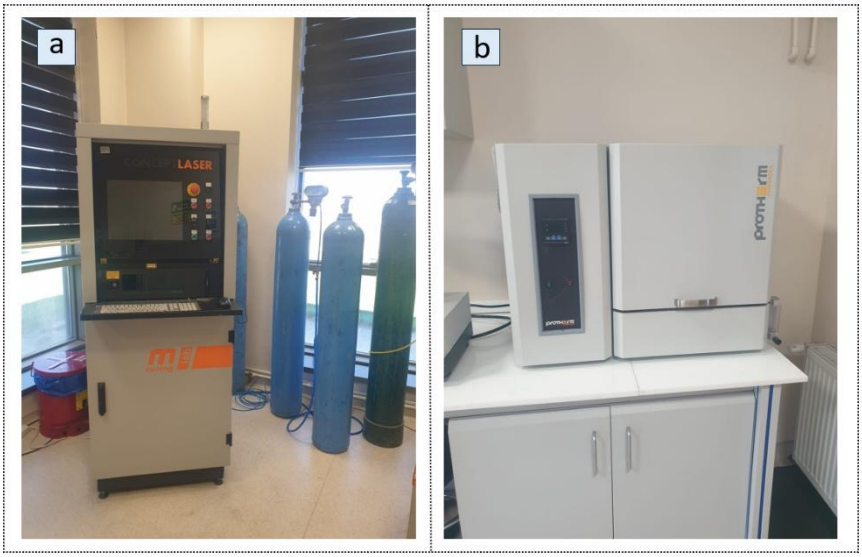


Fig.1. The equipment used in the production and heat treatment: (a) MLab Cusing LPBF machine and (b) Protherm MoS series high-temperature heat treatment furnace.

2.2. Microstructural Characterization and Tribological Tests

Phase identification and residual stress analyses of the samples were performed using an X-ray diffractometer (XRD-GNR-Explorer). The device was operated with a Cu Kα1 radiation source (λ = 1.540 Å) at 40 kV and 30 mA. Diffraction patterns were recorded over a 2θ scale ranging from 20° to 100°. The obtained XRD spectra were analyzed utilizing Match! software and the identified phases were verified with JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) reference cards. In order to quantitatively evaluate the process-induced internal stresses, the $\sin^2\psi$ method was employed. Diffraction data for the stress calculation were carefully collected at multiple ψ tilt angles varying between −45° and +45°. This approach provided a reliable linear $\sin^2\psi$ relationship to determine the residual stress distributions on the sample surfaces.

The surface microhardness of both as-built and heat-treated specimens was measured utilizing a Shimadzu HMV-G-20 Vickers hardness tester. A constant test load of 100 g ($HV_{0.1}$) was applied with a dwell time of 20 s. Hardness measurements were repeated at least ten times at different locations on every sample and the values were averaged to ensure the accuracy of the results.

Dry sliding wear tests were carried out at room temperature (20 ± 2 °C) using a Bruker UMT pin-on-disk tribometer in accordance with the ASTM G 99–17 standard. Alumina (Al_2O_3) ceramic balls with a diameter of 6 mm were chosen as the counterface pin material. A normal load of 5 N was applied over a total sliding distance of 141 m. The real-time coefficient of friction (COF) values were automatically calculated and recorded by the tribometer software during the sliding motion. After completing the wear tests, the worn surfaces, track morphologies and cumulative wear losses were examined in detail utilizing a 3D optical profilometer (Bruker Contour GT).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Phase Composition and Structural Evolution

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

The structural phases of both the as-built and heat-treated 316L stainless steel samples were identified using X-ray diffraction analysis. Fig. 2 displays the XRD patterns of the AB-316L and HT-316L specimens. As shown in the spectra, both sample groups exhibit a single-phase face-centered cubic (FCC) austenite (ɣ-Fe) structure. The main diffraction peaks are clearly located at the (111), (200), (220) and (311) crystallographic planes. Due to the rapid solidification and interlayer remelting inherent to the LPBF process, the initial ferrite phase almost entirely transforms into austenite (Tillmann et al., 2021; Voisin et al., 2022). Furthermore, since the 350 °C thermal treatment was carefully conducted in a controlled argon atmosphere, no hexagonal hematite (Fe_2O_3) or cubic magnetite (Fe_3O_4) peaks were detected in the HT-316L spectrum.

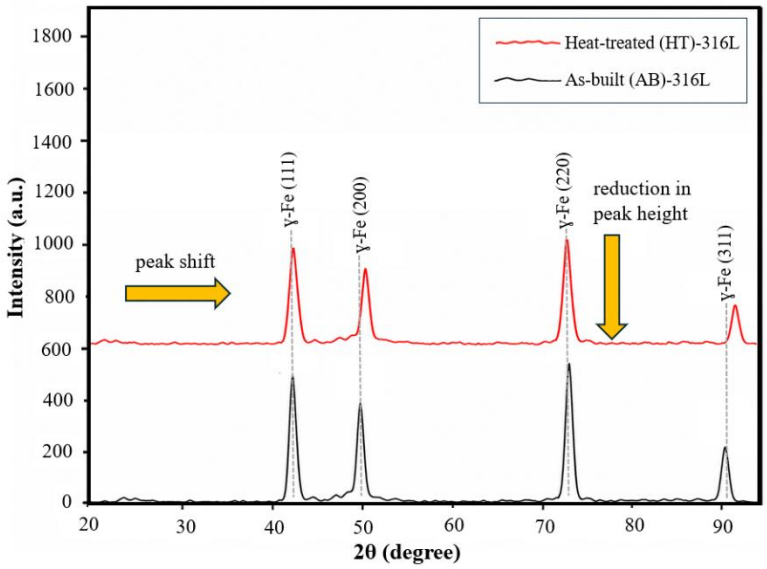


Fig. 2. XRD patterns of the as-built (AB-316L) and heat-treated (HT-316L) stainless steel samples.

When comparing the two XRD profiles in Fig. 2, subtle but important structural variations are visible following the thermal process. In the as-built condition, the rapid cooling rates generate high dislocation densities and microstrains, which cause noticeable peak broadening (Dwivedi et al., 2026). However, after the stress relief treatment at 350 °C, the diffraction peaks of the HT-316L sample became slightly narrower and their intensities were reduced. In addition to the reduction in peak height, a minor shift of the diffraction peaks towards higher 2θangles is observed. This peak shift and narrowing directly indicate the relaxation of internal macro-strains and the partial annihilation of dislocations within the cellular substructures (Li et al., 2024).

3.2. Residual Stress and Surface Microhardness

The extreme temperature gradients and restricted thermal shrinkage during the LPBF layer-by-layer melting process inevitably induce severe tensile residual stresses within the fabricated parts. The measured residual stresses and surface microhardness values for the experimental groups are comparatively presented in Fig. 3a and Fig. 3b. As depicted in Fig. 3a, the as-built AB-316L sample exhibits a high tensile residual stress of 88 ± 5 MPa.

The applied low-temperature heat treatment provided a significant stress relaxation effect. The tensile residual stress dropped remarkably from 88 ± 5 MPa to 30 ± 3 MPa for the HT-316L sample. This substantial stress reduction is primarily attributed to thermally activated diffusion

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

and dislocation annihilation mechanisms operating at 350 °C (Dwivedi et al., 2026). While high-temperature annealing at 1100 °C or 1200 °C can completely eliminate residual stresses, it also completely dissolves the unique cellular structures (Ozdogan et al., 2026). The selected 350 °C treatment successfully relaxed the internal stresses without initiating full recrystallization. The surface microhardness results parallel the residual stress findings. As seen in Fig. 3b, the initial hardness of the AB-316L sample was measured as 270 ± 12 $HV_{0.1}$. The rapid cooling rates and resulting high dislocation densities contribute to this elevated hardness. However, following the release of the process-induced residual stresses during the thermal treatment, the surface microhardness of the HT-316L sample slightly decreased to 225 ± 10 $HV_{0.1}$. The partial annihilation of the dislocation networks within the cellular walls during the stress relaxation process directly accounts for this moderate hardness reduction (Shin et al., 2021).

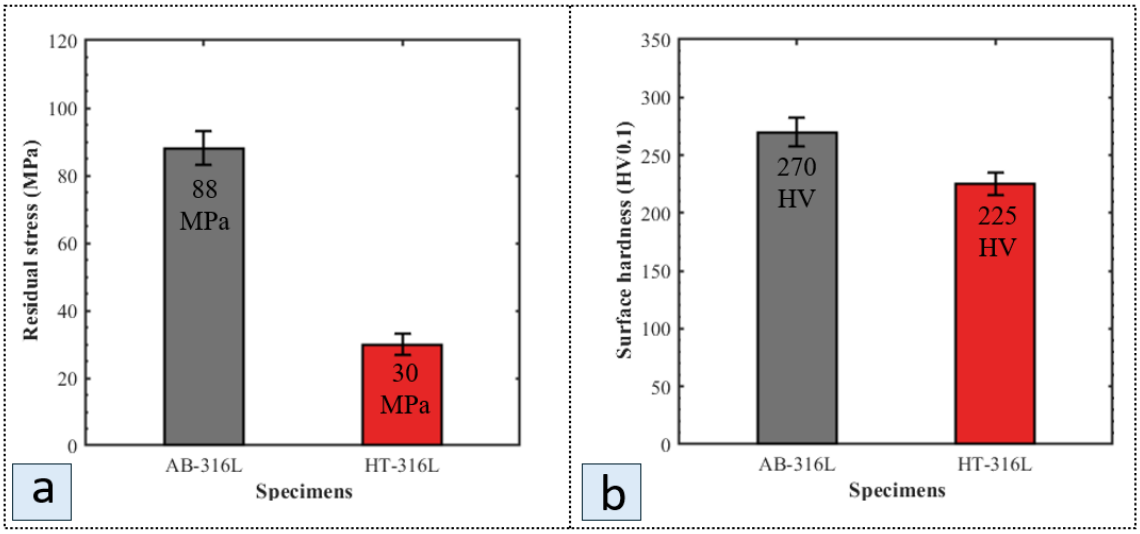


Fig.3. Mechanical properties of the specimens: (a) Residual stress values and (b) Surface microhardness.

3.3. Tribological Performance and Wear Mechanisms

The macroscopic surface appearances of the samples after the dry sliding pin-on-disk tests are presented in Fig.4. Circular wear tracks are clearly visible on the surfaces of both test groups. Additionally, the heat-treated HT-316L specimen exhibits a slight blue color tone difference. This minor surface tint is a direct consequence of the thermal exposure during the stress relief process in the argon atmosphere.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

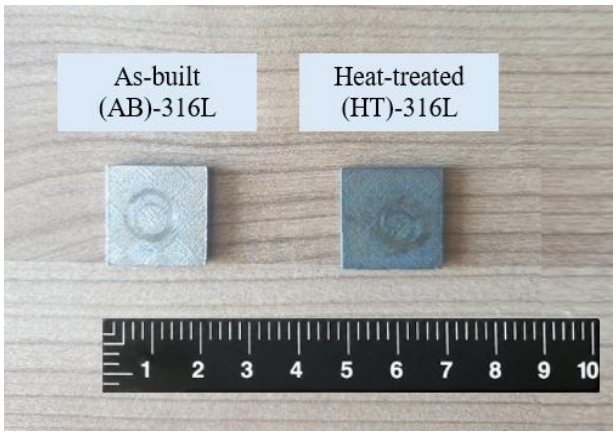


Fig.4. Macroscopic appearances of the AB-316L and HT-316L samples after the wear tests.

The friction and wear test results provide critical insights into the performance of the components. The mean coefficient of friction (COF) and cumulative wear loss values are summarized in Fig.5. The as-built AB-316L sample recorded a high mean COF of 0.72 and a cumulative wear loss of 0.841 mm³. In contrast, the low-temperature heat treatment noticeably improved the tribological behavior. The mean COF of the HT-316L sample decreased to 0.61, while the total wear volume dropped to 0.69 mm³. According to the literature, high-temperature treatments like 1100 °C dissolve the hardening cellular microstructures and cause surface softening, which generally worsens the dry sliding wear resistance and increases wear losses up to 1.05 mm³ (Shin et al., 2021). However, the 350 °C treatment applied in this study preserved the core microstructural stability while eliminating the detrimental internal stresses. High tensile residual stresses in as-printed parts typically trigger severe plastic deformation, micro-cracks, and delamination under loading conditions (Aman Dwivedi, 2026). Therefore, relieving these initial stresses successfully enhanced the structural integrity against dry sliding forces.

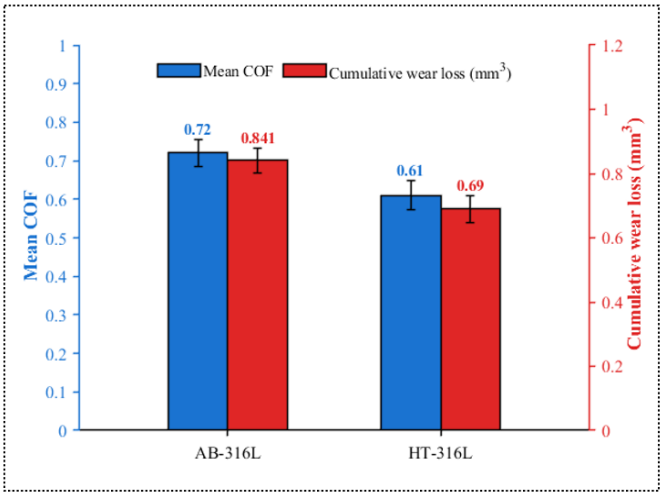


Fig. 5. Mean coefficient of friction (COF) and cumulative wear loss results of the specimens.

In order to understand the acting wear mechanisms, the 3D surface topographies of the wear tracks were investigated. Fig.6 shows the optical profilometry images of the worn surfaces.

When Fig.6a is examined, the AB-316L sample displays a highly rough wear track characterized by deep pits and delamination regions. The depth scale of this untreated sample

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

spans a wide range from +31.2 µm to -37.7 µm. This severe surface damage originates from the combination of abrasive scratching and adhesive material pull-out. The accumulated wear debris under high contact pressure leads to cold welding and severe surface deterioration (Yetim, 2010).

On the other hand, the wear track morphology of the heat-treated sample exhibits a much milder deformation profile. As seen in Fig.6b, the HT-316L specimen reveals uniform linear abrasive grooves instead of deep irregular pits. The corresponding depth scale is significantly narrower, ranging between +19.8 µm and -22.9 µm. This prominent reduction in the peak-to-valley height difference directly explains the lower volumetric wear loss observed in Fig.5. The partial stress relaxation achieved through the 350 °C thermal process mitigated the brittle micro-cracking tendency and prevented severe adhesive delamination, shifting the dominant wear mechanism to a milder abrasive state (Dwivedi et al., 2026).

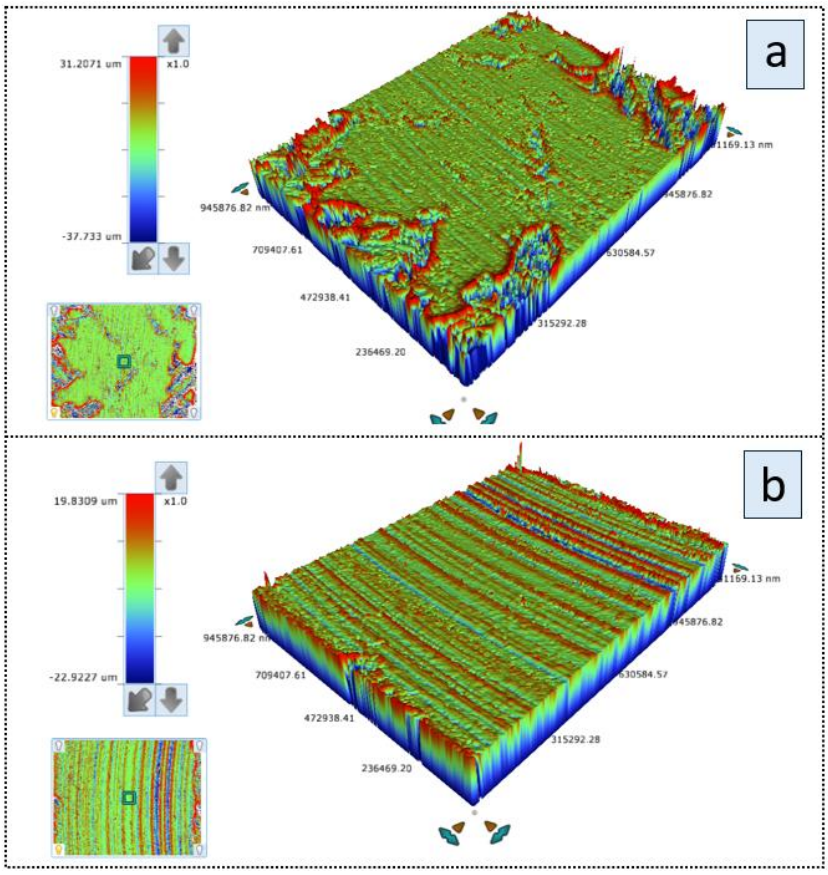


Fig. 6. 3D optical profilometry images of the wear tracks: (a) AB-316L and (b) HT-316L.

4. CONCLUSIONS

This study systematically investigated the phase evolution, residual stress relaxation, surface microhardness and dry sliding wear behavior of LPBF-fabricated 316L stainless steel. The specimens were subjected to a low-temperature stress relief heat treatment at 350 °C for 2 hours in a controlled argon atmosphere. Key conclusions are drawn as follows:

- XRD analysis confirmed that the single-phase face-centered cubic (FCC) austenite structure was entirely preserved after the thermal process. Thanks to the controlled argon environment, no detrimental surface oxidation occurred. Additionally, the

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

observed minor peak shifts and peak narrowing pointed out a successful strain relaxation and partial dislocation annihilation.

- The low-temperature heat treatment effectively minimized the process-induced internal loads. Tensile residual stresses dropped remarkably from 88 MPa down to 30 MPa. Because of this structural recovery and partial relaxation, the surface microhardness of the material exhibited a moderate and acceptable decrease from 270 $HV_{0.1}$ to 225 $HV_{0.1}$.
- Dry sliding wear tests showed that the relief of internal tensile stresses directly enhanced the tribological stability of the parts. The mean coefficient of friction decreased from 0.72 to 0.61. Correspondingly, the cumulative wear volume dropped from 0.841 mm^3 to 0.69 mm^3, indicating a better overall resistance against sliding contact forces.
- 3D optical profilometry verified a clear transition in the dominant wear mechanisms. The untreated AB-316L sample suffered from severe adhesive delamination and deep plowing pits with a wide depth scale (+31.2 µm to -37.7 µm). In contrast, the stress-relieved HT-316L specimen displayed mild, uniform abrasive grooves and a significantly narrower depth profile (+19.8 µm to -22.9 µm), demonstrating that this low-temperature thermal strategy provides a highly reliable and oxidation-free route to optimize the performance of LPBF 316L components.

References

Chen, J., Liu, H., Xu, X., Lu, Z., Cui, T., Jia, Y., & Que, Z. (2025). Effect of Post-Manufacturing Heat Treatment on Wear Performance of Laser Powder Bed Fusion 316L Stainless Steel Under Various Normal Loads. *Metals and Materials International*, *31*(6), 1627–1647. https://doi.org/10.1007/s12540-024-01840-4

Dwivedi, A., Shaw, P. K., & Dixit, A. R. (2026). Integrated simulation-experimental investigation of heat-treatment-induced residual stress evolution and wear behaviour in laser powder bed fusion fabricated SS316L. *Journal of Manufacturing Processes*, *174*(March), 1061–1084. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2026.08.004

Hrabe, N., & Quinn, T. (2013). Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), part 1: Distance from build plate and part size. *Materials Science and Engineering A*, *573*, 264–270. https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.064

Kan, W. H., Chiu, L. N. S., Lim, C. V. S., Zhu, Y., Tian, Y., Jiang, D., & Huang, A. (2022). A critical review on the effects of process-induced porosity on the mechanical properties of alloys fabricated by laser powder bed fusion. *Journal of Materials Science*, *57*(21), 9818–9865. https://doi.org/10.1007/s10853-022-06990-7

Khedr, M., Hamada, A., Abd-Elaziem, W., Jaskari, M., Elsamanty, M., Kömi, J., & Järvenpää, A. (2023). Effects of Wall Thickness Variation on Hydrogen Embrittlement Susceptibility of Additively Manufactured 316L Stainless Steel with Lattice Auxetic Structures. *Materials*, *16*(6). https://doi.org/10.3390/ma16062523

Laleh, M., Hughes, A. E., Xu, W., Gibson, I., & Tan, M. Y. (2019). Unexpected erosion-corrosion behaviour of 316L stainless steel produced by selective laser melting.

Corrosion Science, *155*(March), 67–74. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.04.028

Li, W., Meng, L., Niu, X., & Zhou, W. (2024). Microstructure, mechanical properties, and deformation behaviour of LPBF 316L via post-heat treatment. *Virtual and Physical Prototyping*, *19*(1), 1–19. https://doi.org/10.1080/17452759.2024.2405623

Novak, N., Biasetto, L., Rebesan, P., Zanini, F., Carmignato, S., Krstulović-Opara, L., Vesenjak, M., & Ren, Z. (2021). Experimental and computational evaluation of tensile properties of additively manufactured hexa- and tetrachiral auxetic cellular structures. *Additive Manufacturing*, *45*(May). https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102022

Ozdogan, C., Yildiz, R. A., Tavares, L., Gokcekaya, O., & Malekan, M. (2026). Influence of heat treatment on microstructure and mixed-mode fracture behaviour of additively manufactured 316L stainless steel. *European Journal of Mechanics, A/Solids*, *116*(PB), 105949. https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2025.105949

Periyasamy, M., & Srinivasan, N. (2025). A review on auxetic structures: Applications, properties, classifications, finite element analysis, manufacturing methods, and selective laser melting process parameters. *Results in Engineering*, *28*(October), 107660. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107660

Rashtchi, H., Atapour, M., Elmkhah, H., & Reza Rashtchi, H. (2024). Nanostructured multilayer Cr/CrN coatings on 316L stainless steel for proton exchange membrane fuel cell bipolar plates. *Fuel*, *377*(July), 132761. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132761

Shin, W. S., Son, B., Song, W., Sohn, H., Jang, H., Kim, Y. J., & Park, C. (2021). Heat treatment effect on the microstructure, mechanical properties, and wear behaviors of stainless steel 316L prepared via selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, *806*(December 2020), 140805. https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.140805

Staszuk, M. (2023). Investigations of CrN+Cr2O3/TiO2 coatings obtained in a PVD/ALD hybrid method on austenitic 316L steel substrate. *Vacuum*, *207*, 111653. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111653

Tan, C., Weng, F., Sui, S., Chew, Y., & Bi, G. (2021). Progress and perspectives in laser additive manufacturing of key aeroengine materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *170*(September), 103804. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2021.103804

Tillmann, W., Hagen, L., Stangier, D., Lopes Dias, N. F., Görtz, J., & Kensy, M. D. (2021). Lapping and polishing of additively manufactured 316L substrates and their effects on the microstructural evolution and adhesion of PVD CrAlN coatings. *Surface and Coatings Technology*, *428*(May). https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127905

Voisin, T., Shi, R., Zhu, Y., Qi, Z., Wu, M., Sen-Britain, S., Zhang, Y., Qiu, S. R., Wang, Y. M., Thomas, S., & Wood, B. C. (2022). Pitting Corrosion in 316L Stainless Steel Fabricated by Laser Powder Bed Fusion Additive Manufacturing: A Review and Perspective. *JOM*, *74*(4), 1668–1689. https://doi.org/10.1007/s11837-022-05206-2

Wang, Y., Zhang, L., Li, X., & Yan, Z. (2021). On hot isostatic pressing sintering of fused filament fabricated 316L stainless steel – Evaluation of microstructure, porosity, and

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

tensile properties. *Materials Letters*, *296*, 129854. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129854

Yadroitsev, I., Gusarov, A., Yadroitsava, I., & Smurov, I. (2010). Single track formation in selective laser melting of metal powders. *Journal of Materials Processing Technology*, *210*(12), 1624–1631. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.05.010

Yetim, A. F. (2010). Investigation of wear behavior of titanium oxide films, produced by anodic oxidation, on commercially pure titanium in vacuum conditions. *Surface and Coatings Technology*, *205*(6), 1757–1763. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.08.079

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

HAVACILIKTA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÜŞÜK HIZLI DARBE PERFORMANSI VE OPTİMUM ALAŞIM SEÇİMİ

Mustafa Dündar
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Biga Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, m.dundar@comu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-3956-8088

Özet

Havacılık uygulamalarında yapısal malzeme seçimini belirleyen düşük ağırlık/yüksek mukavemet gereksinimi, alüminyum alaşımlarını bu alanın en yaygın metalik malzemeleri hâline getirmektedir. Bu kapsamda çalışmada, Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarından üretilen 2 mm kalınlığındaki ince levhaların 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri altındaki düşük hızlı darbe davranışları, LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Maksimum darbe kuvveti, maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi performans çıktıları olarak değerlendirilmiş; alaşım türü ve darbe enerjisinin bu çıktılar üzerindeki etkileri varyans analizi ile belirlenmiştir. ANOVA sonuçları, darbe enerjisinin Fmax (%85,81) ve maksimum yer değiştirme (%90,88) üzerinde baskın faktör olduğunu, hasar derecesi üzerinde ise alaşım türünün %48,07'lik katkı oranıyla darbe enerjisinden (%40,41) daha etkili olduğunu göstermiştir. Fmax'ın maksimize edilmesi, maksimum yer değiştirme ve hasar derecesinin minimize edilmesi hedefleriyle gerçekleştirilen çoklu yanıt optimizasyonunda, optimum kombinasyon 0,5712 bileşik tercih edilebilirlik değeriyle Al7075-T6 alaşımı ve 20 J darbe enerjisi olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, alaşım türü ve darbe enerjisinin düşük hızlı darbe davranışı üzerindeki etkilerinin performans ölçütüne bağlı olarak değiştiğini ve Al7075-T6 alaşımının çoklu performans kriterleri açısından avantajlı bir davranış sergilediğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Havacılık malzemeleri, Alüminyum alaşımları, Düşük hızlı darbe, LS-DYNA, ANOVA, Hasar derecesi

Low-Velocity Impact Performance and Optimum Alloy Selection of Aluminum Alloys Used in Aerospace

Abstract

The low-weight/high-strength requirement that governs structural material selection in aerospace applications makes aluminum alloys the most widely used metallic materials in this field. Within this scope, the low-velocity impact behavior of 2 mm thick thin sheets manufactured from Al2024-T3, Al6061-T6, and Al7075-T6 alloys under impact energies of 10, 20, and 30 J was numerically investigated using the LS-DYNA finite element software. Maximum impact force, maximum displacement, and damage degree were evaluated as performance outputs, and the effects of alloy type and impact energy on these outputs were determined via analysis of variance. The ANOVA results showed that impact energy was the dominant factor for Fmax (85.81%) and maximum displacement (90.88%), whereas for damage

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

degree, alloy type was more influential, with a contribution ratio of 48.07% compared to 40.41% for impact energy. In the multi-response optimization, carried out with the objectives of maximizing Fmax and minimizing maximum displacement and damage degree, the optimum combination was determined to be the Al7075-T6 alloy and 20 J impact energy, with a composite desirability value of 0.5712. The results reveal that the effects of alloy type and impact energy on low-velocity impact behavior vary depending on the performance metric, and that the Al7075-T6 alloy exhibits an advantageous behavior in terms of multiple performance criteria.

Keywords: Aerospace materials, Aluminum alloys, Low-velocity impact, LS-DYNA, ANOVA, Damage degree

1.Giriş

Havacılık sektöründe yapısal ağırlığın azaltılması, yakıt verimliliğinin artırılması ve yüksek mekanik performansın korunması, malzeme seçiminde belirleyici kriterler arasında yer almaktadır [1]. Bu gereksinimler doğrultusunda, düşük yoğunlukları ve yüksek özgül mekanik özellikleri sayesinde alüminyum alaşımları havacılık yapılarında yaygın olarak tercih edilen metalik malzemeler arasında yer almaktadır. Alüminyum alaşımlarının farklı alaşım elementleri ve ısıl işlem koşulları, bu malzemelerin dayanım, rijitlik, süneklik ve deformasyon davranışlarında önemli farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımları farklı mekanik özellikleri nedeniyle çeşitli mühendislik ve havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır [2]. Bununla birlikte, havacılık yapıları servis koşulları sırasında yabancı cisim çarpması, bakım ve montaj işlemleri esnasında meydana gelebilecek darbeler gibi farklı düşük hızlı darbe yüklerine maruz kalabilmektedir. Bu tür yüklemeler sonucunda oluşan kalıcı deformasyon ve hasar, yapısal bütünlüğü ve kullanım güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [3, 4]. Dolayısıyla farklı alüminyum alaşımlarının düşük hızlı darbe yükleri altındaki davranışlarının karşılaştırmalı olarak ortaya konulması, uygun malzeme seçimi ve darbe dayanımı yüksek hafif yapıların geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Alüminyum alaşımlarının darbe yükleri altındaki mekanik ve hasar davranışlarının belirlenmesine yönelik literatürde çeşitli deneysel ve sayısal çalışmalar bulunmaktadır. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve kullanım alanları alaşım serisine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. 2000 serisi alüminyum alaşımları yorulma performansları nedeniyle uçak gövde yapılarında yaygın olarak kullanılırken, 7000 serisi alaşımlar yüksek mukavemet gerektiren havacılık yapılarında ön plana çıkmaktadır[5]. Buna karşılık 6000 serisi alaşımlar, şekillendirilebilirlik ve korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde farklı yapısal uygulamalarda tercih edilmektedir [6, 7]. Alüminyum alaşımlarının darbe davranışındaki farklılıkların ise alaşım bileşimi, ısıl işlem durumu, mekanik özellikler ve mikroyapısal karakteristiklerle ilişkili olduğu bildirilmektedir [8, 9].

Gök vd. [10], AA1100 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının farklı enerji seviyelerindeki düşük hızlı darbe davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada, darbe enerjisinin artmasıyla her iki alaşımın maksimum darbe kuvvetinin arttığı, AA7075 alaşımının ise

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

AA1100'e kıyasla daha yüksek maksimum kuvvet ve daha düşük yer değiştirme sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, Johnson–Cook malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerin deneysel sonuçlarla genel olarak uyumlu olduğu bildirilmiştir. Yadav vd. [11], 2 mm kalınlığındaki Al6061 levhaların yüksek hızlı darbe davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemiş ve kritik perforasyon hızını 70 m/s olarak belirlemiştir. Araştırmacılar, Johnson–Cook malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerin deneysel sonuçlarla iyi uyum gösterdiğini bildirmiştir. Yeter [12] ise Al7075-T6, Al6061-T6 ve Al2024-T4 alaşımlarının balistik darbe davranışlarını sayısal olarak karşılaştırmış; artık mermi hızı ve enerji absorpsiyonu üzerinden yapılan değerlendirmelerde Al7075-T6 alaşımının incelenen alaşımlar arasında daha yüksek balistik darbe direnci sergilediğini bildirmiştir. Havacılık yapılarında yaygın olarak kullanılan 2024 serisi alüminyum alaşımları, yüksek hasar toleransları nedeniyle özellikle gövde yüzeyleri, kanat alt kaplamaları ve çeşitli yapısal elemanlarda tercih edilmektedir. Kılıç vd. [13], 2024-T3 alaşımının sac formunda gövde ve basınç kabin yüzeylerinde kullanıldığını ve 2024 serisinin yüksek hasar toleransı nedeniyle havacılık uygulamalarında önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir.

Literatürde alüminyum alaşımlarının düşük ve yüksek hızlı darbe davranışlarının deneysel ve sayısal yöntemlerle incelendiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu üç alaşımın aynı geometrik ve sınır koşulları altında düşük hızlı darbe davranışlarının karşılaştırıldığı ve alaşım türü ile darbe enerjisinin farklı performans çıktıları üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak birlikte değerlendirildiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, farklı alüminyum alaşımlarının düşük hızlı darbe koşullarındaki davranışlarının ortak analiz koşulları altında karşılaştırılması ve etkili parametrelerin nicel olarak belirlenmesi, uygun malzeme seçimi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alüminyum alaşımlarından oluşan 2 mm kalınlığındaki ince levhaların düşük hızlı darbe davranışları sayısal ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla levhaların 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri altındaki davranışları LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen maksimum darbe kuvveti (Fmax), maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi (Damage Degree, DD) performans çıktıları olarak değerlendirilmiştir. Alaşım türü ve darbe enerjisinin bu çıktılar üzerindeki etkileri varyans analizi (ANOVA) kullanılarak belirlenmiş, ayrıca farklı performans kriterlerinin birlikte değerlendirilmesi amacıyla çoklu yanıt optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.Materyal Metod

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, farklı alüminyum alaşımlarının düşük hızlı darbe davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımları tercih edilmiştir. Sayısal analizlerde tüm alüminyum levhaların kalınlığı 2 mm olarak sabit tutulmuştur. Böylece farklı alaşımların darbe yükleri altındaki davranışlarının aynı geometrik ve sınır koşulları altında karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sayısal modellemede kullanılan Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarına ait temel malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Tablo 1. Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarının temel malzeme özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm³)	Elastite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
Al2024-T3	2,78	72,1	0,33	368	483
Al6061-T6	2,70	69	0,33	275	310
Al7075-T6	2,81	71,7	0,33	503	572

Alüminyum alaşımlarının darbe yükleri altındaki elastoplastik ve hasar davranışlarının tanımlanmasında Johnson–Cook malzeme modeli kullanılmıştır. Johnson–Cook modeli, yüksek gerinim hızları ve büyük plastik deformasyonların söz konusu olduğu dinamik yükleme koşullarında malzeme davranışının tanımlanmasına olanak sağlaması ve nispeten basit matematiksel yapısı nedeniyle darbe analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [14]. Johnson–Cook modelinde akış gerilmesi Eşitlik (1) ile tanımlanmaktadır:

$$\sigma = \left[A + B\left(\varepsilon_p\right)^n\right][1 + C\ln\left(\dot{\varepsilon}^*\right)][1 - (T^*)^m] \qquad (1)$$

Burada σ akış gerilmesini, A referans koşullardaki başlangıç akma gerilmesini, B gerinim pekleşme katsayısını, n gerinim pekleşme üssünü, C gerinim hızı duyarlılık katsayısını, $m$ise termal yumuşama üssünü ifade etmektedir. ε_p eşdeğer plastik gerinimi, $\dot{\varepsilon}^*$ boyutsuz plastik gerinim hızını ve T^* homolog sıcaklığı temsil etmektedir.

Johnson–Cook hasar modelinde kırılma gerinimi ise Eşitlik (2) kullanılarak tanımlanmaktadır:

$$\varepsilon_f = [D_1 + D_2\exp\left(D_3\sigma^*\right)][1 + D_4\ln\left(\dot{\varepsilon}^*\right)][1 + D_5T^*] \qquad (2)$$

Burada $D_1 - D_5$, malzemenin hasar davranışını tanımlayan Johnson–Cook hasar parametreleridir. Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarına ait Johnson–Cook model parametreleri ilgili literatür çalışmalarından elde edilerek LS-DYNA malzeme kartlarına tanımlanmıştır[15–17]. Plastik deformasyon davranışında kullanılan model parametreleri Tablo 2'de, hasar modeli parametreleri ise Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2. Alüminyum alaşımlarına ait Johnson–Cook malzeme modeli parametreleri

Malzeme	A	B	n	C	m
Al2024-T3	369	683,9	0,73	0,0083	1,7
Al6061-T6	324	114	0,42	0,002	1,34
Al7075-T6	520	477	0,52	0,001	1

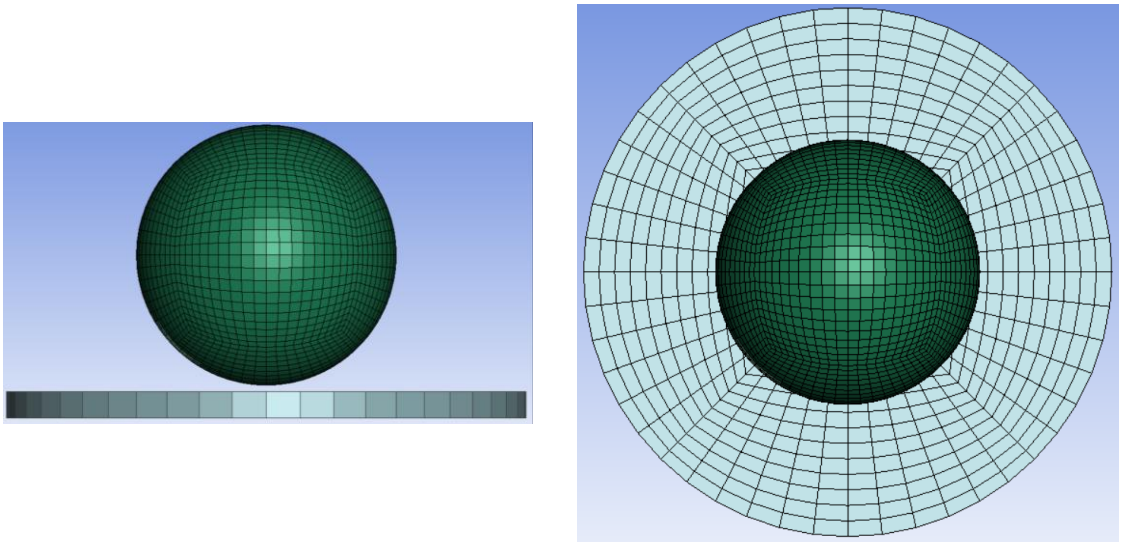
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Tablo 3. Alüminyum alaşımlarına ait Johnson–Cook hasar modeli parametreleri

Malzeme	D1	D2	D3	D4	D5
Al2024-T3	0,112	0,123	1,5	0,007	0
Al6061-T6	-0,77	1,45	-0,47	0	1,6
Al7075-T6	0,096	0,049	-3,465	0,016	1,099

2.2. Sayısal Model ve Sınır Koşulları

Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 levhaların düşük hızlı darbe davranışlarının belirlenmesi amacıyla sayısal modeller LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımında oluşturulmuştur. Tüm analizlerde levha geometrisi, kalınlığı, vurucu geometrisi, destek koşulları ve sonlu eleman ağı sabit tutularak alaşım türü ve darbe enerjisi değiştirilmiştir. Darbe modelinde 20 mm çapında küresel uç geometrisine sahip 5,4819 kg kütleli rijit bir vurucu kullanılmıştır. Levhalar 40 mm çapında açıklığa sahip destek bölgesi üzerinde modellenmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan sonlu eleman modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.



a) b)

Şekil 1. Düşük hızlı darbe analizinde kullanılan sonlu eleman modeli: a) yandan görünüş, b) üst görünüş

Alüminyum levhalar kabuk (shell) elemanlar kullanılarak modellenmiş ve levha kalınlığı 2 mm olarak tanımlanmıştır. Darbe bölgesindeki gerilme ve deformasyon değişimlerinin daha hassas şekilde belirlenebilmesi amacıyla levhanın merkez bölgesinde yaklaşık 1,18 mm eleman boyutu kullanılmış ve sonlu eleman ağı dış bölgelere doğru kademeli olarak kabalaştırılmıştır. Küresel vurucu ise üç boyutlu katı (solid) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Vurucu ile alüminyum levha arasındaki etkileşim *CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE temas algoritması kullanılarak tanımlanmıştır. Levhanın destek bölgesini temsil eden düğümlere

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

uygun sınır koşulları uygulanmıştır. Vurucunun hareketi darbe doğrultusuyla sınırlandırılmış, diğer doğrultulardaki öteleme ve dönme hareketleri kısıtlanmıştır.

Sayısal analizler 10, 20 ve 30 J olmak üzere üç farklı darbe enerjisi seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Her bir alaşım için aynı darbe enerjileri uygulanarak toplam dokuz farklı analiz koşulu oluşturulmuştur. Darbe enerjilerinin modele tanımlanabilmesi için vurucunun başlangıç hızları, kinetik enerji bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (3)$$

Burada E_k darbe enerjisini, m vurucu kütlesini ve v vurucunun başlangıç hızını ifade etmektedir. Vurucu kütlesi 5,4819 kg olarak sabit tutulmuş ve 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri için başlangıç hızları sırasıyla 1,910, 2,701 ve 3,309 m/s olarak hesaplanmıştır. Analizlerde alaşım türü ve darbe enerjisi dışında kalan model parametreleri sabit tutularak bu iki parametrenin düşük hızlı darbe davranışı üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2.3. Performans Çıktılarının Belirlenmesi ve İstatistiksel Analiz

Sayısal analizler sonucunda Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarının düşük hızlı darbe davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla maksimum darbe kuvveti ($F_{\max}$), maksimum yer değiştirme ve absorbe edilen enerji değerleri elde edilmiştir. Maksimum darbe kuvveti, levhanın darbe yükü altındaki taşıma kapasitesinin; maksimum yer değiştirme ise darbe sonucunda meydana gelen deformasyonun değerlendirilmesinde performans çıktısı olarak kullanılmıştır.

Levhaların darbe enerjisini sönümleme davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla hasar derecesi (Damage Degree, DD), absorbe edilen enerjinin başlangıç darbe enerjisine oranı kullanılarak Eşitlik (4) ile hesaplanmıştır:

$$DD = \frac{E_{abs}}{E_{impact}} \qquad (4)$$

Burada E_{abs} levha tarafından absorbe edilen enerjiyi, E_{impact} ise başlangıç darbe enerjisini ifade etmektedir. DD değerinin artması, başlangıç darbe enerjisinin daha büyük bir bölümünün levha tarafından absorbe edildiğini göstermektedir[18].

Alaşım türü ve darbe enerjisinin $F_{\max}$, maksimum yer değiştirme ve DD üzerindeki etkilerinin nicel olarak belirlenmesi amacıyla varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizlerde alaşım türü üç seviyeli (Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6), darbe enerjisi ise üç seviyeli (10, 20 ve 30 J) faktör olarak değerlendirilmiştir. Her bir performans çıktısı için faktörlerin katkı oranları ve istatistiksel etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir. Her bir parametre kombinasyonu için tek bir deterministik sayısal analiz gerçekleştirildiğinden, ANOVA modelinde replikasyona dayalı saf hata terimi bulunmamaktadır. Bu nedenle analiz, alaşım türü ve darbe enerjisinin ana etkilerini içeren toplamsal bir model üzerinden gerçekleştirilmiş; ana

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

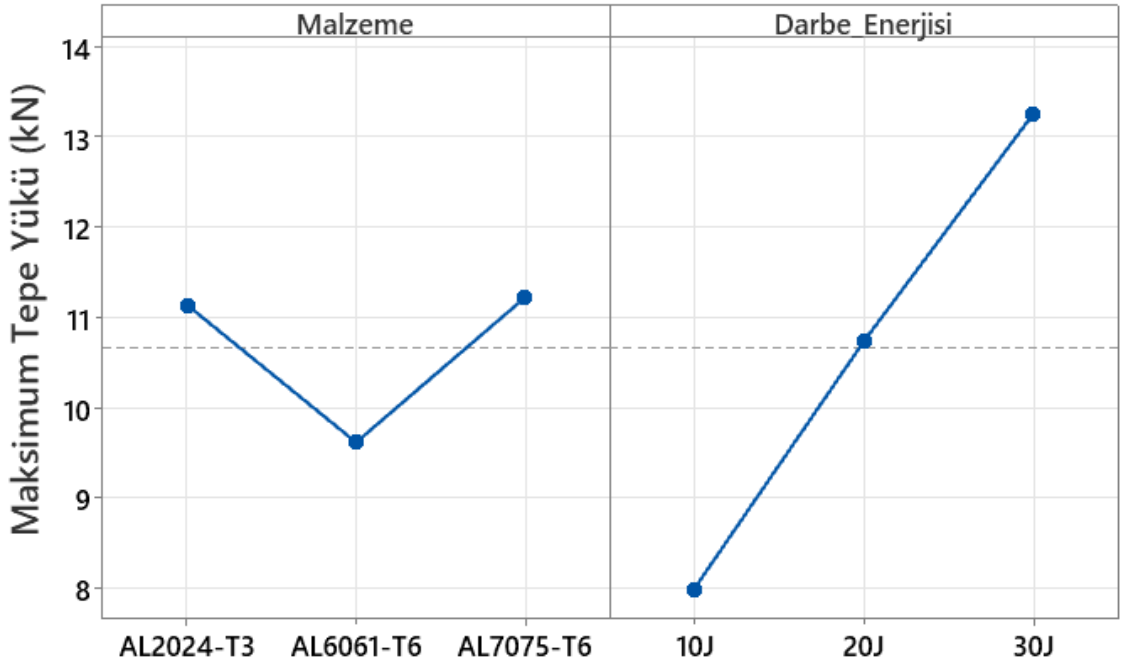
faktörler tarafından açıklanamayan değişim artık (residual) hata terimi içerisinde değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımda olası alaşım türü × darbe enerjisi etkileşimi ayrı olarak tahmin edilememektedir.

Farklı performans çıktılarının eş zamanlı olarak değerlendirilmesi amacıyla Minitab yazılımı kullanılarak tercih edilebilirlik fonksiyonu esaslı çoklu yanıt optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda maksimum darbe kuvvetinin maksimize edilmesi, maksimum yer değiştirme ve DD değerlerinin ise minimize edilmesi hedeflenmiştir. Her üç yanıt için eşit önem ve ağırlık değerleri kullanılmış ve performans kriterlerini birlikte sağlayan alaşım–darbe enerjisi kombinasyonu bileşik tercih edilebilirlik (composite desirability) yaklaşımı kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Maksimum tepe yükü ($F_{\max}$), malzemenin uygulanan darbe yüküne karşı gösterdiği direnç ve yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesinde önemli bir performans ölçütüdür[4, 14, 18]. Alaşım türü ve darbe enerjisinin maksimum darbe kuvveti üzerindeki ana etkileri Şekil 2'de verilmiştir. Ortalama $F_{\max}$ değerleri incelendiğinde, darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvet değerlerinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Ortalama maksimum kuvvet değerleri 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri için sırasıyla 7,99, 10,73 ve 13,25 kN olarak elde edilmiştir. Darbe enerjisinin 10 J'den 20 J'ye yükselmesiyle ortalama maksimum kuvvet yaklaşık %34,3, 20 J'den 30 J'ye yükselmesiyle ise yaklaşık %23,5 oranında artmıştır. Darbe enerjisindeki artışla birlikte vurucu-levha etkileşimi sırasında daha yüksek yük seviyelerine ulaşılması, maksimum darbe kuvvetinin artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, darbe enerjisindeki artış ile maksimum kuvvette meydana gelen artışın oransal olmadığı görülmektedir. Bu davranış, artan darbe enerjisiyle birlikte levhada meydana gelen plastik deformasyon ve hasar gelişiminin değişmesiyle ilişkilendirilebilir[4].

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



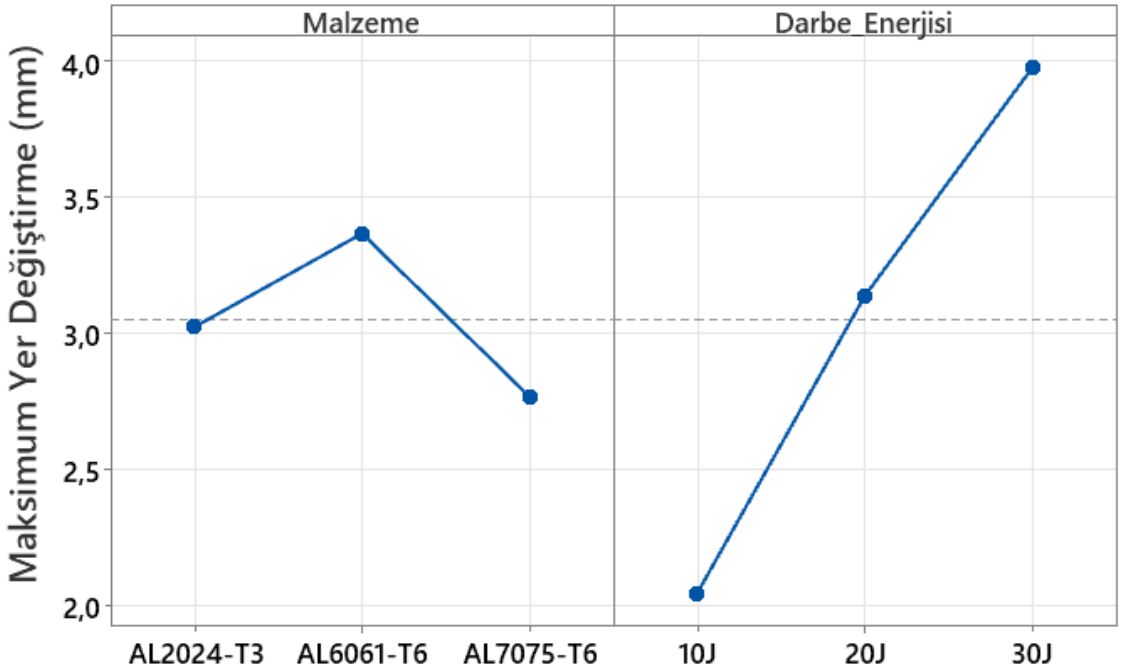
Şekil 2. Alaşım türü ve darbe enerjisinin maksimum tepe yükü (F_{max}) üzerindeki ana etkileri

Alaşım türü açısından değerlendirildiğinde, Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarının ortalama F_{max}değerleri sırasıyla 11,14, 9,61 ve 11,22 kN olarak belirlenmiştir. En yüksek ortalama maksimum kuvvet Al7075-T6 alaşımında elde edilirken, Al2024-T3 alaşımının Al7075-T6'ya oldukça yakın bir davranış sergilediği görülmüştür. Al6061-T6 referans alındığında, Al2024-T3 ve Al7075-T6 alaşımlarının ortalama F_{max} değerlerinin sırasıyla yaklaşık %15,9 ve %16,8 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, Al7075-T6'nın ortalama F_{max} değeri Al2024-T3'ten yalnızca yaklaşık %0,7 daha yüksek olup, bu iki alaşımın maksimum kuvvet bakımından birbirine oldukça yakın davranış gösterdiği görülmektedir. Alaşımlar arasında gözlenen bu farklılıklar, malzemelerin akma davranışları, pekleşme özellikleri ve plastik deformasyona karşı gösterdikleri direncin farklı olmasıyla ilişkilendirilebilir. Özellikle daha yüksek mukavemet seviyesine sahip alaşımların darbe sırasında daha yüksek yükleri taşıyabilmesi, maksimum kuvvet değerlerinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Frutos Martínez ve arkadaşları [19], 6061-T651 ve 7075-T651 plakalar üzerinde gerçekleştirdikleri düşme kulesi deneylerinde, 200 J darbe enerjisinde 7075-T651 alaşımının 6061-T651'e kıyasla daha iyi darbe performansı sergilediğini bildirmiştir

Maksimum yer değiştirme, darbe yükü altında levhada meydana gelen deformasyonun değerlendirilmesinde önemli bir performans ölçütüdür[4]. Alaşım türü ve darbe enerjisinin maksimum yer değiştirme üzerindeki ana etkileri Şekil 3'de verilmiştir. Ortalama maksimum yer değiştirme değerleri incelendiğinde, darbe enerjisinin artmasıyla yer değiştirme değerlerinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Ortalama maksimum yer değiştirme değerleri 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri için sırasıyla 2,04, 3,14 ve 3,98 mm olarak elde edilmiştir. Darbe enerjisinin 10 J'den 20 J'ye yükselmesiyle maksimum yer değiştirme yaklaşık %53,5, 20 J'den 30 J'ye yükselmesiyle ise yaklaşık %26,8 oranında artmıştır. Özellikle 10 J'den 20 J'ye geçişte meydana gelen yüksek artış, artan darbe enerjisiyle birlikte levhada meydana

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

gelen plastik deformasyonun belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, enerji artışına karşılık maksimum yer değiştirmede meydana gelen artış oranının enerji seviyesine bağlı olarak değişmesi, levhaların deformasyon davranışının doğrusal olmadığını göstermektedir.



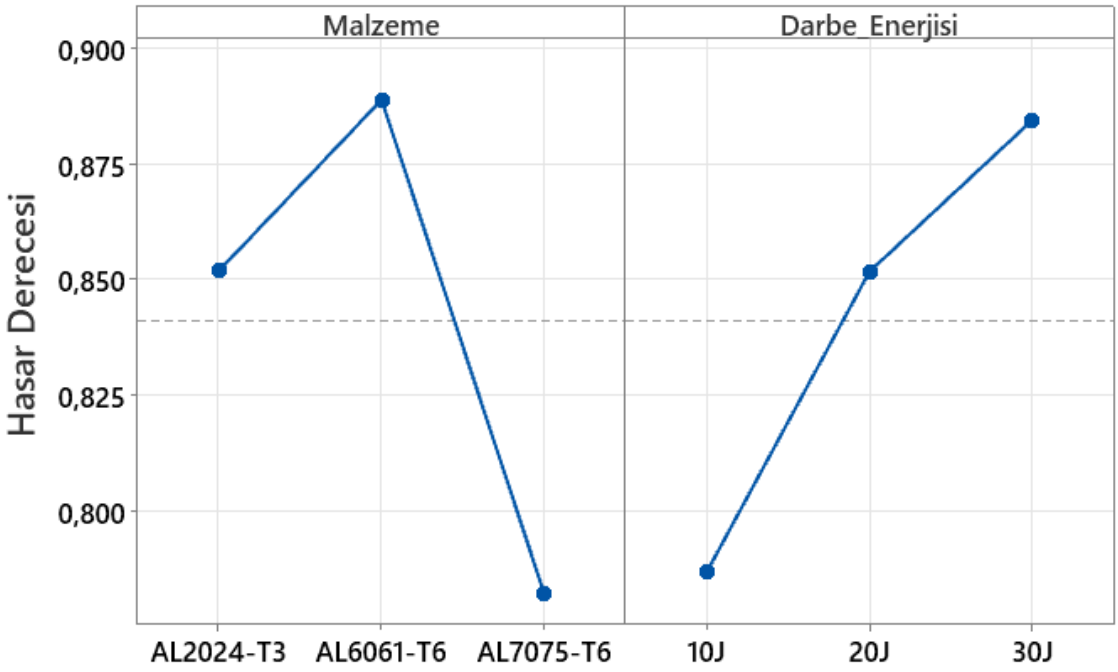
Şekil 3. Alaşım türü ve darbe enerjisinin maksimum yer değiştirme üzerindeki ana etkileri

Alaşım türü açısından değerlendirildiğinde, Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarının ortalama maksimum yer değiştirme değerleri sırasıyla **3,02, 3,37 ve 2,77 mm** olarak belirlenmiştir. En yüksek ortalama maksimum yer değiştirme Al6061-T6 alaşımında, en düşük değer ise Al7075-T6 alaşımında elde edilmiştir. Al2024-T3 referans alındığında, Al6061-T6'nın ortalama maksimum yer değiştirme değeri yaklaşık %11,4 daha yüksek, Al7075-T6'nın ise yaklaşık %8,5 daha düşük bulunmuştur. Ayrıca Al7075-T6, Al6061-T6'ya kıyasla yaklaşık %17,8 daha düşük maksimum yer değiştirme sergilemiştir. Alaşımlar arasında gözlenen bu farklılıklar, malzemelerin mukavemet ve plastik deformasyon karakteristiklerindeki farklılıklarla ilişkilendirilebilir. Al7075-T6'nın daha düşük yer değiştirme göstermesi, darbe yükü altında plastik deformasyona karşı daha yüksek direnç sergilediğine işaret ederken, Al6061-T6'nın daha yüksek yer değiştirme değerleri daha fazla deformasyona uğradığını göstermektedir. Gülcan ve ark. [20], Al2024-T3 alaşımının Al7075-T6'ya kıyasla daha yüksek sünekliğe sahip olmasının, darbe yükleri altında deformasyonun daha geniş bir bölgeye yayılmasına olanak sağladığını ve bunun sonucunda iki alaşımın farklı enerji absorpsiyonu ve deformasyon davranışı sergilediğini bildirmiştir. Bu durum, mevcut çalışmada Al2024-T3'ün Al7075-T6'ya kıyasla daha yüksek maksimum yer değiştirme sergilemesiyle uyumludur.

Hasar derecesi (Damage Degree, DD), darbe sırasında levha tarafından absorbe edilen enerjinin başlangıç darbe enerjisine oranı olarak tanımlanmakta ve darbe sonrasında meydana gelen hasar

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

seviyesinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Hasar derecesi 0 ile 1 arasında değişmekte olup, değerin 1'e yaklaşması başlangıç darbe enerjisinin daha büyük bir bölümünün levha tarafından absorbe edildiğini; daha düşük DD değerleri ise darbe enerjisinin daha büyük bir bölümünün elastik geri kazanım ve geri sekme yoluyla sisteme geri verildiğini göstermektedir [18]. Alaşım türü ve darbe enerjisinin hasar derecesi üzerindeki ana etkileri Şekil 4'te verilmiştir. Ortalama DD değerleri incelendiğinde, darbe enerjisinin artmasıyla hasar derecesinin arttığı görülmektedir. Ortalama DD değerleri 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri için sırasıyla 0,787, 0,852 ve 0,884 olarak elde edilmiştir. Darbe enerjisinin 10 J'den 20 J'ye yükselmesiyle DD yaklaşık %8,3, 20 J'den 30 J'ye yükselmesiyle ise yaklaşık %3,8 oranında artmıştır. Elde edilen sonuçlar, darbe enerjisinin yükselmesiyle başlangıç enerjisinin daha büyük bir bölümünün levha tarafından absorbe edildiğini göstermektedir. Artan darbe enerjisiyle birlikte levhada meydana gelen plastik deformasyon ve kalıcı hasar gelişiminin artması, elastik geri kazanımın göreceli olarak azalmasına ve dolayısıyla DD değerinin yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 4. Alaşım türü ve darbe enerjisinin hasar derecesi (DD) üzerindeki ana etkileri

Alaşım türü açısından değerlendirildiğinde, Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarının ortalama DD değerleri sırasıyla 0,852, 0,889 ve 0,782 olarak belirlenmiştir. En yüksek ortalama hasar derecesi Al6061-T6 alaşımında, en düşük değer ise Al7075-T6 alaşımında elde edilmiştir. Al2024-T3 referans alındığında, Al6061-T6'nın ortalama DD değeri yaklaşık %4,3 daha yüksek, Al7075-T6'nın ise yaklaşık %8,2 daha düşük bulunmuştur. Ayrıca Al7075-T6, Al6061-T6'ya kıyasla yaklaşık %12,0 daha düşük hasar derecesi sergilemiştir. Al7075-T6'nın daha düşük DD değeri, başlangıç darbe enerjisinin daha düşük bir bölümünün kalıcı deformasyon ve enerji absorpsiyonu süreçlerinde tüketildiğine işaret etmektedir. Bu sonuç, Al7075-T6'nın aynı zamanda incelenen alaşımlar arasında en düşük maksimum yer değiştirme değerini (2,77 mm) göstermesiyle birlikte değerlendirildiğinde, alaşımın darbe yükleri altında plastik deformasyona

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

karşı daha yüksek direnç gösterdiğini desteklemektedir. Buna karşılık Al6061-T6'nın hem en yüksek ortalama DD (0,889) hem de en yüksek maksimum yer değiştirme (3,37 mm) değerine sahip olması, darbe sırasında daha fazla deformasyona uğradığını ve başlangıç enerjisinin daha büyük bir bölümünü absorbe ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla alaşımlar arasında gözlenen hasar derecesi farklılıklarının, alaşımların mekanik özellikleri ve darbe yükleri altındaki plastik deformasyon karakteristikleriyle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

3.1. Varyans Analizi (ANOVA)

Alaşım türü ve darbe enerjisinin düşük hızlı darbe davranışı üzerindeki etkilerinin ve katkı düzeylerinin belirlenmesi amacıyla %95 güven seviyesinde varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. ANOVA kapsamında maksimum tepe yükü ($F_{\max}$), maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi (DD) yanıt değişkenleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Analizlerde malzeme ve darbe enerjisi ana faktörler olarak ele alınmış ve her bir faktörün yanıt değişkenleri üzerindeki katkı oranları belirlenmiştir. Tüm yanıt değişkenlerine ait ANOVA sonuçları Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4'de verilen ANOVA sonuçları incelendiğinde, maksimum tepe yükü ($F_{\max}$) üzerinde en etkili faktörün %85,81 katkı oranı ile darbe enerjisi olduğu görülmüştür. Darbe enerjisi için elde edilen $p = 0{,}002$ değeri, bu faktörün $F_{\max}$ üzerindeki etkisinin %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Malzeme faktörünün $F_{\max}$ üzerindeki katkı oranı %10,11 olarak belirlenirken, $p = 0{,}083$ değeri nedeniyle %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermemiştir. Bu sonuç, ana etki grafiğinde darbe enerjisinin artmasıyla $F_{\max}$ değerlerinde gözlenen belirgin artışla uyumludur.

Maksimum yer değiştirme açısından değerlendirildiğinde, darbe enerjisinin %90,88 katkı oranıyla en etkili faktör olduğu belirlenmiştir. Malzemenin katkı oranı ise %8,76 olarak hesaplanmıştır. Darbe enerjisi ($p < 0{,}001$) ve malzeme ($p = 0{,}002$) faktörlerinin her ikisinin de maksimum yer değiştirme üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, darbe enerjisinin %90,88'lik katkı oranına sahip olması, maksimum yer değiştirme üzerinde darbe enerjisinin malzeme türüne kıyasla çok daha baskın bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Tüm yanıt değişkenleri için ANOVA sonuçları

Maksimum tepe yükü, Fmax						
F	*SD*	*KT*	*KO*	*F-Değeri*	*P-Değeri*	*Katkı Oranı (%)*
M	2	4,905	2,4523	4,95	*0.083*	10,11
DE	2	41,631	20,8154	42,05	*0,002*	85,81
Hata	4	1,980	0,4950			4,08
Toplam	8	48,515				100
Maksimum yer değiştirme miktarı						

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

M	2	0,54376	0,27188	48,89	*0.002*	8,76
DE	2	5,63876	2,81938	506,98	*<0.001*	90,88
Hata	4	0,02224	0,00556			0,36
Toplam	8	6,20476				100
Hasar Derecesi "DD"						
M	2	0,017679	0,008839	8,35	*0,037*	48,07
DE	2	0,014860	0,007430	7,02	*0,049*	40,41
Hata	4	0,004236	0.001059			11,52
Toplam	8	0,036775				100

Kısaltmalar: M: Malzeme; DE: Darbe enerjisi; F: Faktörler;.

SD: Serbestlik derecesi; KT: Kareler toplamı; KO: Kareler ortalaması

Hasar derecesi için elde edilen ANOVA sonuçlarında ise $F_{\max}$ ve maksimum yer değiştirmeden farklı bir eğilim ortaya çıkmıştır. Hasar derecesi üzerinde en yüksek katkı oranı %48,07 ile malzeme faktöründe elde edilirken, darbe enerjisinin katkı oranı %40,41 olarak belirlenmiştir. Malzeme ($p = 0{,}037$) ve darbe enerjisi ($p = 0{,}049$) faktörlerinin her ikisinin de %95 güven seviyesinde hasar derecesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, hasar derecesinin yalnızca uygulanan darbe enerjisinden etkilenmediğini, alaşım türünün de hasar derecesinin değişiminde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Genel olarak ANOVA sonuçları değerlendirildiğinde, darbe enerjisinin maksimum tepe yükü ve maksimum yer değiştirme üzerinde baskın faktör olduğu, hasar derecesinde ise alaşım türünün darbe enerjisinden daha yüksek bir katkıya sahip olduğu belirlenmiştir.

3.2. Çoklu Yanıt Optimizasyonu

Maksimum tepe yükü, maksimum yer değiştirme ve hasar derecesinin eş zamanlı olarak değerlendirilerek en uygun alaşım türü ve darbe enerjisi kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla tercih edilebilirlik fonksiyonu (desirability function) esaslı çoklu yanıt optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda maksimum tepe yükünün ($F_{\max}$) maksimize edilmesi, maksimum yer değiştirme ve hasar derecesinin (DD) ise minimize edilmesi hedeflenmiştir. Her bir yanıt için tercih edilebilirlik değeri 0 ile 1 arasında tanımlanmakta olup, 0 değeri ilgili yanıt açısından tamamen istenmeyen bir sonucu, 1 değeri ise hedeflenen koşulun tamamen sağlandığını ifade etmektedir. Farklı yanıtların eş zamanlı olarak değerlendirilmesinde bireysel tercih edilebilirlik değerleri birleştirilerek bileşik tercih edilebilirlik (composite desirability, D) değeri elde edilmiştir.

Optimizasyon işleminde üç yanıt değişkenine eşit ağırlık ve önem derecesi atanmıştır. Hasar derecesi için minimum hedef değeri 0,686 ve üst sınır 0,9167; maksimum yer değiştirme için minimum hedef değeri 1,800 mm ve üst sınır 4,370 mm olarak tanımlanmıştır. Maksimum tepe

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

yükü için ise 6,866 kN alt sınır ve 14,411 kN hedef değer kullanılarak $F_{\max}$'ın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu hedefler doğrultusunda elde edilen çoklu yanıt optimizasyonu sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Çoklu yanıt optimizasyonu sonuçları

Optimum alaşım	Darbe enerjisi (J)	Hasar derecesi (DD)	Maksimum yer değiştirme (mm)	$F_{\max}$(kN)	Bileşik tercih edilebilirlik (D)
Al7075-T6	20	0,7927	2,8511	11,2938	0,5712

Çoklu yanıt optimizasyonu sonucunda optimum parametre kombinasyonu Al7075-T6 alaşımı ve 20 J darbe enerjisi olarak belirlenmiş ve bu kombinasyon için bileşik tercih edilebilirlik değeri 0,5712 olarak elde edilmiştir. Optimum koşulda tahmini hasar derecesi, maksimum yer değiştirme ve maksimum tepe yükü değerleri sırasıyla 0,7927, 2,8511 mm ve 11,2938 kN olarak belirlenmiştir. Elde edilen optimum kombinasyon, tek bir performans çıktısının en iyi değerini değil, üç farklı performans kriterinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan en uygun çözümü temsil etmektedir.

Darbe enerjisinin 30 J'ye yükselmesi maksimum tepe yükünün artmasını sağlamakla birlikte, maksimum yer değiştirme ve hasar derecesinin de artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık daha düşük darbe enerjisi seviyelerinde maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi azalırken, maksimum tepe yükü için hedeflenen yüksek değerlerden uzaklaşılmaktadır. Bu nedenle 20 J darbe enerjisi, maksimum tepe yükünün artırılması ile maksimum yer değiştirme ve hasar derecesinin azaltılması hedefleri arasında daha uygun bir denge sağlamıştır. Ayrıca Al7075-T6 alaşımının ana etki grafiklerinde düşük maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi değerleri sergilemesi, çoklu yanıt optimizasyonunda bu alaşımın optimum olarak belirlenmesini desteklemektedir. Genel olarak sonuçlar, incelenen deneysel tasarım sınırları içerisinde Al7075-T6/20 J kombinasyonunun üç performans kriteri açısından en uygun çözüm olduğunu göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, havacılık uygulamalarında kullanılan Al2024-T3, Al6061-T6 ve Al7075-T6 alaşımlarından oluşan 2 mm kalınlığındaki levhaların 10, 20 ve 30 J darbe enerjileri altındaki düşük hızlı darbe davranışları LS-DYNA kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Alaşım türü ve darbe enerjisinin maksimum tepe yükü ($F_{\max}$), maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi (DD) üzerindeki etkileri değerlendirilmiş, ANOVA ile faktörlerin katkı oranları belirlenmiş ve çoklu yanıt optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen temel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Darbe enerjisinin 10 J'den 30 J'ye yükselmesiyle ortalama $F_{\max}$ değeri 7,99 kN'den 13,25 kN'ye, maksimum yer değiştirme ise 2,04 mm'den 3,98 mm'ye yükselmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Benzer şekilde ortalama DD değeri 0,787'den 0,884'e yükselmiş ve artan darbe enerjisiyle levhaların daha fazla deformasyona uğradığı ve başlangıç enerjisinin daha büyük bir bölümünü absorbe ettiği belirlenmiştir.

- Alaşım türü açısından en yüksek ortalama $F_{\max}$ değeri 11,22 kN ile Al7075-T6 alaşımında elde edilmiş, Al2024-T3 ise 11,14 kN ile oldukça yakın bir davranış sergilemiştir. Al6061-T6'nın ortalama $F_{\max}$ değeri 9,61 kN ile incelenen alaşımlar arasında en düşük seviyede kalmıştır.
- Maksimum yer değiştirme bakımından Al7075-T6, 2,77 mm ile en düşük ortalama değeri sergilerken, Al6061-T6'da bu değer 3,37 mm olarak belirlenmiştir. Al7075-T6'nın Al6061-T6'ya göre yaklaşık %17,8 daha düşük maksimum yer değiştirme göstermesi, bu alaşımın darbe yükleri altında plastik deformasyona karşı daha yüksek direnç sergilediğini ortaya koymuştur.
- Hasar derecesi açısından en düşük ortalama değer 0,782 ile Al7075-T6 alaşımında, en yüksek değer ise 0,889 ile Al6061-T6 alaşımında elde edilmiştir. Al7075-T6, Al6061-T6'ya kıyasla yaklaşık %12,0 daha düşük DD sergilemiştir.
- ANOVA sonuçlarına göre darbe enerjisi, $F_{\max}$ ve maksimum yer değiştirme üzerinde sırasıyla %85,81 ve %90,88 katkı oranlarıyla baskın faktör olarak belirlenmiştir. Hasar derecesinde ise alaşım türü %48,07 ile en yüksek katkı oranına sahip olmuş, darbe enerjisinin katkısı %40,41 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, alaşım türü ve darbe enerjisinin etkisinin değerlendirilen performans ölçütüne bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.
- $F_{\max}$'ın maksimize edilmesi, maksimum yer değiştirme ve DD'nin minimize edilmesi hedefleriyle gerçekleştirilen çoklu yanıt optimizasyonunda optimum kombinasyon Al7075-T6 alaşımı ve 20 J darbe enerjisi olarak belirlenmiştir. Bu koşulda bileşik tercih edilebilirlik değeri 0,5712 olarak elde edilmiş ve Al7075-T6/20 J kombinasyonunun incelenen tasarım sınırları içerisinde üç performans kriteri açısından en uygun dengeyi sağladığı belirlenmiştir.

Genel olarak elde edilen sonuçlar, düşük hızlı darbe koşullarında yalnızca yüksek maksimum yük taşıma kapasitesinin değil, deformasyon ve enerji absorpsiyon davranışının da alaşım seçiminde birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. İncelenen alaşımlar içerisinde Al7075-T6, yüksek maksimum tepe yükü ile düşük maksimum yer değiştirme ve hasar derecesi sergileyerek çoklu performans kriterleri açısından en avantajlı genel davranışı göstermiştir. Elde edilen bulguların, düşük hızlı darbe yüklerine maruz kalan hafif metalik yapılarda uygun alüminyum alaşımının seçimine yönelik sayısal bir değerlendirme çerçevesi sunabileceği düşünülmektedir.

Referanslar

[1] Ic YT, Hamzaoğlu BM, Yurdakul M. A robust aluminum material selection process in the

aviation industry: A linear discrete system stability test perspective for fuzzy multicriteria decision-making. *Arab J Sci Eng* 2024; 49(11): 14989–15005. DOI: 10.1007/s13369-024-08911-z.

[2] El-Hameed AMA, Abdel-Aziz YA, El-Tokhy FS. Anodic coating characteristics of different aluminum alloys for spacecraft materials applications. *Mater Sci Appl* 2017; 8: 197–208.

[3] Kara M, Uyaner M. Metal tabakalı kompozitlerin düşük hızlı enine darbeye karşı davranışlarının incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4(4): 257–270. DOI: 10.15317/Scitech.2016.56.

[4] Dündar M, Uygur İ, Ekici E. Optimization of low-velocity impact behavior of FML structures at different environmental temperatures using Taguchi method and grey relational analysis. *J Compos Mater* 2025; 59: 885–906.

[5] Zhou J, Liu J, Zhang X, et al. Experimental and numerical investigation of high velocity soft impact loading on aircraft materials. *Aerosp Sci Technol* 2019; 90: 44–58.

[6] Karaağaç İ, Kabakçı MO, Demirel MY. Experimental investigation of the effects of annealing in Al7075-T6 sheet metal material on formability and springback. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 2021; 36(3): 1319–1329. DOI: 10.17341/gazimmfd.647009.

[7] Avcu E. Bilyalı dövme parametrelerinin AA7075 T6 alüminyum alaşımının yüzey altı özelliklerine etkileri. *GU J Sci Part C* 2018; 6(4): 741–752. DOI: 10.29109/gujsc.389828.

[8] Şimşek D, Şimşek İ. RRA işleminde yeniden yaşlandırma sıcaklığının AA7075 alaşımlarının darbe dayanımına etkisi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018; 5(3): 882–887. DOI: 10.31202/ecjse.439251.

[9] Öksüz KE, Bağırov H, Şimşir M, et al. Investigation of mechanical properties and microstructure of AA2024 and AA7075. *Appl Mech Mater* 2013; 390: 547–551. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.390.547.

[10] Gök O, Kayrici M, Demirci MT. Experimental and numerical investigation of the plastic region behaviours of AA 1100 and AA 7075 aluminium alloys at different velocities and energy levels. *Tehnički vjesnik* 2025; 32(3): 1143–1150. DOI: 10.17559/TV-20240725001880.

[11] Yadav BK, Jahangiri M, Singh D. Experimental and numerical simulation to validate critical perforation velocity on a flat plate aluminium alloy 6061. *Adv Mater Sci Eng* 2022; 2022: 3707200. DOI: 10.1155/2022/3707200.

[12] Yeter E. Investigation of ballistic impact response of aluminum alloys hybridized with Kevlar/epoxy composites. *Politeknik Dergisi* 2019; 22(1): 219–227. DOI: 10.2339/politeknik.417758.

[13] Kılıç S, Kacar İ, Öztürk F. New trend in aerospace industry: Al-Li based alloys. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 2019; 34(1): 275–296. DOI: 10.17341/gazimmfd.416490.

[14] Dündar M, Uygur İ, Ekici E, Taşçıoğlu C, Gülenç B. Numerical and statistical investigation of the effect of composite layer thickness on low-velocity impact behaviour in fibre metal laminate materials. *Politeknik Dergisi* 2026; 29(1): 1–8. DOI: 10.2339/politeknik.1607678.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[15] Akram S, Jaffery SHI, Khan M, et al. Numerical and experimental investigation of Johnson–Cook material models for aluminum (Al 6061-T6) alloy using orthogonal machining approach. *Adv Mech Eng* 2018; 10: 1–14.

[16] Kay GJ. Failure modelling of titanium 6Al-4V and aluminum 2024-T3 with the Johnson-Cook material model. *DOT/FAA/AR-03/57*. 2003: 1–24.

[17] Uzun İ, Sözeri S, Salihoğulları S, Durak D, Pehlivanlı ZO. Alüminyum Al 7075-T6 için balistik davranışın sayısal analizi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 2022; 14(3): 286–302. DOI: 10.29137/umagd.1124316.

[18] Hussain M, Imad A, Nawab Y, et al. Effect of matrix and hybrid reinforcement on fibre metal laminates under low-velocity impact loading. *Compos Struct* 2022; 288: 115371.

[19] Frutos JA, Ambriz RR, García CJ, Jaramillo D. Orthogonal impact load in 6061-T651 and 7075-T651 aluminum alloy plates. *J Mater Res Technol* 2023; 26: 4245–4262. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.08.174.

[20] Gülcan O, Tekkanat K, Çetinkaya B. A review on fiber metal laminates and their usage in aerospace industry. *Mühendis ve Makina* 2019; 60: 262–288.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE YANGIN RİSKİNE KARŞI HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN SAYISAL MODELLEME VE SENARYO ANALİZİYLE OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF VENTILATION SYSTEMS AGAINST FIRE RISK IN UNDERGROUND COAL MINES THROUGH NUMERICAL MODELING AND SCENARIO ANALYSIS

Berke SAĞIR[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-0573-0779
sagirberke46@gmail.com, 05399136097

Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296
deniza@iuc.edu.tr, 05428118036

Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840
stuylu@iuc.edu.tr, 05428088283

Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR[2,*]
[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706
dismail@iuc.edu.tr, 05426427349

ÖZET

Yeraltı kömür madenlerinde havalandırma sistemleri, çalışma ortamına yeterli temiz havanın sağlanmasının yanı sıra zararlı gazların uzaklaştırılması, termal koşulların kontrolü ve yangın durumlarında oluşan duman ve toksik gazların güvenli güzergâhlara yönlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, bir yeraltı linyit işletmesinin mevcut havalandırma sistemi üç boyutlu sayısal modelleme yaklaşımıyla incelenmiş ve yangın güvenliği açısından optimize edilmiştir. İşletmeden elde edilen galeri geometrileri, fan özellikleri, hava hızları, regülatörler ve hava giriş-çıkış noktaları kullanılarak üç boyutlu bir havalandırma ağı oluşturulmuştur. Model, saha hava hızı ölçümleriyle kalibre edilmiş; mevcut durumda A1, A2 ve A6 olarak kodlanan üretim panolarındaki hava hızlarının sırasıyla 0,1, 0,3 ve 0,2 m/s düzeylerinde olduğu belirlenmiştir. Fan kapasitesi ve regülatör açıklıklarının değiştirilmesine dayalı optimizasyon

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

sonucunda üç panoda da hava hızı 0,5 m/s seviyesine yükseltilmiştir. Optimize edilen ve mevcut havalandırma şebekeleri üzerinde üç farklı yangın senaryosu modellenmiştir. Birinci senaryoda yangın sonrası CO'nun ocaktan uzaklaştırılma süresi 7 saatten 2 saat 46 dakikaya düşmüş ve yaklaşık %60,4 iyileşme sağlanmıştır. İkinci senaryoda temizlenme süresi 4 saat 44 dakikadan yaklaşık 2 saate düşerken, toksik gazların kontrollü dönüş havası güzergâhlarında tutulabildiği belirlenmiştir. Üçüncü senaryoda ise eski üretim alanında modellenen kendiliğinden yanma olayında optimizasyonun yangını daha kısa sürede söndürmek yerine oksijen beslemesini sınırlandırarak yangını izole ettiği, üretim ve ana ulaşım yollarındaki CO konsantrasyonunu 0 ppm seviyesinde tuttuğu görülmüştür. Sonuçlar, havalandırma optimizasyonunun normal işletme koşullarındaki hava dağılımının iyileştirilmesinin ötesinde, yangın sırasında toksik gaz yayılımının kontrolü ve güvenli tahliye yollarının korunması açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Kömür Madenciliği, Havalandırma Optimizasyonu, Yangın Simülasyonu, Karbonmonoksit, Kendiliğinden Yanma, Sayısal Modelleme.

ABSTRACT

Ventilation systems in underground coal mines are critical not only for supplying sufficient fresh air to the working environment but also for removing harmful gases, controlling thermal conditions, and directing smoke and toxic gases generated during fires toward safe return-air routes. In this study, the existing ventilation system of an underground lignite mine was investigated using a three-dimensional numerical modeling approach and optimized with respect to fire safety. A three-dimensional ventilation network was constructed using mine roadway geometries, fan characteristics, air velocities, regulators, and air intake and return points obtained from the mine. The model was calibrated using field air velocity measurements. Under the existing conditions, air velocities in the production panels designated A1, A2, and A6 were determined to be 0.1, 0.3, and 0.2 m/s, respectively. Following optimization based on adjustments to fan capacity and regulator openings, the air velocity in all three panels was increased to 0.5 m/s. Three different fire scenarios were modeled using both the existing and optimized ventilation networks. In the first scenario, the time required to remove CO from the mine following the fire was reduced from 7 h to 2 h 46 min, corresponding to an improvement of approximately 60.4%. In the second scenario, the clearance time decreased from 4 h 44 min to approximately 2 h, while toxic gases were effectively confined to controlled return-air routes. In the third scenario, involving a spontaneous combustion event modeled in an old production area, the optimized ventilation system isolated the fire by limiting the oxygen supply rather than extinguishing it more rapidly and maintained CO concentrations at 0 ppm along production and main access routes. The results demonstrate that ventilation optimization is important not only for improving airflow distribution under normal operating conditions but also for controlling toxic gas dispersion and maintaining safe evacuation routes during mine fires.

Keywords: Underground Coal Mining, Ventilation Optimization, Fire Simulation, Carbon Monoxide, Spontaneous Combustion, Numerical Modeling.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliği; sınırlı çalışma hacmi, karmaşık galeri geometrisi, yanıcı malzemelerin varlığı ve metan, karbonmonoksit ve diğer zararlı gazların oluşabilmesi nedeniyle yüksek iş sağlığı ve güvenliği riski taşıyan faaliyetlerden biridir. Yeraltı ocaklarında elektrik ekipmanları, bantlı konveyör sistemleri, dizel makineler, sıcak çalışma faaliyetleri ve kömürün kendiliğinden oksidasyonu farklı nitelikte yangınların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Kapalı yeraltı ortamında oluşan ısı, duman ve toksik gazların kısa sürede çalışma alanlarına taşınabilmesi, yangınların sonuçlarını daha kritik hâle getirmektedir (McPherson, 1993; Hartman vd., 2012).

Havalandırma sistemi normal işletme koşullarında çalışanlara yeterli temiz hava sağlamak, zararlı gazları ve tozu uzaklaştırmak ve uygun mikroiklim koşullarını korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte sistemin önemi yangın durumunda daha da artmaktadır. Yangının oluşturduğu termal yük, hava yoğunluğunu ve basınç dağılımını değiştirerek normal hava akım düzeninin bozulmasına neden olabilir. Aynı zamanda mevcut hava akımı yangına oksijen sağlayarak yanma şiddetini artırabilir ve oluşan toksik gazları aktif çalışma alanlarına taşıyabilir.

Bu nedenle yangın güvenliği açısından amaç yalnızca mümkün olan en yüksek hava debisini sağlamak değildir. Hava miktarının ve yönünün, yangını gereksiz biçimde beslemeyecek ve oluşan duman ile toksik gazları güvenli dönüş havası güzergâhlarına yönlendirecek biçimde kontrol edilmesi gerekir. Özellikle goaf olarak tanımlanan eski üretim alanlarında düşük sıcaklıklı kömür oksidasyonu sonucunda açığa çıkan ısının yeterince uzaklaştırılamaması, kendiliğinden ısınma ve daha ileri aşamada kendiliğinden yanmaya neden olabilmektedir (Carras ve Young, 1994; Beamish ve Arisoy, 2008).

Bu çalışmanın amacı, bir yeraltı linyit işletmesinde mevcut havalandırma sisteminin saha ölçümleri kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmesi, hava hızları açısından kritik üretim bölgelerinin belirlenmesi ve fan-regülatör düzenlemeleri ile havalandırma sisteminin optimize edilmesidir. İkinci aşamada mevcut ve optimize edilmiş sistemler üzerinde üç farklı yangın senaryosu oluşturularak CO yayılımı, gazın tahliye güzergâhları ve sistemin güvenli duruma dönme süreleri karşılaştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Sahası ve Model Girdileri

Çalışma, uzun ayak üretim yönteminin uygulandığı, çok sayıda üretim ve hazırlık galerisinden oluşan bir yeraltı linyit işletmesine ait gerçek saha verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşletmenin ve bulunduğu bölgenin adı bildiride anonimleştirilmiştir. Sayısal modelde galeri geometrileri, kesit alanları, fan debileri, regülatör açıklıkları, hava sızıntı oranları ve çevresel koşullar temel girdiler olarak kullanılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Tablo 1. Havalandırma modelinde kullanılan başlıca girdi parametreleri.

Model bileşeni	**Değer / aralık**	**Açıklama**
Galeri kesiti	5 × 5 m	Model geometrisi
Hava yoğunluğu	1,2 kg/m^3	Atmosfer koşulu
Bağıl nem	%80	Mikroiklim girdisi
Kömür ısı üretim katsayısı	150-250 kJ/kg	Oksidasyon/ısıl model
Isı iletim katsayısı	0,25 W/mK	Termal model
Regülatör açıklığı	%25-75	Parametrik senaryolar
Hava sızıntısı	%5–20	Şebeke kayıpları

2.2. Üç Boyutlu Havalandırma Modeli ve Kalibrasyon

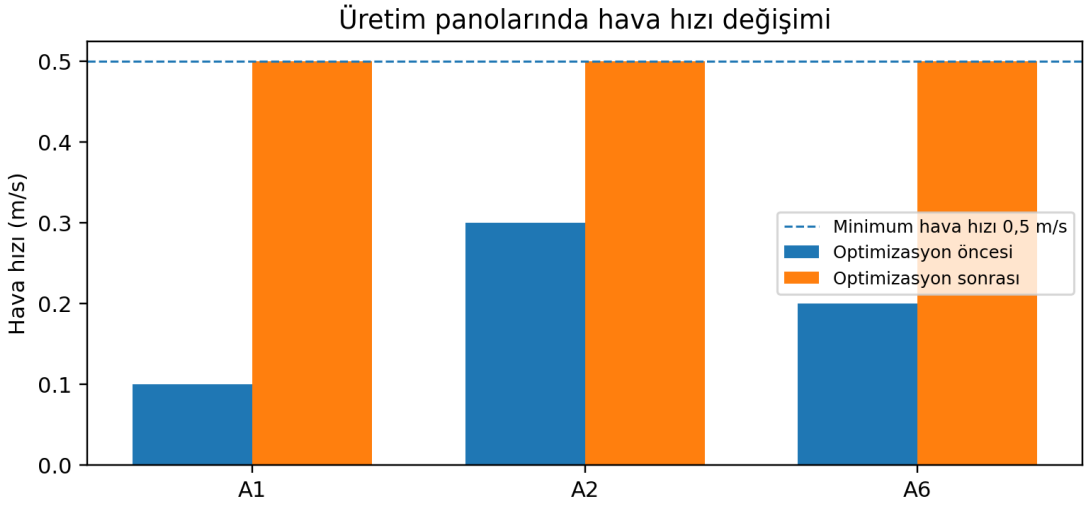
İşletmeye ait iki boyutlu üretim ve hazırlık planları öncelikle bilgisayar destekli tasarım ortamında düzenlenmiş; çakışan çizgiler, açık uçlar ve düğüm noktalarındaki süreksizlikler giderilmiştir. Düzenlenen geometrik ağ daha sonra vektörel veri formatında üç boyutlu maden havalandırma ve yangın simülasyon yazılımına aktarılmıştır. Model üzerinde ana ve yardımcı fanlar, havalandırma boruları, kapılar, barajlar, regülatörler ve yüzey bağlantıları gerçek konumlarına göre tanımlanmıştır.

Modelin saha koşullarını temsil etme düzeyi, aktif çalışma galerilerindeki anemometre ölçümleri ile simülasyondan elde edilen hava hızlarının karşılaştırılması yoluyla değerlendirilmiştir. Risk değerlendirmesinde 0,5 m/s minimum hava hızı esas alınmış; CO için 100 ppm değeri yasal sürekli maruziyet sınırı değil, yangın senaryolarında kritik gaz birikimini belirlemek üzere kullanılan muhafazakâr bir alarm eşiği olarak tanımlanmıştır. O_2 <%19,5, görünürlük <5 m ve ıslak termometre sıcaklığı ≥27 °C değerleri de değerlendirme ölçütleri arasında yer almıştır.

2.3. Havalandırma Optimizasyonu

Mevcut sistemde A1, A2 ve A6 panolarındaki hava hızları sırasıyla 0,1, 0,3 ve 0,2 m/s olarak belirlenmiştir. Optimizasyon kapsamında fan kapasiteleri, regülatör açıklıkları ve hava dağılımı değiştirilerek parametrik senaryolar oluşturulmuştur. A6 bölgesindeki yardımcı fan debisi 13 m³/s'den 25 m³/s'ye yükseltilmiş; A1 ve A2 panolarında ise hava akımını yeniden dağıtmak amacıyla ana hava giriş kolunda %53 ve A2 taze hava giriş kolunda %65 etkin açıklığa sahip regülatörler tanımlanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Şekil 1. Üretim panolarında optimizasyon öncesi ve sonrası hava hızlarının karşılaştırılması.

2.4. Yangın Senaryoları

Yangın performansının değerlendirilmesi amacıyla havalandırma şebekesine 28 sanal sensör yerleştirilmiş ve üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Birinci senaryo 150 kg kauçuk ve 50 L dizel yakıt içeren yüksek yanıcılığa sahip bir yangını; ikinci senaryo 80 L hidrolik yağ ve 20 kg PVC esaslı malzeme yangınını; üçüncü senaryo ise eski üretim alanında kendiliğinden yanma koşullarını temsil etmek üzere 5000 kg düşük kaliteli kömür yükünü kapsamaktadır. Her senaryo, aynı başlangıç koşullarında optimizasyon öncesi ve sonrası havalandırma ağında çalıştırılmış; CO konsantrasyonu, gaz yayılım güzergâhı ve sistemin güvenli duruma dönme süresi karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Havalandırma Optimizasyonunun Etkisi

Optimizasyon sonucunda A1, A2 ve A6 panolarındaki hava hızları 0,5 m/s seviyesine yükseltilmiştir. A6'da fan debisinin artırılmasıyla hava hızının 0,2'den 0,5 m/s'ye çıkması, yerel fan kapasitesi müdahalesinin etkili olduğunu göstermiştir. A1 ve A2'de ise regülatörlerle gerçekleştirilen basınç ve direnç düzenlemesi aynı hedefe ulaşılmasını sağlamıştır. Ayrıca A2 bölgesindeki ikincil fan ve buna bağlı havalandırma borusu hattına duyulan gereksinimin ortadan kalkması, optimizasyonun potansiyel enerji ve bakım avantajı da sağlayabileceğine işaret etmektedir. Ancak tezde doğrudan enerji tüketimi veya maliyet miktarı verilmediğinden bu ekonomik katkı nicel olarak hesaplanmamıştır.

3.2. Birinci Yangın Senaryosu

Optimizasyon öncesinde 150 kg kauçuk ve 50 L dizel yüküyle gerçekleştirilen birinci yangın senaryosunda 30. dakikada yangın odağındaki CO konsantrasyonu 3613 ppm'e ulaşmıştır. Ana kavşakta 106,1 ppm, birinci saatte bazı alt kollarda 122,7 ve 111,4 ppm; ana egzoz hattının giriş ve çıkış bölgelerinde ise 126,9 ve 126,1 ppm CO belirlenmiştir. Mevcut sistemin CO açısından güvenli duruma dönmesi yaklaşık 7 saat sürmüştür.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Optimizasyon sonrasında aynı senaryoda sistem 2 saat 46 dakikada güvenli duruma dönmüş ve temizlenme süresi yaklaşık %60,4 oranında azaltılmıştır. Bu sonuç, havalandırma optimizasyonunun yalnızca anlık CO konsantrasyonunu değil, toksik gazın temiz hava ve tahliye güzergâhlarından uzaklaştırılmasını ve sistemden atılma süresini de önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

3.3. İkinci Yangın Senaryosu

İkinci senaryoda 80 L hidrolik yağ ve 20 kg PVC esaslı malzeme kullanılmıştır. Optimizasyon öncesinde 30. dakikada yangın odağında 336,8 ppm ve A6'dan dönen kirli hava yolunda 671,0 ppm CO belirlenmiştir. Birinci saatte kirli hava dönüş koridorundaki konsantrasyon 317 ppm düzeyinde kalmıştır. Mevcut sistem yangın gazlarını ancak 4 saat 44 dakika sonunda tamamen uzaklaştırabilmiştir.

Optimizasyon sonrasında 30. dakikada yangın odağındaki CO 183 ppm'e, kirli hava yolundaki değer 180,2 ppm'e gerilemiştir. Birinci saatte yangın odağı çevresindeki CO 7 ppm düzeyine inerken, gazın büyük ölçüde egzoz güzergâhlarında tutulduğu görülmüştür. Sistem yaklaşık 2 saat sonunda yapının genelinde CO'yu 0 ppm seviyesine düşürmüş; ana çıkışta ise yalnızca 5,2 ppm kalıntı belirlenmiştir.

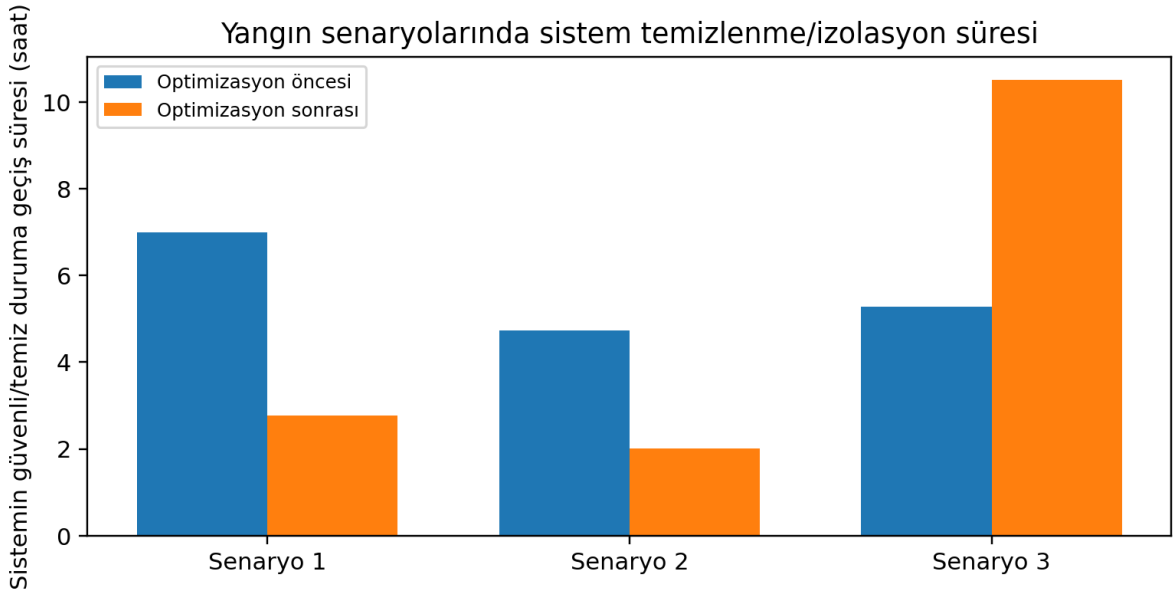
3.4. Kendiliğinden Yanma Senaryosu

Üçüncü senaryo diğer iki senaryodan farklı bir davranış göstermiştir. Eski üretim alanında 5000 kg düşük kaliteli kömür kullanılarak modellenen kendiliğinden yanma olayında optimizasyon öncesinde 30. dakikada yangın odağı ve yakın bağlantılardaki CO konsantrasyonları yaklaşık 1900 ppm seviyesine ulaşmıştır. Birinci saatte bazı dönüş yollarında 2000 ppm'in üzerinde CO değerleri oluşmuş ve batı çıkışlarında yaklaşık 399-418 ppm düzeyleri belirlenmiştir. Sistem 5 saat 17 dakika 15 saniyede yangını sona erdirmiş olsa da bu süreçte ocak ve egzoz yollarının önemli bölümü yüksek CO konsantrasyonlarına maruz kalmıştır.

Optimizasyon sonrasında yangın yaklaşık 10 saat 31 dakika sürmüş, yani yangının sona erme süresi kısalmamıştır. Buna karşılık ana nakliye ve taze hava giriş yollarında CO 0 ppm düzeyinde tutulmuş, toksik gazlar yangın bölgesi ve deşarj koridorunda izole edilmiş ve geri tepme engellenmiştir. Nihai durumda üretim ve ana ulaşım yollarında CO 0 ppm, egzoz hattında ise yaklaşık 0,1 ppm olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuç, yangın güvenliğinde optimizasyon başarısının yalnızca yangını ne kadar hızlı söndürdüğü üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir. Kendiliğinden yanma senaryosunda oksijen beslemesinin sınırlandırılması yanmayı yavaşlatmış ve yangın süresini uzatmış; buna karşılık yangının açık alevli ve kontrolsüz bir olaya dönüşmesini engelleyerek aktif çalışma ve kaçış güzergâhlarını korumuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Şekil 2. Yangın senaryolarında optimizasyon öncesi ve sonrası sistem temizlenme/izolasyon süreleri.

Tablo 2. Üç yangın senaryosunda optimizasyonun temel etkileri.

Senaryo	**Optimizasyon öncesi**	**Optimizasyon sonrası**	**Temel sonuç**
1: Kauçuk + dizel	7 sa.	2 sa. 46 dk.	Temizlenme süresi %60,4 azaldı
2: Hidrolik yağ + PVC	4 sa. 44 dk.	≈2 sa.	Gaz tahliyesi hızlandı
3: Kendiliğinden yanma	5 sa. 17 dk.	10 sa. 31 dk.	Süre arttı; temiz hava yolları korundu

3.5. Genel Değerlendirme

Yangın sırasında hava miktarının artırılması her durumda güvenliğin artacağı anlamına gelmemektedir. Yüksek hava debisi yangın ürünlerinin hızlı uzaklaştırılmasına yardımcı olurken aynı zamanda yangın bölgesine daha fazla oksijen taşıyarak yanmayı güçlendirebilir. Özellikle kendiliğinden yanma açısından hassas goaf alanlarında hava sızıntılarının kontrol edilmesi, toplam hava miktarının artırılmasından daha önemli olabilir.

Çalışmanın bulguları, havalandırma optimizasyonunun üç temel hedefi birlikte dikkate alması gerektiğini göstermektedir: normal üretim sırasında yeterli hava hızının sağlanması, yangın sırasında temiz hava ve kaçış güzergâhlarının korunması ve toksik gazların kontrollü biçimde egzoz hatlarına yönlendirilmesi. Böylece sayısal modelleme, gerçek koşullarda güvenli biçimde denenemeyecek acil durum senaryolarının önceden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

4. SONUÇLAR

Bir yeraltı linyit işletmesinin gerçek geometrik ve havalandırma verilerinin kullanıldığı bu çalışmada aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

• Mevcut durumda A1, A2 ve A6 üretim panolarındaki hava hızlarının sırasıyla 0,1, 0,3 ve 0,2 m/s olduğu ve bu değerlerin 0,5 m/s minimum hava hızı kriterini karşılamadığı belirlenmiştir.

• Fan kapasitesi ve regülatör açıklıklarının yeniden düzenlenmesi sonucunda üç üretim bölgesindeki hava hızları 0,5 m/s'ye yükseltilmiştir.

• Birinci yangın senaryosunda sistemin CO açısından güvenli duruma dönme süresi 7 saatten 2 saat 46 dakikaya indirilmiş ve yaklaşık %60,4 iyileşme sağlanmıştır.

• İkinci yangın senaryosunda temizlenme süresi 4 saat 44 dakikadan yaklaşık 2 saate düşürülmüş ve gazın temiz hava bölgelerine yayılımı önemli ölçüde sınırlandırılmıştır.

• Kendiliğinden yanma senaryosunda optimizasyon yangının toplam süresini azaltmamış; oksijen beslemesinin sınırlandırılması nedeniyle süre yaklaşık 5 saat 17 dakikadan 10 saat 31 dakikaya çıkmıştır. Buna karşılık aktif üretim, ana ulaşım ve kaçış yollarında CO'nun 0 ppm düzeyinde tutulması güvenlik açısından daha önemli bir kazanım sağlamıştır.

• Yangın senaryolarında havalandırma optimizasyonunun başarı kriterinin yalnızca yangının sönme süresi olmadığı; CO yayılımı, temiz hava koridorlarının korunması, geri tepmenin önlenmesi ve kontrollü gaz tahliyesinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Sonuç olarak üç boyutlu sayısal modelleme ve senaryo analizi, gerçek bir yeraltı işletmesinde deneysel olarak oluşturulması mümkün olmayan yangın koşullarının önceden değerlendirilmesine olanak sağlayarak acil durum planlaması açısından güçlü bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda modelin dinamik sensör verileriyle gerçek zamanlı güncellenmesi, fan ve regülatörlerin CO-O_2-sıcaklık ölçümlerine göre otomatik kontrol edilmesi ve yangın güvenliği ile enerji tüketiminin birlikte ele alındığı çok amaçlı optimizasyon modellerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1919B012532735 No'lu TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destek için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Beamish, B., Arisoy, A. (2008). Effect of mineral matter on coal self-heating rate. Fuel, 87(1), 125-130, https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.03.049.

Carras, J. N., Young, B. C. (1994). Self-heating of coal and related materials: Models, application and test methods. Progress in Energy and Combustion Science, 20(1), 1-15, https://doi.org/10.1016/0360-1285(94)90004-3.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013). Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği. Resmî Gazete, 28770.

Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., Wang, Y. J. (2012). Mine ventilation and air conditioning (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Kaymakçı, E., Didari, V. (2002). Relations between coal properties and spontaneous combustion parameters. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 26(1):59-64.

McPherson, M. J. (1993). Subsurface ventilation and environmental engineering. Chapman & Hall.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

DEMİR MADENİ PROSES ATIKLARININ MEKANİK VE KİMYASAL AKTİVASYONLA ÇİMENTO ESASLI HARÇLARDA DEĞERLENDİRİLMESİ

UTILIZATION OF IRON ORE PROCESSING WASTES IN CEMENT-BASED MORTARS THROUGH MECHANICAL AND CHEMICAL ACTIVATION

Zeynep Tuana ÜÇÜNCÜ[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0008-9090-5538
zeyneptuana.ucuncu@ogr.iuc.edu.tr , 05056436301

Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR[1,*]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706
dismail@iuc.edu.tr, 05426427349

Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ[2]
[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840
stuylu@iuc.edu.tr, 05428088283

Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL[2]
[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296
deniza@iuc.edu.tr, 05428118036

ÖZET

Demir madeni zenginleştirme proseslerinden kaynaklanan ince taneli atıkların depolanması, arazi kullanımı ve uzun dönemli çevresel etkiler bakımından önemli bir atık yönetimi problemi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, demir madeni proses atığının mekanik ve kimyasal aktivasyon sonrasında çimento esaslı harçlarda ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atık malzeme kurutma ve boyut küçültme işlemlerinden sonra 60 dakika süreyle bilyalı değirmende öğütülmüş; kimyasal aktivasyon aşamasında sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) esaslı sistemler değerlendirilmiştir. Harçlarda demir madeni atığı farklı ikame oranlarında kullanılmış ve numunelerin 7, 28 ve 56 günlük mekanik performansları basma ve üç noktalı eğilme dayanımı deneyleriyle belirlenmiştir. XRF sonuçlarında atığın başlıca bileşenleri SiO_2 (%49,6), Fe_2O_3 (%30,0) ve Al_2O_3 (%10,8) olarak belirlenmiştir. Kimyasal aktivatör kullanılmadan, yalnızca mekanik olarak aktive edilen atığın %5 ikame oranında 56 günlük basma dayanımı yaklaşık 58,5 MPa'a ulaşarak 52 MPa düzeyindeki referans numuneyi

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

aşmıştır. NaOH aktivasyonu basma dayanımını genel olarak düşürürken, Na_2SiO_3 aktivasyonu özellikle uzun kür süresinde daha olumlu sonuç vermiş; %8 Na_2SiO_3 ve %20 atık ikamesinde 56 günlük basma dayanımı 40,2 MPa olarak elde edilmiştir. Eğilme dayanımı bakımından ise Na_2SiO_3 aktivasyonu belirgin bir iyileşme sağlamış ve %8 Na_2SiO_3 ile %5 atık ikameli numunede 56 günde 16,0 MPa değerine ulaşılmıştır. Sonuçlar, demir madeni proses atığının düşük ikame oranlarında mekanik aktivasyonla doğrudan değerlendirilebileceğini; kimyasal aktivatör türü ve dozajının ise hedeflenen mekanik özelliğe göre seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Demir Madeni Proses Atığı, Kimyasal Aktivasyon, Mekanik Aktivasyon, NaOH, Na_2SiO_3, Çimento Ikamesi, Basma Dayanımı.

ABSTRACT

Fine-grained wastes generated from iron ore beneficiation processes pose a significant waste management challenge in terms of storage requirements, land use, and long-term environmental impacts. In this study, the potential utilization of iron ore processing waste as a replacement material in cement-based mortars following mechanical and chemical activation was investigated. After drying and size reduction, the waste material was ground in a ball mill for 60 min. Sodium hydroxide (NaOH)- and sodium silicate (Na_2SiO_3)-based systems were evaluated for chemical activation. Iron ore processing waste was incorporated into the mortars at different replacement levels, and the mechanical performance of the specimens at 7, 28, and 56 days was evaluated through compressive and three-point flexural strength tests. XRF analysis revealed that the waste was mainly composed of SiO_2 (49.6%), Fe_2O_3 (30.0%), and Al_2O_3 (10.8%). Without the use of a chemical activator, the mechanically activated waste at a 5% replacement level achieved a 56-day compressive strength of approximately 58.5 MPa, exceeding that of the reference mortar, which was approximately 52 MPa. NaOH activation generally reduced compressive strength, whereas Na_2SiO_3 activation produced more favorable results, particularly at longer curing ages. A 56-day compressive strength of 40.2 MPa was obtained with 8% Na_2SiO_3 and 20% waste replacement. In terms of flexural strength, Na_2SiO_3 activation resulted in a notable improvement, reaching 16.0 MPa at 56 days for the mortar containing 8% Na_2SiO_3 and 5% waste replacement. The results indicate that iron ore processing waste can be directly utilized at low replacement levels following mechanical activation, while the type and dosage of chemical activator should be selected according to the targeted mechanical performance.

Keywords: Iron Ore Processing Waste, Chemical Activation, Mechanical Activation, NaOH, Na_2SiO_3, Cement Replacement, Compressive Strength.

1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinde cevherin ekonomik bileşenlerinin kazanılması kadar, zenginleştirme sonrasında ortaya çıkan yüksek hacimli proses atıklarının güvenli ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi de önem taşımaktadır. Demir cevheri zenginleştirme tesislerinde oluşan ince taneli

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

atıklar; depolama alanı ihtiyacı, uzun dönemli stabilite ve çevresel etkiler nedeniyle önemli bir yönetim yükü oluşturabilmektedir. Dairesel ekonomi yaklaşımı, bu tür atıkların yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir malzeme olarak değil, uygun karakterizasyon ve ön işlemler sonrasında ikincil hammadde olarak değerlendirilmesini öngörmektedir.

Çimento sektörü, yüksek enerji tüketimi ve CO_2 emisyonları nedeniyle alternatif bağlayıcı ve ek çimentolama malzemelerinin geliştirilmesinin yoğun olarak araştırıldığı alanlardan biridir (Turner ve Collins., 2013). Portland çimentosunun belirli oranlarda endüstriyel yan ürünler veya maden atıklarıyla ikame edilmesi, klinker tüketimini ve doğal hammadde kullanımını azaltma potansiyeline sahiptir (Andrew, 2018; Scrivener vd., 2018). Bununla birlikte, bir maden atığının çimentolu sistemlerde etkili biçimde kullanılabilmesi yalnızca kimyasal bileşimine değil; tane boyutuna, özgül yüzey alanına, kristalin/amorf faz dağılımına ve aktivasyon koşullarına da bağlıdır.

Demir madeni atıkları çoğunlukla silis, alümina ve demir oksit bakımından zengin olmakla birlikte, doğal haldeki kristalin yapı ve düşük reaktivite bağlayıcılık performansını sınırlandırabilir. Mekanik aktivasyon, öğütme yoluyla tane boyutunu küçültüp özgül yüzey alanını artırırken; kimyasal aktivasyon, alkali ortamda silikat ve alüminat türlerinin çözünmesini hızlandırarak yeni bağlayıcı fazların oluşumunu teşvik etmeyi amaçlar. NaOH ve Na_2SiO_3, alkali aktive edilmiş sistemlerde yaygın olarak kullanılan aktivatörler arasındadır (Provis ve van Deventer, 2009; Provis vd., 2015).

Duan ve arkadaşları (2016), demir cevheri atıklarının alkali aktive edilmiş sistemlerde kullanılabileceğini ve mekanik performansın aktivatör, prekürsör bileşimi ve kür koşullarından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Benzer biçimde, demir cevheri atıklarının ek çimentolama malzemesi veya ince agrega olarak değerlendirilmesi, uygun ön işlemler ve karışım tasarımı ile mekanik ve çevresel açıdan avantaj sağlayabilmektedir (Liu vd., 2023; Zhang vd., 2023).

Bu çalışmanın amacı, demir madeni proses atığının mekanik öğütme ve iki farklı alkali aktivatör kullanılarak hazırlanması sonrasında çimento esaslı harçlarda ikame malzemesi olarak performansını karşılaştırmalı biçimde ortaya koymaktır. Bu kapsamda atığın kimyasal ve mineralojik özellikleri değerlendirilmiş; farklı atık ikame ve aktivatör oranlarının 7, 28 ve 56 günlük basma ve eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler ve karakterizasyon

Çalışmada hammadde olarak bir demir madeni zenginleştirme tesisinden temin edilen ince taneli proses atığı kullanılmıştır. İşletme ve saha adı bildiri kapsamında anonimleştirilmiştir. Ham atık 105±5 °C'de kurutulmuş, boyut küçültme işlemlerinden geçirilmiş ve daha sonra laboratuvar tipi bilyalı değirmende 500 g'lık partiler halinde 60 dakika öğütülmüştür. Mekanik aktivasyonun temel amacı, atığın tane boyutunu çimento inceliğine yaklaştırmak ve kimyasal reaksiyonlara açık özgül yüzey alanını artırmaktır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Atığın kimyasal bileşimi X-ışını floresansı (XRF), mineralojik yapısı X-ışını kırınımı (XRD) ile değerlendirilmiştir. Tez verilerinde özgül ağırlık 3,45 g/cm^3, ham atığın başlangıç Blaine inceliği ise yaklaşık 1850 cm^2/g olarak verilmiştir. Harç üretiminde CEM I 42,5 R Portland çimentosu, TS EN 196-1'e uygun CEN standart kumu ve şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Demir madeni proses atığının XRF ile belirlenen ana kimyasal bileşimi.

Bileşen	**Demir madeni proses atığı (%)**
SiO_2	49,6
Fe_2O_3	30,0
Al_2O_3	10,8
K_2O	4,24
Na_2O	1,86
CaO	1,17
MgO	1,01
Cl^-	0,0494
SO_3	0,141

2.2. Harç tasarımı ve aktivasyon yaklaşımı

Öğütülmüş demir madeni atığı çimento yerine farklı oranlarda ikame edilmiştir. Deney programında %5, %10, %20, %30 ve %40'a kadar atık ikame oranları değerlendirilmiş; kimyasal aktivasyon serilerinde NaOH ve Na_2SiO_3 esaslı aktivatörler farklı dozajlarda kullanılmıştır. Deney sonuçlarının karşılaştırılmasında özellikle %4, %6 ve %8 aktivatör düzeyleri öne çıkmıştır. Kimyasal aktivatör içermeyen seri, mekanik aktivasyonun tek başına etkisini ortaya koymak amacıyla ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Harç üretiminde 450 g toplam bağlayıcı, 1350 g CEN standart kumu ve yaklaşık 225 g su esas alınmıştır. Taze harçlar 40×40×160 mm boyutlu prizmatik kalıplara iki tabaka halinde yerleştirilmiş ve her tabakaya 60 sarsma uygulanmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak yaklaşık 20 °C sıcaklıkta kür suyunda bekletilmiştir.

2.3. Mekanik deneyler ve değerlendirme

Numuneler 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri sonunda üç noktalı eğilme ve basma dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyinde 40×40×160 mm prizmatik numuneler kullanılmış; kırılma sonrasında elde edilen parçalar basma dayanımı deneyinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar MPa cinsinden hesaplanmış ve aynı seri için tekrarlı ölçümlerin ortalamaları esas alınmıştır. Çalışmanın temel karşılaştırma eksenleri; aktivatör türü, aktivatör oranı, demir madeni atığı ikame oranı ve kür süresidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

3.1. Atığın bağlayıcılık potansiyeli

XRF analizinde SiO_2, Fe_2O_3 ve Al_2O_3'ün toplam bileşimin büyük bölümünü oluşturması, atığın silikat ve alüminat içeren bağlayıcı sistemlerde değerlendirilmesi açısından önemli bir göstergedir. Bununla birlikte, kimyasal bileşim tek başına yüksek puzolanik reaktivite anlamına gelmemektedir. XRD değerlendirmelerinde manyetit, hematit ve kuvars gibi kristalin fazların belirlenmesi, ham atığın reaktivitesinin sınırlı olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle mekanik öğütme ile özgül yüzey alanının artırılması deneysel tasarımın kritik aşamasını oluşturmuştur.

Literatürde demir cevheri atıklarının çoğu durumda tek başına yüksek reaktiviteli bir prekürsör gibi davranmadığı, ancak ince öğütme, alkali aktivasyon veya uygun çimentolu matrisle birlikte kullanıldığında performansının iyileştirilebildiği bildirilmektedir (Duan vd., 2016; Tole, 2022; Zoetelief, 2022). Bu çalışmada elde edilen mekanik sonuçlar da aktivasyon yönteminin seçiminin en az atık ikame oranı kadar belirleyici olduğunu göstermiştir.

3.2. Kimyasalsız mekanik aktivasyon serileri

Kimyasal aktivatör kullanılmadan yalnızca öğütülmüş demir madeni atığının kullanıldığı seriler, basma dayanımı bakımından çalışmanın en başarılı sonuçlarını vermiştir. 56 günlük kür sonunda %5 atık ikameli numunenin basma dayanımı yaklaşık 58,5 MPa'a ulaşmış ve aynı yaştaki yaklaşık 52 MPa'lık referans numuneyi aşmıştır. %10 ikame oranında da yaklaşık 52 MPa düzeyinde referansa yakın bir performans korunmuştur. Buna karşılık ikame oranı %20'nin üzerine çıktığında basma dayanımında sistematik düşüş görülmüş ve %40 ikamede değer yaklaşık 22 MPa seviyesine gerilemiştir.

Bu davranış, düşük ikame oranlarında ince öğütülmüş atığın tane paketlenmesini iyileştiren dolgu etkisi ve sınırlı puzolanik katkısıyla açıklanabilir. İkame oranı yükseldikçe hidratasyon için kullanılabilir klinker miktarının azalması ve atığın daha düşük reaktivitesi nedeniyle dilüsyon etkisi baskın hale gelmektedir. Eğilme dayanımında da mekanik aktivasyon olumlu sonuç vermiş; 56 günlük %5 ikame serisinde 18,3 MPa ile yüksek bir değer elde edilmiştir. Bu bulgu, yalnızca kimyasal aktivasyonun değil, uygun tane boyutuna getirmenin de atığın performansını önemli ölçüde değiştirebildiğini göstermektedir.

3.3. NaOH aktivasyonunun etkisi

NaOH ile aktive edilen serilerde basma dayanımları kimyasalsız mekanik aktivasyon serilerine göre belirgin biçimde daha düşük kalmıştır. 28 günlük referans numune yaklaşık 42,5 MPa dayanım gösterirken, %4 NaOH ve %5 atık ikamesinde en yüksek değer yaklaşık 19,5 MPa olarak belirlenmiştir. NaOH oranının %6 ve %8'e yükselmesiyle dayanımların çoğunlukla 10-15 MPa bandına gerilemesi, daha yüksek alkali dozajının bu hammadde için doğrudan performans artışı sağlamadığını göstermektedir. 56 günlük kürde en yüksek NaOH serisi, %4 aktivatör ve %5 atık ikamesinde yaklaşık 29,5 MPa'a ulaşmış; buna karşın 52 MPa'lık referans değerinin altında kalmıştır.

NaOH serilerindeki bu sonuç, alkali aktivasyonun her mineralojik bileşimde aynı şekilde çalışmadığını göstermektedir. Yüksek alkalinite; çözünme, jel oluşumu ve hidratasyon dengesi uygun değilse matrisin gelişimini olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte eğilme dayanımında

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

daha olumlu bir tablo gözlenmiş ve 28 günlük %4 NaOH-%10 atık kombinasyonunda yaklaşık 13,7 MPa değerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla NaOH kullanımı basma dayanımı hedefi açısından avantajlı görünmese de, matrisin eğilme davranışında farklı bir etki oluşturmuştur.

3.4. Na_2SiO_3 aktivasyonunun etkisi

Sodyum silikat aktivasyonlu seriler, NaOH serilerine göre daha yüksek basma dayanımı sağlamış ancak genel olarak kimyasalsız düşük ikame serilerinin gerisinde kalmıştır. 28 günlük kürde en yüksek basma dayanımı %6 Na_2SiO_3 ve %5 atık ikamesinde yaklaşık 27,5 MPa olarak ölçülmüştür. Kür süresinin 56 güne uzamasıyla dayanım gelişimi belirginleşmiş ve %8 Na_2SiO_3-%20 atık kombinasyonunda 40,2 MPa'a ulaşılmıştır. %4 Na_2SiO_3 ve %5 atık ikamesinde ise yaklaşık 38,5 MPa değer elde edilmiştir.

Na_2SiO_3'ün en dikkat çekici etkisi eğilme dayanımında görülmüştür. 28 günlük %4 Na_2SiO_3-%5 atık serisi yaklaşık 13,4 MPa eğilme dayanımı verirken, 56 günlük %8 Na_2SiO_3-%5 atık serisi 16,0 MPa'a ulaşmış ve yaklaşık 8,0 MPa'lık referans değerinin iki katına çıkmıştır. Bu sonuç, çözünmüş silikat türlerinin matris içerisinde oluşan bağlayıcı ağ yapısına katkısının çekme/eğilme gerilmeleri altında daha belirgin hale gelebileceğini düşündürmektedir. Ancak bu yorumun mikroyapısal analizlerle desteklenmesi, mekanizmanın daha güvenilir biçimde ortaya konulması açısından gereklidir.

Tablo 2. Deneysel serilerde öne çıkan mekanik performans sonuçları.

Sistem	**Kür**	**Öne çıkan karışım**	**Basma dayanımı (MPa)**	**Eğilme dayanımı (MPa)**
Referans	56 gün	%0 atık	52,0	8,0
Kimyasalsız	56 gün	%5 atık	58,5	18,3
NaOH	28 gün	%4 NaOH + %5 atık	19,5	-
NaOH	56 gün	%4 NaOH + %5 atık	29,5	-
Na_2SiO_3	28 gün	%6 Na_2SiO_3 + %5 atık	27,5	-
Na_2SiO_3	56 gün	%8 Na_2SiO_3 + %20 atık	40,2	-
Na_2SiO_3	56 gün	%8 Na_2SiO_3 + %5 atık	-	16,0

Deneysel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, demir madeni proses atığının performansında "daha fazla aktivatör = daha yüksek dayanım" şeklinde doğrusal bir ilişki bulunmadığı görülmektedir. Basma dayanımı açısından en uygun yaklaşım, düşük ikame oranında mekanik aktivasyonun tek başına kullanılmasıdır. Özellikle %5 ikame oranında referansın aşılması ve %10 ikamede referans seviyesinin korunması, çimento tüketiminin sınırlı ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir.

Kimyasal aktivasyon açısından Na_2SiO_3, NaOH'a göre daha başarılı bir profil sergilemiştir. Buna rağmen Na_2SiO_3 serilerinin basma dayanımı bakımından referansı aşamaması, kimyasal aktivasyonun yalnızca aktivatör dozajı üzerinden optimize edilemeyeceğini; silikat modülü, sıvı/bağlayıcı oranı, kür sıcaklığı, atığın mineralojik yapısı ve inceliği gibi parametrelerin

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Öte yandan Na_2SiO_3 ile elde edilen yüksek eğilme dayanımları, farklı kullanım amaçları için önemli bir tasarım fırsatı sunmaktadır.

Bu sonuçlar, demir cevheri atıklarının uygun tasarım koşullarında çimentolu kompozitlerde değerlendirilebileceğini bildiren çalışmalarla genel olarak uyumludur (Duan vd., 2016; Liu vd., 2023; Palma vd., 2024). Ancak bu çalışmada kimyasalsız mekanik aktivasyonun basma dayanımında kimyasal aktivasyon serilerinden daha başarılı olması, atığın özgün mineralojik yapısının ve tane boyutu optimizasyonunun kritik önemini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada demir madeni proses atığının mekanik ve kimyasal aktivasyon sonrasında çimento esaslı harçlarda ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

• Demir madeni proses atığının XRF bileşiminde SiO_2 (%49,6), Fe_2O_3 (%30,0) ve Al_2O_3 (%10,8) baskın bileşenlerdir. Bu kimyasal yapı, uygun ön işlemler sonrasında bağlayıcı sistemlerde değerlendirme potansiyeline işaret etmektedir.

• Yalnızca mekanik olarak aktive edilen atık, düşük ikame oranlarında en yüksek basma dayanımını vermiştir. %5 atık ikamesinde 56 günlük basma dayanımı yaklaşık 58,5 MPa ile 52 MPa düzeyindeki referans numuneyi aşmıştır; %10 ikamede ise referansa yakın performans korunmuştur.

• Atık ikame oranının %20'nin üzerine çıkarılması basma dayanımında belirgin düşüşe yol açmıştır. Bu nedenle yüksek ikame oranlarında dilüsyon etkisi ve düşük reaktif faz miktarı tasarımın temel sınırlayıcılarıdır.

• NaOH aktivasyonu, incelenen koşullarda basma dayanımı bakımından uygun sonuç vermemiştir. En yüksek 56 günlük NaOH serisi yaklaşık 29,5 MPa ile referansın belirgin biçimde altında kalmıştır.

• Na_2SiO_3 aktivasyonu NaOH'a göre daha başarılı olmuş; %8 Na_2SiO_3 ve %20 atık ikamesinde 56 günlük basma dayanımı 40,2 MPa'a ulaşmıştır.

• Eğilme dayanımı açısından en dikkat çekici sonuç Na_2SiO_3 aktivasyonunda elde edilmiştir. %8 Na_2SiO_3 ve %5 atık ikameli numunenin 56 günlük eğilme dayanımı 16,0 MPa'a ulaşarak referans değerinin yaklaşık iki katı olmuştur.

• Sonuçlar, yüksek basma dayanımı hedeflenen uygulamalarda düşük oranlı ve mekanik olarak aktive edilmiş demir madeni atığı kullanımının; eğilme performansının ön planda olduğu uygulamalarda ise Na_2SiO_3 esaslı aktivasyonun araştırılmaya değer olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda aktivatör molaritesi ve silikat modülünün sistematik optimizasyonu, 90 ve 180 günlük uzun dönem dayanım deneyleri, SEM/XRD ile reaksiyon ürünlerinin doğrulanması, porozite ve su emme deneyleri ile çevresel performans ve yaşam döngüsü değerlendirmelerinin birlikte ele alınması önerilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1919B012519149 No'lu TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destek için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Andrew, R. M. (2018). Global CO_2 emissions from cement production. Earth System Science Data, 10(1), 195-217. https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018.

Duan, P., Yan, C., Zhou, W. (2016). Fresh properties, compressive strength and microstructure of fly ash geopolymer paste blended with iron ore tailing under thermal cycle. Construction and Building Materials, 118, 76-88. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.059.

Liu, K., Wang, S., Quan, X., Jing, W., Xu, J., Zhao, N., Liu, B., Ying, H. (2023). Industrial byproduct iron ore tailings as ecofriendly materials in the utilization of cementitious composites. Construction and Building Materials, 372, 130813. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130813.

Palma, G., Bolaños, H., Huamani, R., Clements, C., Hedayat, A. (2024). Optimization of geopolymers for sustainable management of mine tailings: Impact on mechanical, microstructural, and toxicological properties. Minerals, 14(10), 997. https://doi.org/10.3390/min14100997.

Provis, J. L., Palomo, A., Shi, C. (2015). Advances in understanding alkali-activated materials. Cement and Concrete Research, 78, 110-125. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.013.

Provis, J. L., van Deventer, J. S. J. (Eds.). (2009). Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications. Woodhead Publishing.

Scrivener, K. L., John, V. M., Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO_2, cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 114, 2-26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

Tole, I. (2022). Revalorization of poorly reactive sources by mechanochemical activation [Doktora tezi, Luleå University of Technology].

Turner, L. K., Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO_2-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. Construction and Building Materials, 43, 125-130. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023.

Zhang, Y., Zhang, L., Wang, Q., Han, D., Li, Z. (2023). Iron ore tailings, phosphate slags, and lithium slags as ternary supplementary cementitious materials for concrete: Study on compression strength and microstructure. Materials Today Communications, 36, 106644. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106644.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Zoetelief, D. (2022). Investigation of iron ore mine tailings as an alternative concrete material [Honours thesis, Murdoch University].

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EFFECT OF VOLUMETRIC REPLACEMENT OF NATURAL SAND WITH BLACK MASS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT MORTARS

Lect. Serpil AĞIRMAN
Erzurum Technical University, serpil.agirman@erzurum.edu.tr - **ORCID ID:** 0000-0002-3522-3269

Assoc. Prof. Dr. Barış BAYRAK
Kafkas University, bbayrak@kafkas.edu.tr - **ORCID ID:** 0000-0002-7438-1227

Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
Atatürk University, acaydin@atauni.edu.tr - **ORCID ID:** 0000-0002-6696-4297

ABSTRACT

The utilization of black mass obtained from the recycling of spent lithium-ion batteries in cement-based materials may provide an alternative use for this material while reducing the consumption of natural aggregates. This study experimentally investigated the effects of replacing natural sand with black mass at different volumetric ratios on the early-age compressive strength of cement mortars. Accordingly, five different mixtures were prepared by replacing 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of natural sand by volume with black mass. The mixtures were cast into 50 × 50 × 50 mm cube molds. The specimens were demolded after 24 h and air-cured under laboratory conditions. At the age of three days, three specimens from each mixture were subjected to compressive strength testing. The mean compressive strengths of the BM0, BM25, BM50, and BM75 mixtures were determined as 4.09, 1.35, 1.40, and 0.61 MPa, respectively. No measurable compressive strength was obtained for the BM100 specimens. The results indicate that high black mass replacement levels limit the early-age mechanical performance of cement mortars under the investigated mixture and curing conditions.

Keywords: Black mass, natural sand, lithium-ion battery recycling, compressive strength.

1. INTRODUCTION

Aggregates, which constitute the most important component of cement-based composites, account for approximately 60–75% of the total concrete volume, with fine aggregates comprising approximately 35% of this volume (Kirthika et al., 2020). The high demand for river sand, which is frequently used as a natural fine aggregate, causes environmental degradation, including the deterioration of riverbeds and ecological imbalances, as well as an increased risk of flooding. For this reason, river sand extraction has been increasingly restricted by governments, resulting in supply shortages over time (Lai et al., 2026). In recent years, studies on the use of recycled materials in the production of new concrete are increasing in the construction industry (Forero et al., 2022).

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

The global transition toward clean energy and sustainable technologies, together with the rapid growth of the electric vehicle (EV) market and the increasing need for efficient energy storage systems, has led to a rise in demand for lithium-ion batteries (LIBs) (Siame et al., 2026). Owing to their high energy density and lightweight structure, LIBs are suitable power sources for EVs, electronic devices, and numerous modern technological applications. With a compound annual growth rate of approximately 16%, the global lithium-ion battery market was projected to reach USD 95 billion by 2025. This growth is expected to result in approximately 11 million metric tons of spent LIBs by 2030 (Roy et al., 2022).

According to the United States Geological Survey, 87% of the global lithium supply is allocated battery production. The remaining 13% is distributed among ceramics and glass (4%), lubricating greases (2%), and other applications (7%) (Zadeh et al., 2026). In this context, recycling end-of-life LIBs can help mitigate environmental problems, such as the release of toxic substances and fire hazards, while also reducing the energy required for the production of new batteries (Pinegar et al., 2019).

Black mass is a fine powder obtained through the mechanical processing of spent batteries (Kowalkińska, 2026). Its composition varies depending on the cathode chemistry of the processed battery. Black mass is commonly obtained from batteries containing LCO and NMC cathodes, which are widely used in the automotive and electronics sectors. It primarily contains Li, Co, Ni and Mn, together with graphite originating from the anode, and may also contain minor amounts of elements such as P, Fe, Cu, and Al (Mannu et al., 2026).
Given the limited research on the use of black mass in cement-based composites, the potential of this fine-grained material as an alternative to natural sand warrants further investigation. The use of black mass for this purpose may contribute both to the valorization of this recycling product obtained from end-of-life batteries and to reducing consumption of natural aggregates. In this study, the effects of replacing natural sand with black mass at different volumetric ratios on the three-day compressive strength of cement mortars were investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a total of five mixtures were prepared, including one reference mixture. The reference mixture, designated as BM0, contained only natural sand, whereas 25%, 50%, 75%, and 100% of the natural sand by volume was replayed with black mass in the BM25, BM50, BM75, and BM100 mixtures, respectively. The cement and water contents were kept constant at 400 and the 404 kg/m³, respectively. The mixture proportions are presented in detail in Table 1.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Table 1. Mixture proportions of black mass-containing mixtures

Mixture	BM replacement (vol. %)	Cement (kg/m^3)	Water (kg/m^3)	Sand (kg/m^3)	Black mass (kg/m^3)
BM0	0	400	404	1747.7	0.0
BM25	25	400	404	1310.8	235.3
BM50	50	400	404	873.9	470.5
BM75	75	400	404	436.9	705.8
BM100	100	400	404	0.0	941.1

For mortar production, the cement was first dry-mixed with natural sand and/or black mass. Water was then gradually added, and mixing was continued until a homogeneous mixture was obtained. The resulting mortar mixtures ware cast into 50 × 50 × 50 mm cube molds. Three specimens were demolded for each mixture. The specimens were demolded after 24 h and air-cured under laboratory conditions until the day of testing.



(a) **(b)**

Figure 1. Materials and specimen used in the experimental study: (a) black mass powder; (b) produced mortar specimens

Figure 1 shows the black mass used in the experimental study and the mortar specimens produced at different replacement levels. The mixtures prepared by replacing natural sand with black mass at specific volumetric ratios were cast into 50 × 50 × 50 mm cube molds. Following demolding, the specimens were air-cured under laboratory conditions until the day of testing.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Figure 2. Compressive strength test setup

Following three days of air curing, three cube specimens from each mixture were subjected to compressive strength testing using a compression testing machine. Three cube specimens from each mixture were tested for compressive strength. The compressive strength test setup is shown in Figure 2.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The effect of the black mass replacement level on mechanical performance was evaluated based on the three-day compressive strength results presented in Table 2. The mean compressive strength of the BM0 reference mixture, which contained no black mass, was 4.09 MPa. The BM25 mixture, in which 25% of the natural sand by volume was replaced with black mass, exhibited a mean compressive strength of 1.35 MPa. This value corresponds to a 67.0% reduction in compressive strength compared with the reference mixture.

The BM50 mixture, in which 50% of the natural sand by volume was replaced with back mass, exhibited a mean compressive strength of 1.40 MPa, corresponding to a 65.8% reduction relative to reference mixture. When the BM25 and BM50 mixtures were evaluated together, their compressive strength values were found to be very similar. Increasing the replacement level to 75% resulted in an 85.1% reduction in compressive strength, and no measurable value was obtained for one specimen in this series. In the BM100 series, no measurable compressive strength value was obtained for any of the specimens. Overall, the results indicate that the incorporation of black mass adversely affected the three-day compressive strength and that the loss of mechanical performance become more pronounced at high replacement levels.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Table 2. Compressive strength results of black mass-containing mortars

Mixture	Specimen1 (MPa)	Specimen2 (MPa)	Specimen3 (MPa)	Mean (MPa)	Reduction (%)
BM0	4.30	3.55	4.43	4.09	-
BM25	1.65	0.65	1.75	1.35	67.0
BM50	1.75	0.74	1.71	1.40	65.8
BM75	0.66	N/A	0.56	0.61*	85.1
BM100	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

The lower compressive strength observed in the black mass-containing specimens may be attributed to differences in the physical and mechanical properties of black mass and natural sand. The reduction in compressive strength with increasing black mass content may have resulted from the combined effects of the material's fine particle size, heterogeneous structure, and the amount of water used in the mixtures. The fine particle size of black mass may have increased the water demand of the mortar, while the resulting high water-to-cement ratio may have contributed to the reduction in early-age strength. Furthermore, insufficient bonding between the black mass particles and the cement paste may have been another factor contributing to the observed strength reduction.

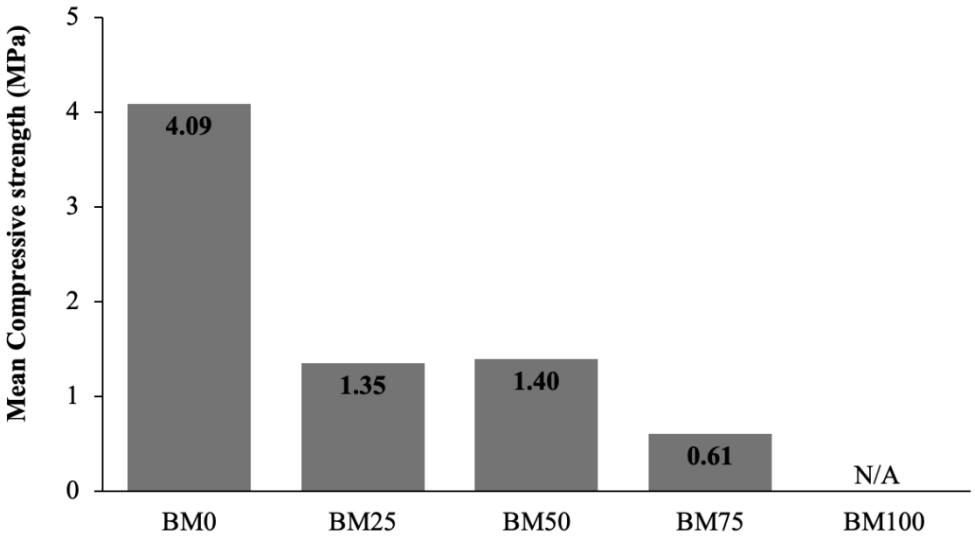


Figure 3. Mean compressive strength results of black mass-containing mortars
Note: N/A indicates that no measurable compressive strength value was obtained for BM100.

Figure 3 provides a comparative presentation of the effect of replacing natural sand with black mass on the mean three-day compressive strength of the mortars. The marked difference between the reference mixture and the black mass-containing mixtures indicates that early-age compressive strength was considerably affected even at low replacement levels. The similar results obtained for the BM25 and BM50 mixtures suggest that increasing the replacement level from 25% to 50% did not produce a linear change in the compressive strength under the

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

investigated conditions. The more pronounced reduction observed at the 75% replacement level suggests that use of high amounts of black mass may adversely affect the mechanical integrity of the mortar. Furthermore, the absence of a measurable compressive strength value for the BM100 specimens indicates that the complete replacement of natural sand was not viable under the investigated mixture conditions. However, these evaluations are based solely on three-day compressive strength results. Therefore, no definitive conclusions can be drawn regarding the long-term strength performance of black mass-containing mortars. Future studies should investigate lower replacement levels, different water-to-cement ratios, and longer curing periods.

4. CONCLUSIONS

In this study, the potential use of black mass obtained from the recycling of spent lithium-ion batteries as an alternative fine aggregate in cement mortar mixtures was investigated. For this purpose, 25%, 50%, 75%, and 100% of the natural sand by volume was replaced with black mass. The three-day compressive strengths of the prepared mixtures were experimentally evaluated. The main findings are summarized below.

- The highest mean three-day compressive strength was obtained for the BM0 reference mixture, with a value 4.09 MPa.
- The mean compressive strengths of the BM25 and BM50 mixtures were 1.35 and 1.40 MPa, respectively, indicating no marked difference in compressive strength between the two mixtures.
- When the black mass replacement level was increasing to 75%, the mean compressive strength decreased to 0.61 MPa, corresponding to an 85.1% reduction compared with to the reference mixture.
- When the black mass replacement level was increased to 75%, the mean compressive strength decreased to 0.61 MPa, corresponding to an 85.1% reduction compared with the reference mixture.
- No measurable compressiv strength value was obtained for any of the BM100 specimens.
- The findings indicated that increasing the black mass content adversely affected the early-age compressive strength of the mortars.

It should be noted that the findings of this study are limited to three-day compressive strength. Future studies should investigate lower black mass replacement levels, different water-to-cement ratios, and longer curing periods.

REFERENCES

[1] Kirthika, S. K., Singh, S. K., Chourasia, A. Alternative Fine Aggregates in Production of Sustainable Concrete—A Review, *Journal of Cleaner Production*, 268, 122089, 2020.

[2] Lai, M. H., Peng, W. J., Xie, Y. M., Ho, J. C. M., Kitipornchai, S., Ren, F. M. Wet Packing Density-Based Design for Improving Passing Ability and Strength of Recycled Aggregate Concrete, *Journal of Building Engineering*, 115912, 2026.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

[3] Forero, J. A., Brito, J. D., Evangelista, L., Pereira, C. Improvement of the Quality of Recycled Concrete Aggregate Subjected to Chemical Treatments: A Review, *Materials*, 15, 8, 2740, 2022.

[5] Roy, J. J., Rarotra, S., Krikstolaityte, V., Zhuoran, K. W., Cindy, Y. D. I., Tan, X. Y., et al., Srinivasan, M. Green Recycling Methods to Treat Lithium-Ion Batteries E-Waste: A Circular Approach to Sustainability, *Advanced Materials*, 34, 25, 2103346, 2022.

[6] Zadeh, A. H. M., Cunnigham, S., Gray, D., Bedrossian, S., Almusned, B., Henderson, J. D., Azimi, G. Selective Lithium Pre-Leaching from Spent NMC Black Mass via Pyrolysis (Carbothermal Treatment) and Controlled Leaching, *Waste Management*, 212, 115339, 2026.

[7] Pinegar, H., Smith, Y. R. End-of-Life Lithium-Ion Battery Component Mechanical Liberation and Separation, *JOM*, 71, 12, 4447–4456, 2019.

[8] Kowalkińska, M., Hupka, Ł., Ostrowski, A., Trykowski, G., Bester, K., Hupka, J., Zielińska-Jurek, A. Valorization of Size-Fractionated Black Mass from Spent Lithium-Ion Batteries for Catalytic Peroxymonosulfate Activation, *Sustainable Materials and Technologies*, e02085, 2026.

[9] Mannu, A., Di Pietro, M. E., Basilico, M. Y., Bontempi, E., Mele, A. Assessing the Sustainability of Solvometallurgy for Black Mass Processing—The LEACH (Low-Impact Extraction and Assessment of Chemical Solvometallurgy) Tool, *Green Chemistry*, 28, 12, 5210–5225, 2026.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

DEMİRYOLU YOLCU TAŞIMA HİZMETLERİNDE TEKNİK İYİLEŞTİRME ÖNCELİKLERİNİN KALİTE EVİ İLE BELİRLENMESİ

Yousef ALGHUSHAIMI

Karabük Üniversitesi, alghshymyy@gmail.com - ORCID: 0009-0008-8105-3759

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ziyaeddin BULUM

Karabük Üniversitesi, ahmetbulum@karabuk.edu.tr - ORCID: 0000-0003-2374-0135

ÖZET

Demiryolu yolcu taşıma hizmetlerinde müşteri beklentilerinin belirlenmesi, hizmet geliştirme çalışmalarının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu beklentilerin uygulanabilir teknik düzenlemelere dönüştürülmesi işletmenin hizmet iyileştirme kararları açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı, demiryolu yolcularının hizmet gereksinimleri ile işletme düzeyindeki teknik gereksinimler arasındaki ilişkileri, Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) kapsamında yapılandırmak ve teknik iyileştirme alanlarının göreli önceliklerini belirlemektir. Araştırmanın veri kaynağını daha önce demiryolu yolcu hizmetlerinden yararlanmış 203 katılımcının değerlendirmeleri oluşturmaktadır. On dört müşteri gereksinimi, demiryolu hizmet sürecine ilişkin on iki teknik gereksinimle Kalite Evi altında ilişkilendirilmiştir. İlişkiler güçlü, destekleyici ve ilişkisiz durumları temsil eden 9, 3 ve 0 puanlarıyla değerlendirilmiş; müşteri gereksinimlerinin önem ağırlıkları ile ilişki değerleri birleştirilerek teknik önem skorları hesaplanmıştır. Analiz sonucunda personel eğitimi ve hizmet içi gelişim programları en yüksek göreli teknik önceliğe sahip gereksinim olarak belirlenmiştir. Yolcu bilgilendirme sistemi ile acil durum ekipmanlarının görünürlüğü ve erişilebilirliği diğer yüksek öncelikli teknik alanlar olarak öne çıkmıştır. Elde edilen bulgular, Kalite Evi yaklaşımının yolcu beklentilerini operasyonel ve teknik karar alanlarıyla ilişkilendirmede yapılandırılmış bir karar desteği sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalite Fonksiyon Göçerimi, Kalite Evi, demiryolu yolcu taşımacılığı, teknik gereksinimler, teknik önceliklendirme.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

THE USAGE OF METAL-ORGANIC FRAMEWORK-SUPPORTED COMPOSITE IN ANTIBIOTIC ADSORPTION

Doç. Dr., BATUHAN YARDIMCI

Zonguldak Bülent Ecevit University, Science and Technology Application and Research Center (ARTMER), Zonguldak 67600, Turkiye, batuhan.yardimci@beun.edu.tr- 0000-0002-4041-8183

Dr., NERGİZ KANMAZ

Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, nergizkanmaz@gmail.com - 0000-0002-5598-4911

ABSTRACT

In this study, a Ti-MOF-supported waste cinnamon bark biomass (Ti-MOF/CB) composite was synthesised for the removal of antibiotics from aqueous media, and its performance in the adsorption of tetracycline (TC) was investigated. The Ti-MOF/CB composite was prepared using a hydrothermal method with terephthalic acid and titanium isopropoxide, and the morphological properties of the resulting material were examined via SEM analysis. Adsorption performance was evaluated based on various experimental parameters, such as initial TC concentration, contact time and temperature. Isotherm experiments revealed that the adsorption capacity increased with rising initial TC concentration, reaching levels of approximately 55–56 mg/g at high concentrations. In time-dependent experiments, it was observed that adsorption occurred rapidly at the outset, the adsorption rate decreased as the contact time progressed, and removal values of around 68–70 per cent were reached after approximately 420–480 minutes. Thermodynamic results indicated that, due to negative ΔG° values, TC adsorption occurred spontaneously within the temperature range studied; that adsorption was favoured by an increase in temperature; and that the process exhibited an endothermic character, as indicated by positive ΔH° values. The results obtained demonstrate that the Ti-MOF/CB composite is an effective and viable candidate adsorbent for the treatment of water containing TC.

Keywords: Metal-organic framework, Adsorption, Tetracycline, Ti-based MOF.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. INTRODUCTION

Antibiotics, due to their widespread use in human and veterinary medicine, are among the persistent organic pollutants frequently detected in water sources. Tetracycline (TC) is one of the most commonly used antibiotics because of its broad-spectrum efficacy and low cost; however, because it is not fully metabolized by organisms, a large portion of it enters wastewater unchanged. Since its accumulation in aquatic environments leads to the spread of antibiotic resistance genes and disruption of ecosystem balance, the removal of TC from water has become a significant area of environmental research.

Traditional water treatment methods (biological treatment, chlorination, coagulation, etc.) are generally insufficient for removing such pollutants due to the stable chemical structure of antibiotics. Therefore, adsorption has become one of the preferred methods for antibiotic removal due to its simple applicability, low cost, and high efficiency.

In recent years, metal-organic frameworks (MOFs) have become one of the material classes attracting attention in adsorption applications due to their high porosity, large surface area, and tunable structural properties [1]. Among these structures, titanium-based MOFs (Ti-MOFs) show promising results in antibiotic adsorption due to both their chemical stability and their ability to establish strong interactions with organic pollutants through active sites on their surfaces [2]. However, the cost and reusability limitations of pure MOF structures have led to the use of these materials in composite form with low-cost biomass-based support materials [3,4].

Combining waste biomass (such as agricultural and food industry wastes) with MOF structures can both reduce material costs and improve adsorption performance by increasing the pore structure and functional group diversity of the composite [5]. In this context, compositeting a lignocellulosic biomass such as waste cinnamon bark (CB) with Ti-MOF offers a sustainable and economical adsorbent development strategy.

This study investigated the usability of Ti-MOF/CB composite, synthesized by hydrothermal method using terephthalic acid and titanium isopropoxide, for the removal of TC from aqueous media. The morphological properties of the composite were examined using SEM analysis; its adsorption performance was evaluated in terms of parameters such as initial TC concentration, contact time, and temperature. The aim was to shed light on the potential applications of Ti-

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

MOF/CB composite as a low-cost and sustainable adsorbent in combating antibiotic contamination.

2. METHODS

2.1. Ti-MOF/CB synthesis and SEM analysis

To prepare the Ti-MOF-supported CB composite, 1.5 g of terephthalic acid was completely dissolved in 50 mL of dimethylformamide, after which 1.85 mL of titanium isopropoxide was slowly added. 3 g of cinnamon bark (CB) was added to the mixture and stirred. The mixture was transferred to a stainless-steel-lined hydrothermal Teflon reactor and held at 150 °C for 15 hours. Scanning electron microscopy (SEM, Carl Zeiss Sigma 300 VP) was used to analyze the morphology of the sample.

2.2. TC removal experiments

In the isotherm experiments, 10 mg of adsorbent was weighed into Falcon tubes. TC solutions with concentrations ranging from 10 to 200 mg/L were added to the adsorbents in 10 mL volumes and shaken for 24 hours. In the time-dependent experiments, 10 mL of a 50 mg/L TC solution was shaken with 10 mg of adsorbent for periods ranging from 10 to 480 min. For thermodynamic studies, 10 mL of a 50 mg/L TC solution was again shaken with 10 mg of adsorbent at temperatures ranging from 20 to 40 °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 360 nm using a UV-Vis spectrophotometer.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the SEM image of the Ti-MOF/CB composite synthesized by solvothermal method. Examination of the image reveals that the composite has a heterogeneous and rough surface morphology. The presence of voids and pores of varying sizes with irregular distribution within the structure suggests a morphology that may contribute to the formation of active sites where antibiotic molecules can reach the surface during adsorption. Furthermore, the small particles and aggregations observed on the surface indicate that the Ti-MOF structure has

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

formed/distributed on the CB surface. This heterogeneous and porous structure formed by the combination of Ti-MOF and CB suggests that the composite may have gained an advantageous structure in terms of surface area and accessible active sites for adsorption.

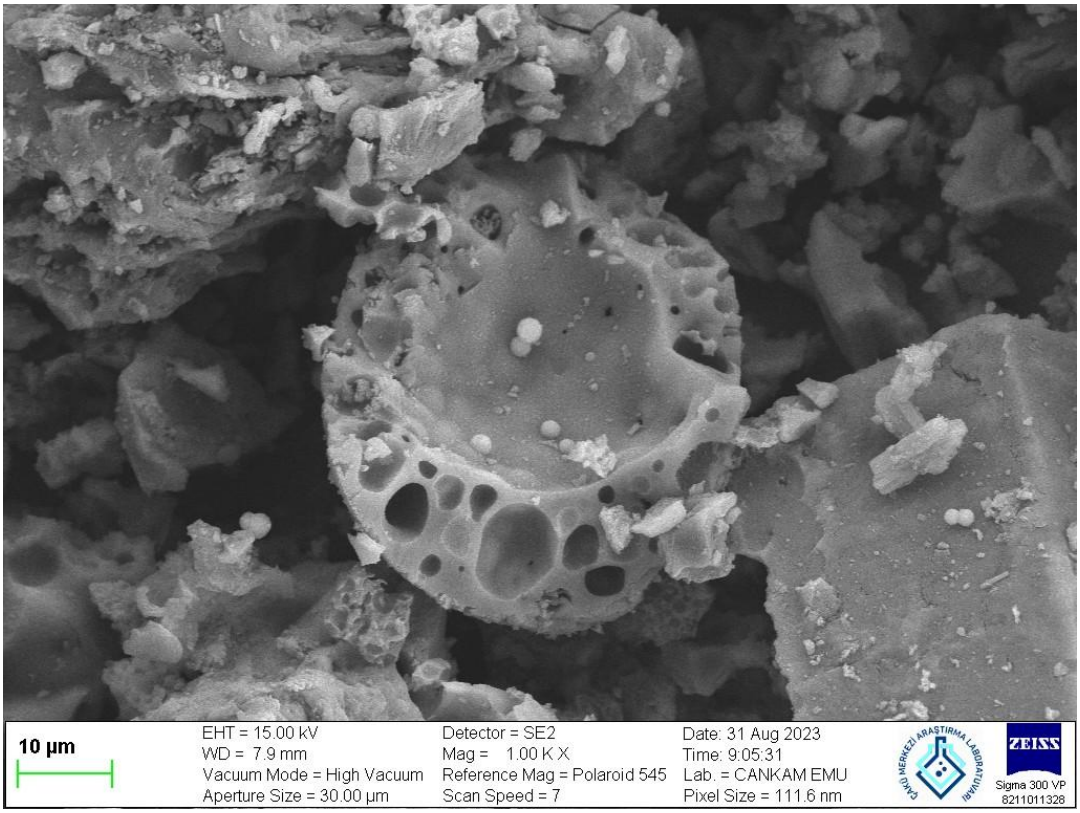


Figure 1. SEM image of Ti-MOF/CB composite.

Figure 2 shows the adsorption behaviour of the Ti-MOF/CB composite at different initial TC concentrations. It can be seen that the adsorption capacity (q_e) increases significantly as the initial TC concentration rises. Whilst q_e was approximately 17–32 mg/g at low concentrations, the capacity reached values of approximately 55–56 mg/g as the concentration increased. However, the gradual limitation of the increase in q_e at high concentrations can be attributed to the available active sites on the adsorbent surface beginning to become saturated. This behaviour indicates that the adsorption capacity approaches an equilibrium value at high TC concentrations. The results obtained demonstrate that the Ti-MOF/CB composite is an effective adsorbent for the removal of TC from aqueous solutions.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

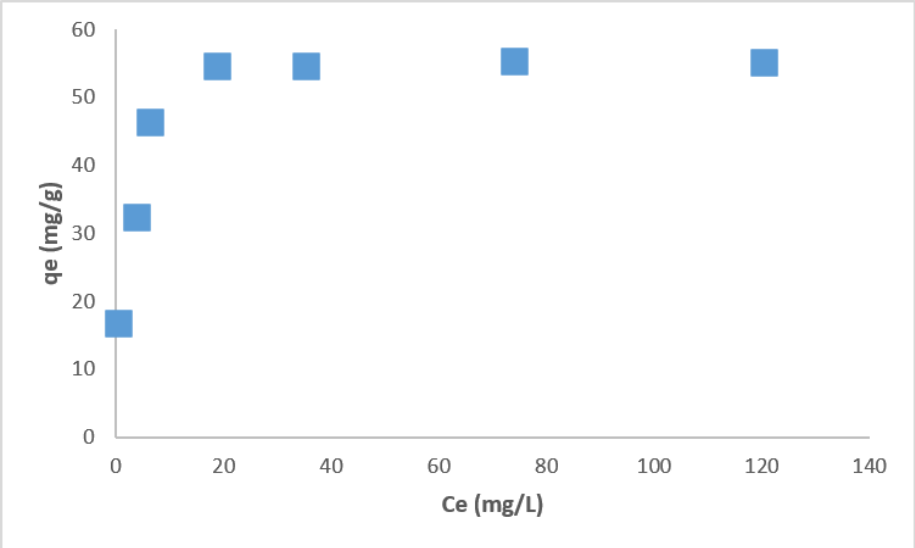


Figure 2. Isotherm graph of TC adsorption.

Figure 3 shows the change in TC adsorption of Ti-MOF/CB composite as a function of contact time. In the initial stage of adsorption, it is observed that the adsorption percentage increases rapidly with increasing contact time. The increase in adsorption capacity is more pronounced within the first 120–180 minutes, which can be explained by the presence of numerous vacant active sites on the adsorbent surface to which TC molecules can bind. The decrease in adsorption rate and the gradual flattening of the curve in subsequent periods indicate that the active sites are largely filled and the system is approaching adsorption equilibrium. After approximately 420–480 minutes, the adsorption percentage reaches 68–70%, showing a significant plateau trend. This result demonstrates that the Ti-MOF/CB composite exhibits rapid initial adsorption followed by adsorption behavior approaching equilibrium in TC removal.

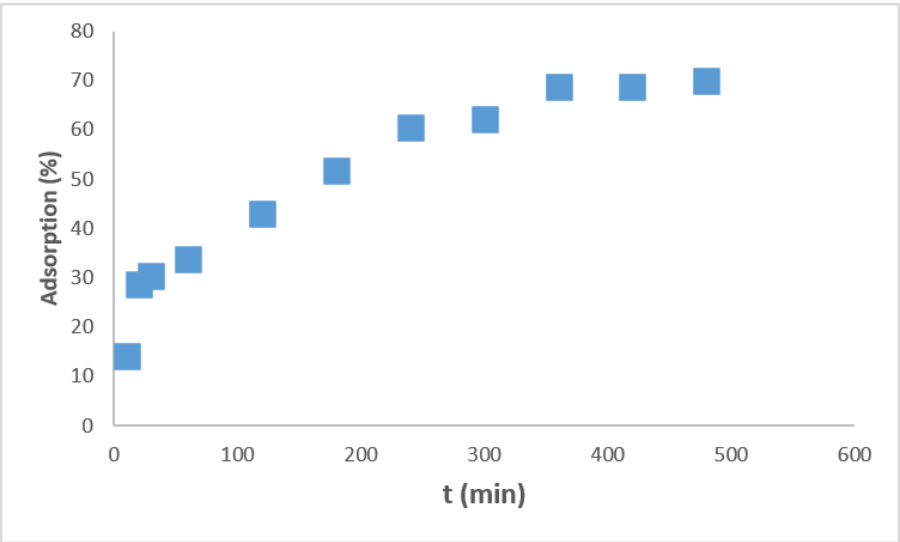


Figure 3. Time-dependent TC adsorption curve.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Table 1 shows the thermodynamic parameters of TC adsorption on the Ti-MOF/CB composite at different temperatures. It can be seen that, as the temperature is increased from 293 K to 313 K, the distribution coefficient (K_d) increases significantly from 4.78 to 31.64. This indicates that the increase in temperature has a positive effect on the adsorption of TC molecules onto the Ti-MOF/CB surface and that the adsorption process is temperature-sensitive. The fact that the calculated ΔG° values for adsorption are negative at all temperatures (-3.81, -5.25 and -8.98 kJ/mol) indicates that TC adsorption can occur spontaneously within the temperature range under investigation. Furthermore, the fact that the ΔG° values become more negative as the temperature increases suggests that higher temperatures favour the feasibility of the adsorption process. The positive ΔH° value (0.071 kJ/mol) given in the table indicates that the adsorption is endothermic in nature and that an increase in temperature promotes adsorption. The positive ΔS° value (256.24 J/mol K) indicates that disorder in the adsorbent–adsorbate system increases during adsorption and that the molecular order of the system changes as TC molecules bind to the surface.

Table 1 Thermodynamic coefficients of TC adsorption on Ti-MOF/CB.

T (K)	K_d	ΔH° (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)
293	4.78		-3.81	
303	8.05	0.071	-5.25	256.24
313	31.64		-8.98	

4. CONCLUSION

In this study, a Ti-MOF/CB composite was successfully synthesized for TC removal and its adsorption performance was investigated. SEM analysis showed that the composite has a porous and heterogeneous surface structure. The adsorption capacity increased with increasing TC concentration, reaching approximately 55–56 mg/g. In time-dependent experiments, adsorption initially occurred rapidly, reaching equilibrium at approximately 68–70% after 420–480 minutes. Thermodynamic results showed that the adsorption was spontaneous and endothermic, with negative ΔG° and positive ΔH° values. It was concluded that the Ti-MOF/CB composite can be used as an effective adsorbent for TC removal.

REFERENCES

[1] Thiyagarajan, D., Li, S., Subramani, S., Lee, B.-K. (2024). Titanium metal–organic framework-derived nanocrystalline TiO2-supported nitrogen-doped carbon

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

nanostructures as highly efficient antibiotic adsorbents. *Applied Surface Science*, 645, 158900.

[2] Omer, A.M., Abd El-Monaem, E.M., El-Subruiti, G.M., Abd El-Latif, M.M., Eltaweil, A.S. (2021). Fabrication of easy separable and reusable MIL-125(Ti)/MIL-53(Fe) binary MOF/CNT/Alginate composite microbeads for tetracycline removal from water bodies. *Scientific Reports*, 11, 1-14.

[3] Chen, B., Li, Y., Du, Q., Pi, X., Wang, Y., Sun, Y., Wang, M., Zhang, Y., Chen, K., Zhu, J. (2022). Effective removal of tetracycline from water using copper alginate @ graphene oxide with in-situ grown MOF-525 composite: Synthesis, characterization and adsorption mechanisms. Nanomaterials, 12(17), 2897.

[4] Zhu, M., Kurniawan, T.A., Avtar, R., Othman, M.H.D., Ouyang, T., Yujia, H., Xueting, Z., Setiadi, T., Iswanto (2021). Applicability of TiO2(B) nanosheets@hydrochar composites for adsorption of tetracycline (TC) from contaminated water. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 123999.

[5] Zhou, Y., Yang, Q., Zhang, D., Gan, N., Li, Q., Cuan, J. (2018). Detection and removal of antibiotic tetracycline in water with a highly stable luminescent MOF. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 262, 137-143.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TOXIC DYE REMOVAL USING AEROGEL-BASED MATERIALS

Dr., NERGİZ KANMAZ
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, nergizkanmaz@gmail.com - 0000-0002-5598-4911
Doç. Dr., ŞEYDA KARADİREK
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, skaradirek88@gmail.com - 0000-0002-8691-0712
Doç. Dr., MEHMET BUĞDAYCI
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, mehmetbug@gmail.com - 0000-0001-6276-9251

ABSTRACT

In this study, a silica aerogel-based adsorbent was prepared to remove malachite green (MG), a toxic dye, from an aqueous medium, and its adsorption performance was investigated. The silica aerogel was synthesized using the sol-gel method with TEOS as the precursor, and its surface functional groups were characterised by FTIR analysis. The effects of initial concentration, contact time and temperature on MG adsorption were investigated. Isotherm experiments revealed that the adsorption capacity increased with rising MG concentration, reaching a value of approximately 115-117 mg/g at high concentrations. In time-dependent experiments, it was observed that adsorption was rapid initially and approached equilibrium as time progressed. Furthermore, raising the temperature from 25°C to 45°C increased the adsorption capacity from approximately 40.7 mg/g to 44.2 mg/g. The findings demonstrate that silica aerogel is a potential adsorbent for the treatment of wastewater containing MG.

Keywords: Silica aerogel, Adsorption, Malachite green.

1. INTRODUCTION

Synthetic dyes released into water as a result of industrial activities have become one of the most important sources of water pollution today. Malachite Green (MG), one of these dyes, is a cationic triarylmethane dye and is widely used in the aquaculture sector against parasitic,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

fungal and bacterial infections in fish and fish eggs. However, it is known that MG has carcinogenic, mutagenic and teratogenic effects, leads to bioaccumulation in living tissues and creates serious toxic effects on aquatic ecosystems. Traditional treatment methods such as coagulation-flocculation, membrane filtration and advanced oxidation are not always sufficient in dye removal due to disadvantages such as high cost, secondary pollutant formation and limited efficiency. Adsorption method, on the other hand, is one of the most commonly preferred techniques for removing such pollutants from aquatic environments due to its ease of application, low cost and high removal capacity [1]. In recent years, aerogel-based materials have attracted attention as effective adsorbents due to their unique structural properties such as high porosity, low density, and large surface area. Among these materials, silica aerogels stand out in dye adsorption applications thanks to their synthesis by the sol-gel method, the suitability of silanol (Si–OH) groups on their surfaces for functionalization, and their mechanical/chemical stability [1]. Various studies have shown that silica aerogels synthesized using tetraethoxysilane (TEOS) as a precursor exhibit high adsorption capacity against cationic dyes, both in their pure form and after modification with metal or organic groups [2,3]. Furthermore, it has been reported that different synthesis parameters (precursor ratio, surface modification, drying method, etc.) directly affect the pore structure of the aerogel and thus its adsorption performance [4].

This study investigated the usability of silica aerogel (SA), synthesized by sol-gel method using TEOS as a precursor, as an adsorbent for the removal of MG from aqueous media. The surface functional groups of the synthesized material were characterized by FTIR analysis; and its adsorption performance was examined in terms of initial concentration, contact time, and temperature parameters, evaluating the potential of silica aerogel as a sustainable adsorbent in the treatment of wastewater containing toxic dyes.

2. METHODS

2.1. Silica aerogel synthesis and FTIR analysis

20 mL tetraethoxysilane (TEOS) and 12 mL ethanol were mixed in a 50 mL beaker. Then, 4 mL oxalic acid (0.008 M) was added dropwise to this solution and stirred at 50 °C for 12 h. Then, 0.4 mL ammonia solution (0.5 M) was added dropwise to this solution and then this mixture was transferred to 10 mL volume syringes with cut tops. The cut tops of syringes were covered with parafilm and kept at room conditions (25 °C) for 7 days to achieve gelation. To remove ethanol from the gelled samples, i.e. for solvent exchange, they were brought into

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

contact with hexane and then kept in trimethylsilyl chloride (TMCS) for 24 h for gel surface modification. After 24 h of modifications, the gel was aged in hexane for 24 h to remove unreacted materials. At the end of the aging process, the gel was dried at 60 °C for 24 h and then silica aerogel was synthesized after calcination at 400 °C for 2 h. The surface functional groups and bindings of SA was identified via FT-IR analysis (Perkin Elmer).

2.2. MG adsorption studies

In the isotherm experiments, 5 mg of adsorbent was weighed into Falcon tubes. 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. For the examination of time, 10 mL of a 50 mg/L MG solution was shaken with 5 mg of adsorbent for periods ranging from 30 to 480 min. For thermodynamic studies, 10 mL of a 50 mg/L MG solution was again shaken with 5 mg of adsorbent at temperatures ranging from 25 to 45 °C. At the end of the 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

When the FTIR spectrum of the silica aerogel is examined (Figure 1), the broad band observed around 3410.75 cm^{-1} is attributed to the hydroxyl (–OH) groups and adsorbed water molecules present on the surface. The band at 1625.33 cm^{-1} shows the O–H bending vibration of the adsorbed water. The band around 1276.43 cm^{-1} can be associated with the Si–O–Si vibrations in the silica structure. The distinct and intense band observed at 1056.06 cm^{-1} in the spectrum represents the characteristic Si–O–Si asymmetric stretching vibration of the silica network. In addition, the band at 961.23 cm^{-1} corresponds to the Si–OH (silanol) groups on the surface, and the band at 804.66 cm^{-1} corresponds to the symmetric stretching vibrations of the Si–O–Si bonds. These characteristic bands confirm that the obtained material has a silica-based structure and that it contains hydroxyl groups on its surface.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6



Figure 1. FTIR spectrum of silica aerogel.

Figure 2 shows that the equilibrium adsorption capacity (q_e) increases markedly as the initial MG concentration rises. Whilst q_e ranged from approximately 20 to 60 mg/g at low concentrations, the adsorption capacity reached a level of approximately 115-117 mg/g as the concentration increased. The limitation of the increase in capacity at high concentrations can be explained by the gradual saturation of the active adsorption sites on the silica aerogel surface and the system approaching adsorption equilibrium. These results demonstrate that silica aerogel possesses a high adsorption capacity for MG removal.

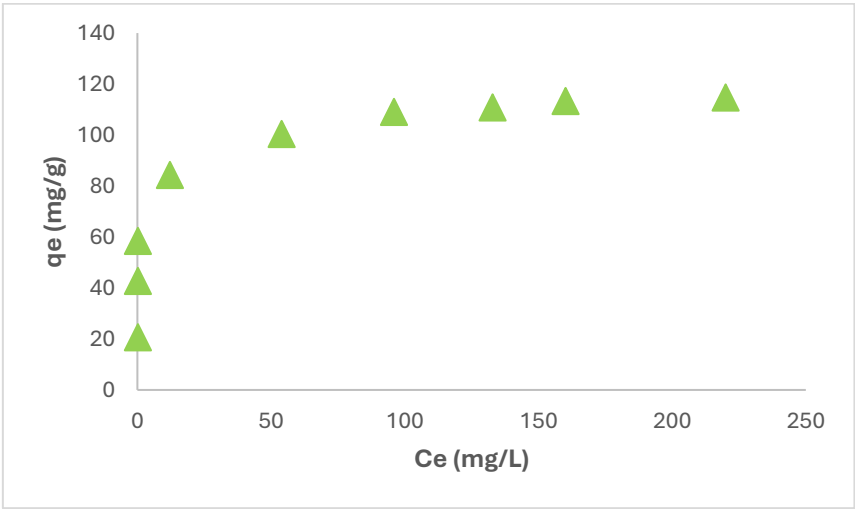


Figure 2. Isotherm graph of MG adsorption.

Figure 3 shows the effect of contact time on MG adsorption. It can be seen that the adsorption capacity increases rapidly with contact time in the initial stage, rising from approximately 19 mg/g at 30 minutes to approximately 59 mg/g at 300 minutes. This rapid increase can be

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

attributed to the large number of vacant active sites present on the adsorbent surface at the outset. The fact that the change in adsorption capacity becomes quite limited after 300 minutes indicates that the active sites have largely been filled and that the system reaches equilibrium within the range of approximately 360-480 minutes.

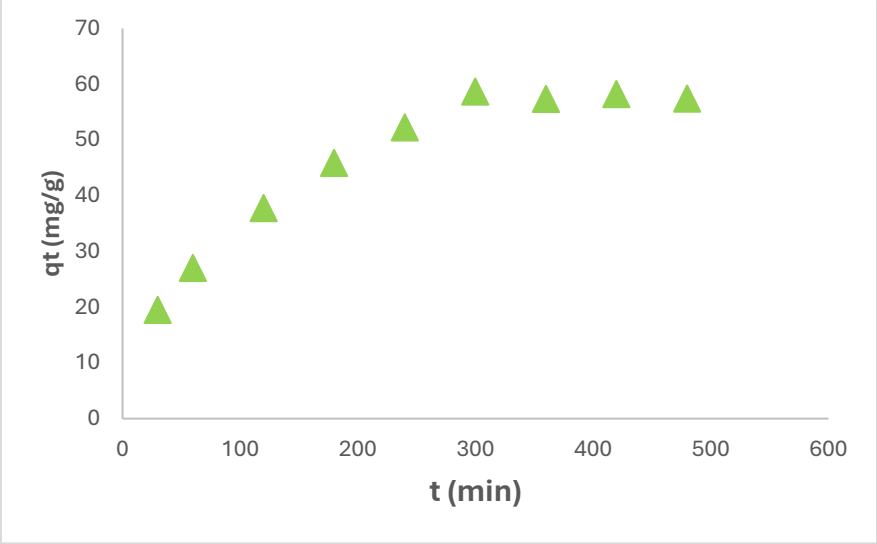


Figure 3. Time-dependent MG adsorption curve.

Figure 4 illustrates the effect of temperature on the MG adsorption capacity. It can be seen that as the temperature rises from 25°C to 45°C, the q_e value increases from approximately 40.7 mg/g to 44.2 mg/g. This increase suggests that, as temperature rises, MG molecules are able to reach the active sites on the adsorbent surface, facilitating the adsorption process, and also indicates that the adsorption may be endothermic in nature. However, the limited change in capacity with increasing temperature demonstrates that temperature has a positive but relatively modest effect on adsorption.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

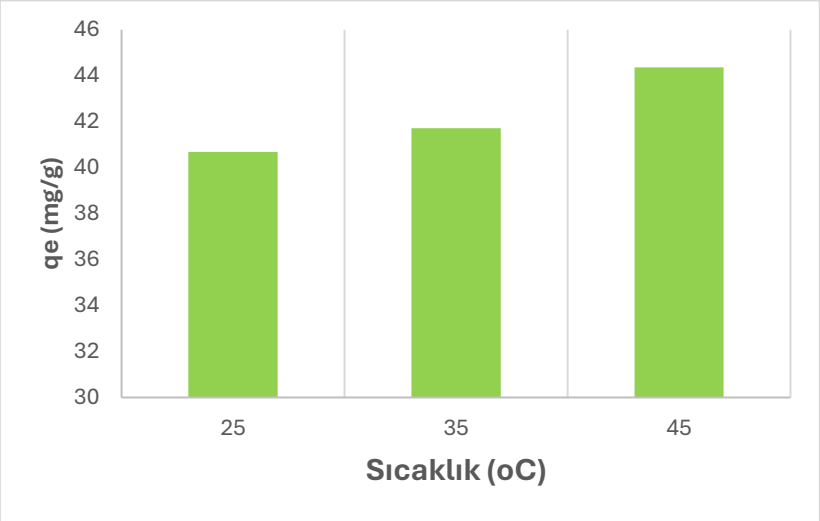


Figure 4. The effect of temperature on the adsorption capacity of MG.

4. CONCLUSION

In this study, silica aerogel was synthesized and its adsorption performance in the removal of magnesium glycerate was investigated. The functional groups of the synthesised aerogel powders were characterised using FTIR analysis. The isotherm results indicated that the adsorption capacity increased with rising magnesium glycerate concentration, reaching a value of approximately 115-117 mg/g. In the time-dependent experiment, it was observed that adsorption occurred rapidly at the outset and reached equilibrium after approximately 360-480 minutes. An increase in temperature, meanwhile, enhanced the adsorption capacity, with a capacity of approximately 44.2 mg/g achieved at 45°C. This demonstrates that silica aerogel can be used as an effective adsorbent for the removal of toxic MG dye from an aqueous medium.

REFERENCES

[1] Saad, N., Al-Mawla, M., Moubarak, E., Al-Ghoul, M., El-Rassy, H. (2015). Surface-functionalized silica aerogels and alcogels for methylene blue adsorption. *RSC Advances*, 5, 6382-6389.

[2] Mansa, R.F., Sipaut, C.S., Rahman, I.A., Yusof, N.S.M., Jafarzadeh, M. (2016). Preparation of glycine–modified silica nanoparticles for the adsorption of malachite green dye. *Journal of Porous Materials*, 23(1), 35-46.

[3] Tang, R., Hong, W., Srinivasakannan, C., Liu, X., Wang, X., Duan, X. (2022). A novel mesoporous Fe-silica aerogel composite with phenomenal adsorption capacity for malachite green. *Separation and Purification Technology*, 281, 119950.

[4] Akhter, F., Soomro, S.A., Inglezakis, V.J. (2023). Green, organic and facile synthesis of mesoporous silica aerogels for highly efficient Pb(II) removal from synthetic

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

wastewater: Isotherm and kinetic studies. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(2), 190.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

FLEXURAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED THERMOSET POLYURETHANE (PUR) POLYMER COMPOSITES

Chemical Engineer AHMET ÇETİNTAŞ[1],

[1] SUBOR PIPE Company, Karapürçek/Sakarya, cetıntasahmet77@gmail.com

ORCID ID : 0009-0000-5269-2924

Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[2] Sakarya University of Applied Science, Faculty of Technology, unal@subu.edu.tr

ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

In this study, the effects of short glass fiber reinforcement on the flexural mechanical properties and microstructural behaviour of polyurethane (PUR)-based composites were investigated. Short glass fibers with a length of 10 mm were incorporated into a polyol and isocyanate-based PUR system at different reinforcement ratios. The flexural behaviour of neat PUR and glass fiber reinforced PUR composites was experimentally evaluated in terms of flexural strength, flexural modulus, and deformation. In addition, the microstructural characteristics of the fracture surfaces were examined using scanning electron microscopy (SEM). The experimental results showed that glass fiber reinforcement had a positive effect on the flexural strength of the PUR based composites, with flexural strength increasing progressively with increasing glass fiber content. Similarly, increasing the glass fiber content resulted in a significant improvement in the flexural modulus, indicating enhanced stiffness of the composites. In contrast, the deformation under flexural loading decreased considerably with the addition of glass fibers, demonstrating a transition toward a stiffer and more deformation-resistant behaviour. These findings indicate that short glass fibers act as effective reinforcing agents within the PUR matrix and contribute significantly to the improvement of its mechanical performance. SEM observations provided further insight into the distribution of glass fibers within the PUR matrix, fiber-matrix interfacial interaction, and the morphological characteristics of the fracture surfaces.

Keywords: Polyurethane composites; glass fiber; flexural strength; flexural modulus; SEM analysis.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

1. INTRODUCTION

Polyurethane (PUR) is an important polymeric material with a high degree of design flexibility, as it can be produced with a wide range of mechanical and physical properties through the combination of different polyol and isocyanate components. Due to its low density, good impact resistance, chemical resistance, energy absorption capacity, and ability to be produced at different hardness levels, PUR is widely used in automotive, construction, energy, structural, and various industrial applications. However, considerable research has been conducted on the use of different reinforcing materials to improve the performance of neat PUR, particularly in applications requiring high mechanical strength and stiffness. Glass- and carbon fiber reinforced PUR composites are among the important material groups developed for this purpose and are currently being considered for various engineering applications (Han et al., 2025). Fiber reinforcement is one of the most effective approaches to increasing the load-bearing capacity and stiffness of polymer matrices. In particular, glass fibers are widely preferred in polymer composites due to their advantages, including high specific strength and elastic modulus, relatively low cost, chemical stability, and compatibility with various manufacturing processes. Chen and Ma (1994) investigated the mechanical properties of glass-, carbon-, and aramid fiber reinforced PUR composites and reported that increasing the fiber content improved several mechanical properties, particularly flexural strength and flexural modulus. Similarly, Husic (2003) demonstrated that the mechanical properties of fiber reinforced PUR composites depend not only on the type of fiber but also on the interaction between the fibers and the PUR matrix. In addition to fiber length, content, distribution, and orientation, the quality of fiber/matrix interfacial bonding has a significant effect on the mechanical performance of composites. Since load transfer in short fiber reinforced composites occurs largely through shear stresses developed at the fiber/matrix interface, fiber length and interfacial characteristics are critical parameters governing the mechanical behaviour of the composite (Saliba et al., 2005). In particular, increasing the fiber content can enhance the stiffness and load-bearing capacity of the composite when appropriate fiber dispersion and sufficient interfacial bonding are achieved. Indeed, a study on randomly oriented glass fiber reinforced PUR elastomers reported that the elastic modulus increased with increasing fiber volume fraction and fiber length (Elkazaz et al., 2020).

Recent studies on the mechanical properties of glass-fiber-reinforced PUR composites have demonstrated that the manufacturing method, fiber content, fiber characteristics, and fiber/matrix interface are decisive factors influencing composite performance. Han et al. (2025), in a comprehensive review of glass- and carbon fiber reinforced PUR composites, reported that the mechanical performance of these composites is significantly affected by manufacturing and testing parameters and that substantial improvements in mechanical properties, including flexural strength, can be achieved through different modification approaches. Although the literature includes studies on both continuous fiber reinforced PUR systems and short fiber reinforced systems, studies systematically evaluating the combined effects of adding chopped glass fibers of a specific length to a PUR matrix at different weight fractions on flexural strength, flexural modulus, and deformation behaviour remain relatively limited.

The aim of this study is to systematically investigate the effects of incorporating 10 mm long chopped glass fibers into a PUR matrix at different reinforcement ratios on the flexural strength,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

flexural modulus, and deformation behaviour of the resulting composites. The originality of the study lies in the comprehensive evaluation of the changes in mechanical properties resulting from the incorporation of short, chopped glass fibers at different reinforcement ratios (0-30wt.%) into a rigid polyurethane polymer matrix, together with the examination of fracture surfaces using scanning electron microscopy (SEM) to establish a relationship between mechanical behaviour and microstructural characteristics. Accordingly, the study aims to provide a more comprehensive understanding of the contribution of glass fiber reinforcement content to the mechanical performance of PUR-based composites and the role of fiber/matrix interactions.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

In this study, polyester polyol and aromatic isocyanate (MDI) were used as the main matrix materials in the production of polyurethane (PUR)-based composites. The polyester polyol and aromatic MDI were commercially sourced from Yapı Kimya, Istanbul, Turkey. The polyol and isocyanate components were combined in the appropriate mixing ratios specified by the manufacturer and used to form the polyurethane matrix structure. Short/chopped E-glass fibres were used as a reinforcing material to improve the mechanical properties of the PUR matrix. The short glass fibres, 10 mm in length, were sourced from JUSHI Group Co., Ltd., China. The glass fibres were incorporated into the PUR matrix at different reinforcement ratios to prepare the composite specimens. In this study, PUR composites containing short glass fibres at different weight percentages were produced, alongside a pure PUR reference material. The basic properties and supply details of the materials used are given in Table 1 below.

Table 1. Materials used in the experiments, their key characteristics and supplier details

Materials	Explanation	Suppliers	Origin
Polyester Polyol	PUR main matrix component	Yapı Kimya	Istanbul, Türkiye
Aromatic Isocyanate (MDI)	PUR main matrix component	Yapı Kimya	Istanbul, Türkiye
Short/Chopped Glass Fibre	10 mm long reinforcement	Jushi Group Co., Ltd.	China

2.2. Production of PUR Composites

A two component polyurethane (PUR) system based on polyester polyol and aromatic isocyanate (MDI) was used in the production of glass fibre reinforced polyurethane (PUR) composites. Firstly, the polyester polyol and aromatic MDI components, in specified quantities, were combined in the appropriate mixing ratio to obtain a homogeneous PUR mixture. Whilst pure PUR samples were prepared as reference materials, in the production of the glass fibre-reinforced composites, short/chopped glass fibres 10 mm in length were added to the PUR mixture at concentrations of 10 per cent, 20 per cent and 30 per cent by weight. The specified quantity of glass fibres was added gradually to the polyol component and mechanically mixed to ensure the fibres were distributed as homogeneously as possible within the matrix. The aromatic MDI component was then added, and the mixture was stirred in a controlled manner,

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

taking care to ensure the homogeneous distribution of the glass fibres within the PUR matrix. The prepared mixtures were poured into suitable moulds to allow the polyurethane curing reaction to take place and to shape the samples. Once the curing and solidification process was complete, the resulting PUR composite panels were removed from the mould and used to prepare bending test specimens. In this way, PUR composite specimens containing short glass fibres in varying proportions alongside pure PUR were prepared, enabling a comparative analysis of their mechanical properties. During the production process, particular attention was paid to ensuring that the distribution of the glass fibres within the matrix was as homogeneous as possible, with the aim of minimising the potential effects of irregularities in fibre distribution on the mechanical behaviour of the composites. The prepared specimens were subsequently subjected to flexural tests, and the resulting fracture surfaces were characterised using a scanning electron microscope (SEM) to investigate the glass fibre–matrix interface interaction and fibre distribution. The production process for glass fibre-reinforced polyurethane composites is shown in Figure 1 below.

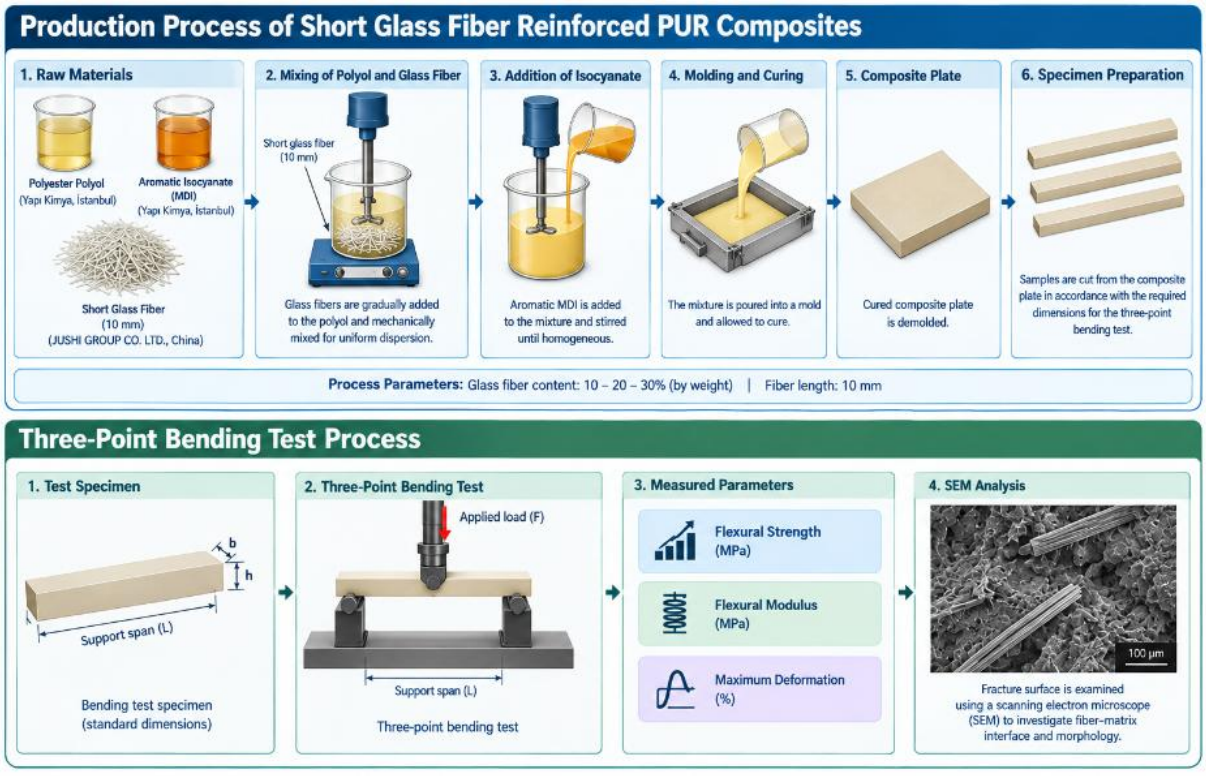


Figure 1. The production process for glass fibre reinforced polyurethane composites

2.3. Test

Three-point bending tests were carried out in accordance with the ISO 178 and ASTM D790 standards to determine the bending properties. In the tests, the support span was set to approximately sixteen (16) times the specimen thickness, and the load was applied from the mid-point at a controlled rate. Using the maximum load value obtained from the bending tests, the bending strength was calculated according to the three-point bending theory by relating the

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

product of the maximum load and the support span to the square of the specimen width (b) and the square of the specimen thickness (h), as per the following formula.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2}$$

The Flexural Modulus was calculated using the slope of the load-deflection curve within its linear region; it is directly proportional to the cube of the support span (L) and, depending on the specimen geometry, is determined using the following formula.

$$E = \frac{L^3}{4\,b\,h^3} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta D}$$

In the formula above, ΔP/ΔD represents the slope of the load–deformation curve in the elastic region, whilst the percentage deformation of the specimens under bending was calculated as follows by relating the amount of deflection at the mid-point (D) to the specimen thickness or height (h) and the support span (L).

$$\varepsilon = \frac{6Dh}{L^2}$$

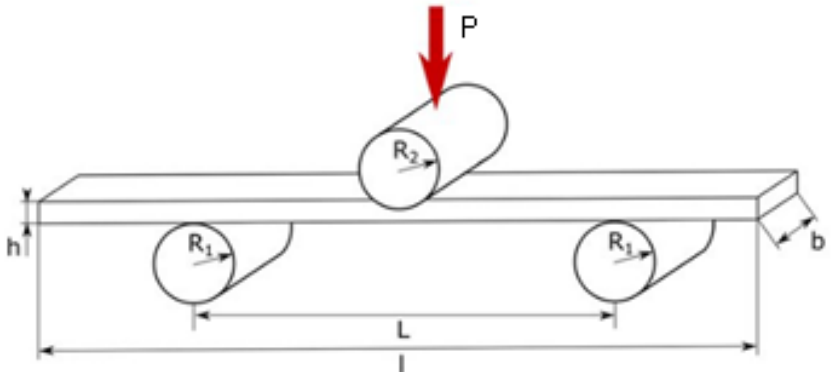


Figure 2. Schematic test setup for the three-point bending test

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the variations in flexural strength of polyurethane-based composite materials containing pure polyurethane and chopped glass fibre at different ratios. Chopped glass fibre 10 mm in length was used in the production of the composites, and the reinforcement ratios were set at 10 per cent, 20 per cent and 30 per cent by weight. Upon examining the flexural behaviour of polyurethane (PUR) and PUR composites reinforced with chopped glass fibre, it was observed that glass fibre reinforcement has a significant enhancing effect on the material's mechanical properties. Whilst the flexural strength of the pure PUR material was determined to be 41.1 MPa, the flexural strength of the composites containing 10 mm long chopped glass fibre at reinforcement ratios of 10 per cent, 20 per cent and 30 per cent by weight was measured as 51.2, 54.6 and 59.5 MPa, respectively. Accordingly, the flexural strength increased by

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

approximately 24.6 per cent, 32.8 per cent and 44.8 per cent, respectively, compared to pure PUR. The results obtained are generally consistent with previous studies on glass fibre reinforced PUR composites. Chen and Ma (1994) reported that an increase in fibre content led to an increase in flexural strength and flexural modulus in polyurethane composites reinforced with glass, carbon and aramid fibres. Similarly, Husic et al. (2003) noted that the mechanical properties of polyurethane based composites are closely related to the type of fibre used and the fibre matrix interaction, and that glass fibre reinforcement significantly alters the mechanical behaviour of the PUR matrix. A more recent review study also emphasised that the mechanical performance of glass- and carbon-fibre reinforced polyurethane composites is significantly influenced by the type of reinforcement, the production method and the fibre matrix interface properties (Han et al., 2025). The increase in flexural strength can be explained by the fact that glass fibres have higher strength and stiffness than the PUR matrix, and that a portion of the applied load is carried by the fibres. Furthermore, where the fibres are sufficiently dispersed within the matrix and the fibre-matrix interface is effective, the transfer of stress from the matrix to the reinforcing elements increases the composite's load-bearing capacity. Therefore, the continuous increase in flexural strength observed when the glass fibre content is increased from 10 per cent to 30 per cent can be attributed to the increase in the load-bearing reinforcing phase within the composite structure. The literature also reports that, in glass fibre-reinforced polyurethane systems, fibre content is a key parameter in determining mechanical properties (Husic, 2003; Han et al., 2025).

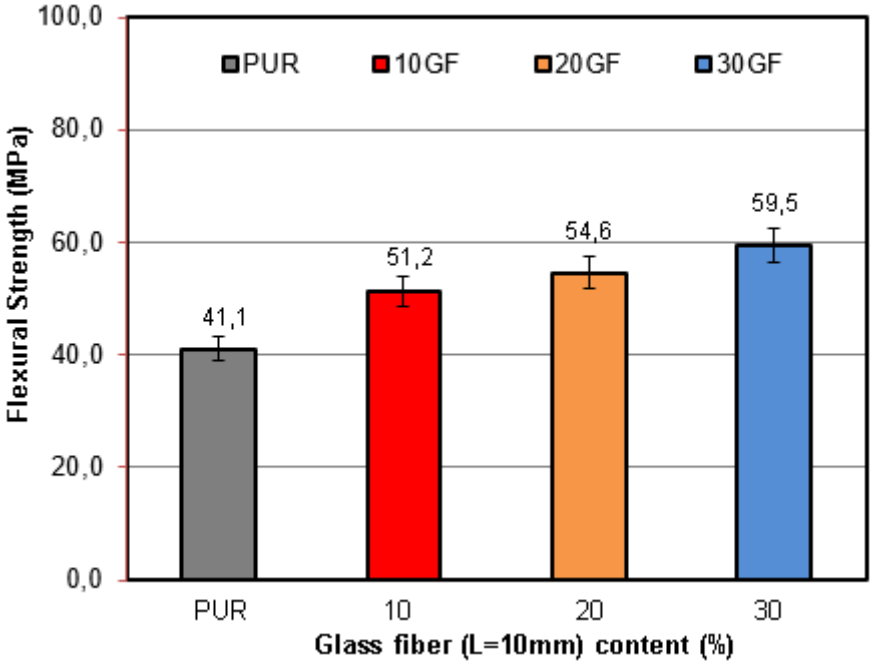


Figure 3. The relationship between the flexural strength of PUR composites containing short glass fibres and the glass fibre reinforcement ratio

Figure 4 shows the changes in the flexural modulus for polyurethane composites containing varying proportions of chopped glass fibre reinforcement, compared to pure polyurethane.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Upon evaluation of the flexural modulus results, it was observed that the flexural modulus, which was 1070 MPa for pure PUR, increased to 1640, 2380 and 3050 MPa, respectively, with 10 per cent, 20 per cent and 30 per cent glass fibre reinforcement. Consequently, increases of approximately 53.3 per cent, 122.4 per cent and 185.0 per cent, respectively, were achieved in the flexural modulus compared to pure PUR. This marked increase in the Flexural modulus demonstrates that the glass fibres significantly enhance the stiffness of the PUR matrix by increasing the composite's resistance to deformation. Similarly, Chen and Ma (1994) reported a marked increase in the flexural modulus of polyurethane composites with increasing fibre content. A study conducted by Husic (2003) also indicated that fibre type and fibre matrix interaction play a significant role in the flexural modulus of PUR composites.

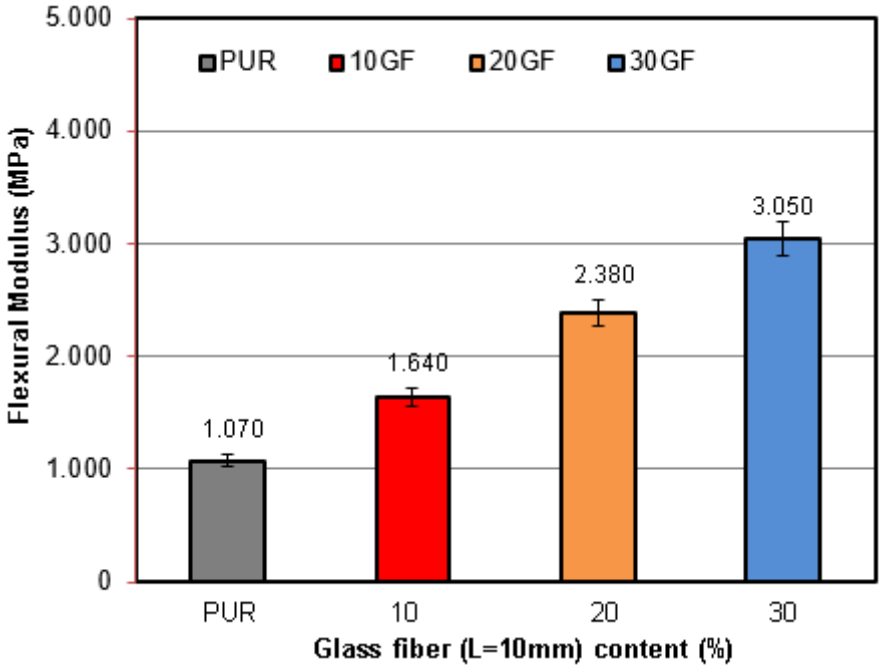


Figure 4. The relationship between the Flexural Modulus of PUR composites containing short glass fibres and the glass fibre reinforcement ratio

Changes in the deformation ratio of polyurethane composites containing pure polyurethane (PUR) and chopped glass fibre reinforcement at different ratios are shown in Figure 5. The addition of glass fibre reinforcement resulted in an inverse change in the deformation ratio. The deformation ratio, determined to be 6.2 per cent for pure PUR, decreased to 3.8 per cent, 2.6 per cent and 2.5 per cent, respectively, following the addition of 10 per cent, 20 per cent and 30 per cent glass fibre reinforcement. These values correspond to reductions in the deformation ratio of approximately 38.7 per cent, 58.1 per cent and 59.7 per cent compared to the pure PUR polymer. Consequently, the addition of glass fibre caused the PUR matrix to exhibit stiffer behaviour whilst limiting the material's ability to deform under bending load. Similar behaviour has been reported in glass fibre reinforced polyurethane systems, where it has been noted that an increase in fibre content can enhance stiffness whilst reducing deformation capacity (Han et al., 2025). Furthermore, it has been reported that, even under environmental conditions, the combined evaluation of flexural strength, the flexural modulus and the deformation ratio in bending is important for understanding the mechanical behaviour of glass fibre reinforced PUR

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

composites (Panaitescu et al., 2019). Overall, the addition of 10 mm long chopped glass fibres to the PUR matrix resulted in a significant increase in the flexural strength and modulus of elasticity of the composites, whilst reducing the strain. In particular, the fact that the composite containing 30 per cent glass fibres achieved the highest flexural strength and modulus of elasticity indicates that, amongst the reinforcement ratios used, this composition exhibited the highest strength and stiffness under flexural loads. However, it should be noted that changes in mechanical properties depend not only on the fibre content but also on parameters such as fibre distribution, fibre/matrix interfacial bonding, void content and manufacturing conditions (Han et al., 2025).

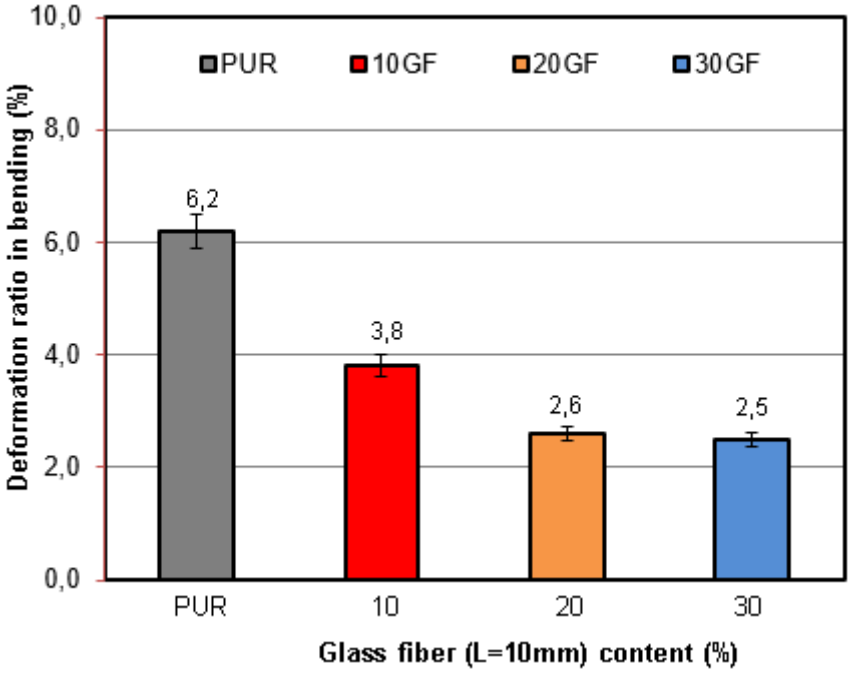
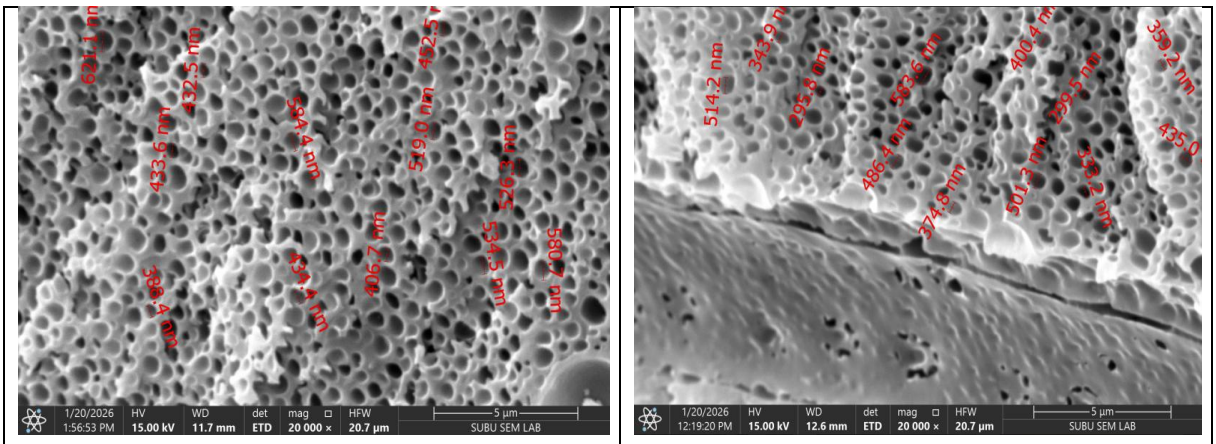


Figure 5. The relationship between the rate of deformation under bending and the glass fibre content in PUR composites containing short glass fibres



a) PUR | **b)** 20wt.%GF

Figure 6. SEM microstructure images of the fracture surfaces of (a) pure PUR and (b) PUR composites reinforced with 20wt.% glass fibre

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

SEM analyses revealed that pore sizes in PUR composites reinforced with glass fibre tend to decrease. Figure 6 shows SEM images of the fracture surfaces of (a) pure PUR and (b) a PUR composite reinforced with 20 per cent by weight of glass fibre. It can be seen that the pores are generally homogeneously distributed in both specimens and that the pore densities are similar. However, whilst the pore sizes in the pure PUR were approximately 400-550 nm, they have decreased to the range of 300-430 nm in the composite reinforced with 20 per cent glass fibre. This indicates that the addition of glass fibres affects the internal morphology of the PUR matrix, promoting the formation of smaller pores. It is thought that this change in pore size may stem from the distribution of the glass fibres within the matrix and their influence on the formation of the cellular structure during curing.

4. CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the study on glass fibre-reinforced, thermoset polyurethane based composites.

1. Chopped glass fibre reinforcement significantly improved the mechanical performance of the polyurethane matrix under bending and led to an increase in the strength and stiffness of the composites.
2. Increasing the glass fibre content generally increased the flexural strength and flexural modulus, whilst reducing the strain. This indicates that the glass fibres act as an effective load-bearing and stiffness enhancing reinforcing element within the polyurethane matrix.
3. The findings indicate that chopped glass fibre reinforced polyurethane composites constitute a suitable group of materials for use in engineering applications where high mechanical strength and stiffness are required.

4. Considering the mechanical properties obtained, rigid polyurethane materials may find applications in automotive interior and exterior trim components, non-structural panels, insulation elements, machine parts and lightweight construction applications. Glass fibre reinforced polyurethane composites, on the other hand, are considered to have the potential for application in load-bearing and semi-load-bearing components in the automotive and transport sectors, industrial machinery components, structural panels, energy and infrastructure applications, and engineering components requiring high mechanical performance, owing to their increased strength and stiffness.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this study would like to express their sincere thanks to SUBOR Pipe Co. and its R&D team for the provision of materials, the use of testing equipment and the production of samples.

REFERENCES

[1] Chen, C. H., and Ma, C.-C. M. (1994). Pultruded fibre reinforced polyurethane composites. III. Static mechanical, thermal, and dynamic mechanical properties. *Composites Science and Technology, 52*(3), 427-432. https://doi.org/10.1016/0266-3538(94)90177-5

[2] Elkazaz E., Crosby W.A., Olick A.M.,Elhadary M. (2020). Effect of fiber volume fraction on the mechanical properties of randomly oriented glass fiber reinforced polyurethane

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

elastomer with crosshead speeds. *Alexandria Engineering Journal*, *59*(1), 209-216. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.024

[3] Han, W., Zhou, P., Xie, S., Li, C., Xian, G., and Dong, S. (2025). A review of the mechanical property, durability, and modification of carbon- and glass-fiber reinforced polyurethane composites. *Polymer Composites*, *46*(9), 7819–7837. https://doi.org/10.1002/pc.29514

[4] Husic, S. (2003). Effect of fiber type on mechanical properties of polyurethane composites. *Polimeri*, *24*(2-4), 84-86.

[5] Husic, S., Javni, I., and Petrovic, Z. S. (2005). Thermal and mechanical properties of glass reinforced soy-based polyurethane composites. *Composites Science and Technology*, *65*(1), 19-25. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2004.05.020

[6] Panaitescu, I., Koch T. and Archodoulaki V.M. (2019). Effects of temperature, humidity and automotive fluids exposure on glass fiber/polyurethane composites. *Polymer Composites*. Vol 40(6), 2357-2367. https://doi.org/10.1002/pc.25094

[7] Saliba, C. C., Oréfice, R. L., Carneiro, J. R. G., Duarte, A. K., Schneider, W. T., and Fernandes, M. R. F. (2005). Effect of the incorporation of a novel natural inorganic short fiber on the properties of polyurethane composites. *Polymer Testing*, *24*(7), 819-824. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.07.008

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

A COMPARISON OF THE COMPRESSIVE PROPERTIES OF POLYURETHANE-BASED COMPOSITES WITH DIFFERENT GLASS FIBER LENGTHS

Chemical Engineer AHMET ÇETİNTAŞ[1],

[1] SUBOR PIPE Company, Karapürçek/Sakarya, cetintasahmet77@gmail.com

ORCID ID : 0009-0000-5269-2924

Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[2] Sakarya University of Applied Science, Faculty of Technology, unal@subu.edu.tr

ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

In this study, the effect of chopped glass fiber reinforcement on the compressive mechanical behavior of rigid polyurethane (PUR) composites was investigated. A polyester polyol-aromatic isocyanate-based PUR system was used as the matrix, while chopped E-glass fibers with lengths of 4, 10, and 40 mm were incorporated into the PUR matrix at 10 and 20 wt.% reinforcement levels. Neat PUR was used as the reference material to assess the contribution of glass fiber reinforcement to the compressive performance of the polymer matrix. The prepared materials were subjected to uniaxial compression testing, and their compressive strength, compressive modulus, and strain at compression corresponding to the maximum compressive load were determined. The effects of fiber length and fiber content on the mechanical response of the composites were systematically evaluated. The experimental results demonstrated that glass fiber incorporation considerably improved the compressive performance of rigid PUR compared with the unreinforced matrix. Increasing the fiber length generally resulted in higher compressive strength and compressive modulus, indicating more effective load transfer between the polyurethane matrix and the reinforcing fibers. Increasing the glass fiber content from 10 to 20 wt.% also enhanced the load-bearing capacity and stiffness of the composites. In contrast, the strain at compression decreased with increasing fiber length and fiber content, indicating that the reinforcing fibers restricted deformation of the polyurethane matrix and increased its resistance to compressive deformation. In general, the results demonstrate that the compressive mechanical properties of rigid PUR can be effectively tailored by controlling both glass fiber length and fiber content**.** The findings provide useful insight into the relationship between reinforcement parameters and compressive performance and demonstrate the potential

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

of chopped glass fiber reinforced PUR composites for applications requiring enhanced strength, stiffness, and dimensional stability.

Keywords: Polyurethane; glass fiber; compressive strength; compressive modulus; composite.

1. INTRODUCTION

Polyurethane (PUR) is a versatile polymeric material that can be produced with a wide range of mechanical and physical properties by modifying the chemical structure and formulation of its polyol and isocyanate components. Due to its low density, good dimensional stability, chemical resistance, impact resistance, and ability to provide different levels of stiffness and strength, PUR has found extensive use in automotive, construction, transportation, insulation, and structural applications. In particular, rigid polyurethane systems are attractive for lightweight engineering applications where low weight and adequate mechanical performance are required. However, the mechanical performance of neat PUR may be insufficient for applications involving relatively high mechanical loads, which has encouraged the development of reinforced PUR systems. The incorporation of reinforcing fibers is an effective approach for improving the mechanical performance of polymeric materials. Glass fiber is one of the most widely used reinforcements because of its relatively high strength and stiffness, good thermal and chemical stability, and favorable cost-to-performance ratio. The presence of glass fibers within a polyurethane matrix can increase the load-bearing capacity of the composite by facilitating stress transfer from the relatively compliant polymer matrix to the stiffer reinforcing phase. Kumar and Kaur (2017) reported that the incorporation of glass fibers into rigid polyurethane foam resulted in considerable improvements in compressive, tensile, and flexural properties, which was attributed to the reinforcing effect of the fibers and the resulting changes in the foam structure.

The mechanical response of glass fiber-reinforced PUR is strongly dependent on the amount of reinforcement introduced into the matrix. Increasing the fiber content generally increases the stiffness and strength of the composite because a larger fraction of the applied load can be transferred through the reinforcing phase. However, the relationship between fiber content and mechanical performance is not necessarily linear, particularly at high reinforcement levels. Changes in fiber dispersion, matrix continuity, fiber-matrix interaction, and internal morphology can influence the effectiveness of the reinforcement. In a study of glass fiber-reinforced rigid polyurethane foams, Serban et al. (2016) investigated fiber contents of 5, 10, and 20 wt.% and reported that fiber mass content had a greater influence on the mechanical properties than fiber length. The authors also observed significant increases in stiffness and strength with increasing fiber content. In addition to fiber content, fiber length is an important parameter controlling the reinforcement efficiency of short-fiber composites. Longer fibers can provide a greater effective load-transfer length and therefore improve the transfer of stress between the polymer matrix and reinforcing phase. The importance of fiber length has been demonstrated in polyurethane-based materials. Serban et al. (2016) investigated glass fiber lengths of 12.5, 25, and 50 mm in rigid polyurethane foams and demonstrated that both fiber content and fiber length affected the resulting mechanical properties, although fiber content exerted the stronger overall influence. Similarly, Qiao et al. (2022) demonstrated that both fiber

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

length and fiber volume fraction significantly affected the mechanical behavior of glass-fiber-reinforced polyurea composites. Their results showed that increasing fiber length and fiber content could improve the elastic modulus and compressive stress response, while longer fibers also exhibited improved interfacial bonding with the polymer matrix.

The influence of glass fiber reinforcement on polyurethane-based materials has also been observed under compressive loading. Han et al. (2010) investigated the mechanical behavior of glass fiber-reinforced polyurethane foam and compared reinforced and unreinforced materials using tensile, compression, and impact tests. Their results demonstrated the importance of glass fiber reinforcement for improving the structural performance of polyurethane foam under mechanical loading. Hamilton et al. (2013) further reported that the addition of milled glass fibers altered the compressive and elastic behavior of polyurethane foams and that the mechanical response was also affected by the material density and reinforcement configuration. These findings indicate that the compressive behavior of reinforced PUR cannot be evaluated solely on the basis of strength, since stiffness and deformation characteristics are also important parameters for structural applications. The deformation behavior of reinforced PUR is particularly important because an increase in strength and stiffness may be accompanied by a reduction in deformation capability. Glass fibers restrict the deformation of the polymer matrix and increase the resistance of the composite to compressive loading. Consequently, changes in fiber length and content can affect not only the maximum compressive stress but also the strain corresponding to the maximum load. Qiao et al. (2022) reported that increasing fiber volume fraction and fiber length significantly influenced the stress-strain response and elastic modulus of glass-fiber-reinforced polyurea composites. Therefore, simultaneous evaluation of compressive strength, compressive modulus, and strain at compression provides a more comprehensive understanding of the reinforcing mechanisms and deformation behavior of short glass fiber-reinforced polyurethane composites.

Although previous studies have investigated glass fiber-reinforced polyurethane foams and related polyurethane-based systems, comparatively limited attention has been given to the combined effect of relatively different chopped glass fiber lengths and high reinforcement contents on the compressive behavior of rigid PUR systems. In particular, systematic comparisons involving short glass fibers with substantially different lengths can provide useful information regarding the relationship between fiber geometry and load transfer within the polymer matrix. Furthermore, evaluating the strain corresponding to the maximum compressive load together with compressive strength and modulus can clarify the balance between enhanced load-bearing capacity and restricted deformation.

Therefore, the present study investigates the effect of chopped E-glass fiber length and content on the compressive mechanical behavior of rigid PUR composites. Glass fibers with lengths of 4, 10, and 40 mm were incorporated into the PUR matrix at 10 and 20 wt.%**,** while neat PUR was used as the reference material. The effects of these reinforcement parameters were evaluated in terms of compressive strength, compressive modulus, and strain at compression corresponding to the maximum compressive load**.** The objective of this study was to determine how fiber length and fiber content influence the load-bearing capacity, stiffness, and deformation resistance of rigid PUR and to identify the reinforcement conditions that provide the most effective improvement in compressive performance.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

Polyurethane-based composite specimens were fabricated using a polyester polyol-aromatic isocyanate system. The polyester polyol and aromatic methylene diphenyl diisocyanate (MDI) employed in the formulation were supplied by Yapı Kimya, Istanbul, Türkiye. The two components were mixed according to the manufacturer-recommended formulation to obtain the neat PUR matrix. To enhance the mechanical performance of the polymer, chopped E-glass fibres were selected as the reinforcing phase. The glass fibres, supplied by JUSHI Group Co., Ltd., China, had a nominal length of 10 mm. Composite formulations were prepared by introducing the chopped glass fibres into the PUR system at predetermined weight fractions, while an unreinforced PUR formulation was produced under the same processing conditions and used as the reference material. Following mixing of the constituent components and incorporation of the reinforcing fibres, the resulting formulations were molded to obtain specimens suitable for mechanical characterization. Thus, a series of PUR composites with different glass fibre contents was obtained, enabling the effect of fibre reinforcement on the mechanical behavior of the polyurethane matrix to be evaluated.

2.2. Fabrication of PUR based Composites

Glass fibre reinforced PUR composites were manufactured using a two-component polyurethane formulation consisting of a polyester polyol and an aromatic MDI-based isocyanate. A neat PUR formulation was produced under identical processing conditions and served as the reference material. For the reinforced formulations, chopped E-glass fibres with a nominal length of 10 mm were incorporated into the polyurethane system at three different concentrations of 10, 20, and 30 wt.%. The composite preparation was based on the incorporation of the reinforcing phase into the polyol component prior to the polyurethane reaction. For each formulation, the required amount of glass fibre was introduced progressively into the measured polyol and mechanically dispersed until a visually uniform fibre distribution was obtained. This fibre-containing polyol mixture was subsequently combined with the predetermined amount of aromatic MDI. The resulting reactive mixture was mixed for a controlled period to promote both efficient interaction between the two polyurethane components and uniform dispersion of the fibres throughout the matrix. Immediately after mixing, the reactive formulations were transferred into appropriately designed molds, where the polyurethane formation and curing reactions proceeded. After sufficient curing and solidification, the composite plates were de-molded and subsequently machined into specimens with dimensions appropriate for the mechanical tests. The same procedure, excluding the addition of glass fibres, was applied to the neat PUR formulation. Accordingly, four different material configurations were obtained, comprising unreinforced PUR and PUR composites containing 10, 20, and 30 wt.% chopped glass fibres. Maintaining a consistent processing route for all formulations allowed the effect of glass fibre incorporation on the mechanical response of the PUR matrix to be evaluated under comparable conditions. Particular emphasis was placed on achieving a uniform fibre dispersion during mixing, since local fibre-rich or fibre-deficient regions may lead to variations in stress transfer and consequently affect the measured mechanical properties of the composites.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

2.3. Test Methods

The compressive properties of the neat rigid polyurethane (PUR) and short glass fibre-reinforced PUR composites were evaluated under uniaxial compressive loading in accordance with ASTM D1621**.** The specimens were positioned between the compression platens of a universal testing machine, with particular attention paid to ensuring proper alignment and uniform contact between the specimen surfaces and the loading platens. The compression tests were conducted at a constant crosshead speed of 5 mm/min and continued until the maximum compressive load was reached. A schematic representation of the compression test setup is presented in Figure X.

The compressive stress was calculated from the applied compressive force and the initial cross-sectional area of the specimen according to:

$$\sigma_c = \frac{F_{max}}{A_0}$$

where σc is the compressive strength (MPa), Fmax is the maximum compressive force (N), and Ao is the initial cross-sectional area of the specimen (mm²). A higher compressive strength indicates a greater ability of the material to withstand compressive loads without failure or excessive deformation.

Compressive modulus describes the stiffness of the material under compressive loading and indicates its resistance to elastic deformation. It was determined from the slope of the initial linear region of the compressive stress-strain curve:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\varepsilon_c}$$

where Ec is the compressive modulus (MPa), Δσc\Delta\sigma_c is the change in compressive stress (MPa), and $\Delta\varepsilon_c$ is the corresponding change in compressive strain. A higher compressive modulus indicates a stiffer material and a greater resistance to deformation under compressive loading.

Strain at compression was defined as the percentage reduction in the original specimen height corresponding to the maximum compressive load. It was calculated using:

$$\varepsilon_{c,max} = \frac{L_0 - L_{max}}{L_0} \times 100$$

where εc,max is the strain at compression at the maximum load (%), Lo is the initial specimen height (mm), and Lmax is the specimen height at the maximum compressive load (mm). A higher strain at compression indicates a greater deformation capacity of the material, whereas a lower value indicates that the material exhibits greater resistance to compressive deformation.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the variation in compressive strength of pure PUR and PUR composites with different glass fibre lengths as a function of the glass fibre content. The compressive strength results of neat rigid polyurethane (PUR) and short glass fiber-reinforced PUR composites

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

produced with different fiber lengths and fiber contents are presented and compared. The compressive strength of the neat PUR was measured as 34.2 MPa. At a constant glass fiber content of 10 wt.%, the compressive strengths of the composites containing 4, 10, and 40 mm long glass fibers were determined as 34.9, 41.1, and 44.3 MPa, respectively. These values correspond to increases of approximately 2.0%, 20.2%, and 29.5%, respectively, compared with the neat PUR. When the glass fiber content was increased to 20 wt.%, the compressive strengths increased to 40.5, 43.8, and 46.3 MPa for the 4, 10, and 40 mm fibers, respectively. Accordingly, the corresponding increases relative to the neat PUR were approximately 18.4%, 28.1%, and 35.4%. The results clearly demonstrate that both glass fiber content and fiber length have a positive effect on the compressive strength of the rigid PUR composites. At a constant fiber content of 10 wt.%, increasing the fiber length from 4 to 10 mm resulted in an increase in compressive strength from 34.9 to 41.1 MPa, while a further increase in fiber length to 40 mm increased the strength to 44.3 MPa. This behavior can primarily be attributed to the enhanced stress-transfer capability of longer fibers. Short fibers have a limited effective embedded length within the polymer matrix, whereas longer fibers provide a greater interfacial contact area and mechanical anchorage between the glass fiber and PUR matrix. Consequently, a greater proportion of the applied compressive load can be transferred from the relatively compliant polyurethane matrix to the rigid glass fibers.

The same tendency was observed at 20 wt.% glass fiber content. The compressive strength increased from 40.5 MPa for the 4 mm fiber composite to 43.8 MPa and 46.3 MPa for the 10 and 40 mm fiber composites, respectively. Therefore, increasing the fiber content from 10 to 20 wt.% also enhanced the compressive strength for all investigated fiber lengths. This increase is associated with the larger amount of load-bearing glass fiber within the composite. The rigid glass fibers restrict local deformation of the PUR matrix and contribute to the redistribution of the applied compressive stress, resulting in a higher load-carrying capacity. The effect of fiber content, however, was more pronounced for the shortest 4 mm fibers. Increasing the glass fiber content from 10 to 20 wt.% increased the compressive strength from 34.9 to 40.5 MPa, corresponding to an increase of approximately 16.0%. For the 10 mm fibers, the increase was approximately 6.6%, while for the 40 mm fibers it was approximately 4.5%. This decreasing incremental effect with increasing fiber length suggests that the contribution of additional fibers becomes less pronounced when sufficiently long fibers are already present in the matrix. In other words, the longer 40 mm fibers can utilize their reinforcing potential more effectively even at 10 wt.% fiber content, whereas the shorter 4 mm fibers require a higher fiber concentration to achieve a comparable load-bearing contribution.

The present findings are generally consistent with previous studies on short glass fiber-reinforced polymer systems. Qiao et al. (2022) reported that increasing both glass fiber volume fraction and fiber length enhanced the compressive mechanical response of polyurea-based composites. The authors attributed this behavior to the increased load-bearing capability and restriction of polymer-chain movement provided by the glass fibers. They also reported that longer fibers exhibited better interfacial bonding with the polymer matrix. Importantly, their results indicated that the effect of fiber volume fraction was more dominant than that of fiber length, which is consistent with the present observation that increasing fiber content produces a substantial improvement in compressive strength, particularly for the shorter fibers. A similar

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

trend was reported for glass fiber-reinforced rigid polyurethane foams by Denay et al. (2012), who investigated glass fiber contents of 5%, 10%, and 20% and fiber lengths between 12.5 and 50 mm. Their results showed that both fiber content and fiber length influence the mechanical response of polyurethane-based materials, while fiber content had a greater overall effect than fiber length. In addition, studies on glass fiber-reinforced polyurethane elastomers have demonstrated that increasing fiber length and fiber volume fraction improves the mechanical response because of enhanced stress transfer and reinforcement efficiency.

It should also be noted that the increase in compressive strength with fiber length is not linear. For the 10 wt.% composites, increasing the fiber length from 4 to 10 mm increased the compressive strength by 6.2 MPa, whereas increasing the length from 10 to 40 mm resulted in a smaller increase of 3.2 MPa. A similar behavior was observed for the 20 wt.% composites, where the corresponding increases were 3.3 and 2.5 MPa. This diminishing increase may indicate that, beyond a certain fiber length, other microstructural parameters such as fiber dispersion, fiber orientation, interfacial adhesion, void content, and local fiber entanglement become increasingly important. Thus, although the 40 mm fibers provided the highest compressive strength in the present study, the reinforcing efficiency of fiber length does not appear to increase proportionally with fiber length. As a result, the highest compressive strength of 46.3 MPa was obtained for the composite containing 20 wt.% of 40 mm long glass fibers, representing an improvement of approximately 35.4% compared with the neat PUR. The results demonstrate that increasing both fiber content and fiber length is an effective approach for improving the compressive load-carrying capacity of rigid thermoset PUR composites. Nevertheless, the progressively smaller increase obtained at longer fiber lengths suggests that an optimum combination of fiber length and fiber content may exist, depending on the dispersion quality, fiber-matrix interfacial adhesion, and processing conditions.

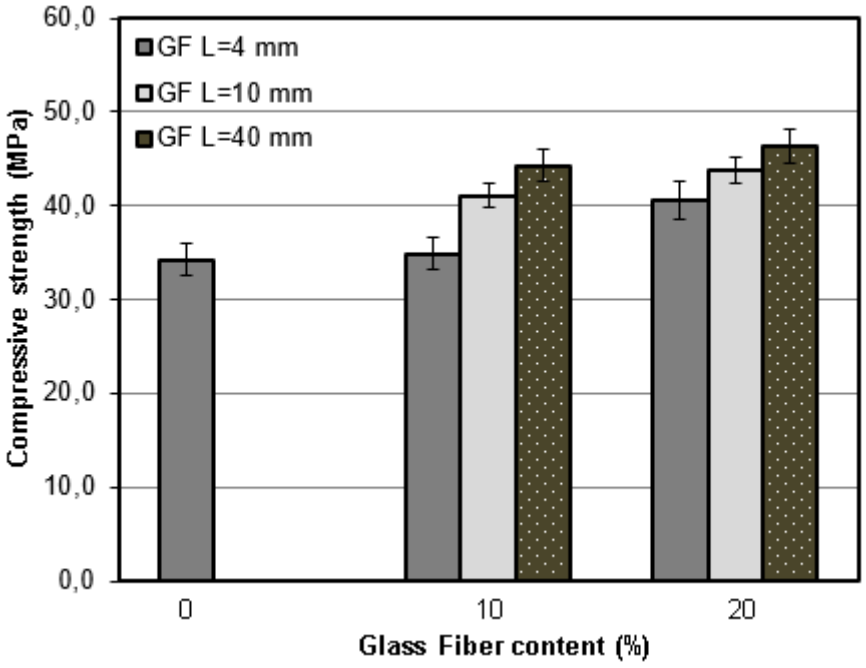


Figure 1. Variation in the compressive strength of PUR composites with different glass fibre lengths as a function of glass fibre content

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Figure 2 shows the variation in the compressive modulus of pure PUR and PUR composites with different glass fibre lengths as a function of the glass fibre content. The compressive modulus of neat rigid polyurethane (PUR) and short glass fiber-reinforced PUR composites was evaluated as a function of glass fiber length and fiber content. The compressive modulus of the neat PUR was measured as 111 MPa. At a glass fiber content of 10 wt.%, the compressive modulus increased to 200, 235, and 332 MPa for composites containing 4, 10, and 40 mm long glass fibers, respectively. These values correspond to increases of approximately 80.2%, 111.7%, and 199.1% relative to the neat PUR. When the glass fiber content was increased to 20 wt.%, the compressive modulus further increased to 263, 297, and 366 MPa for the 4, 10, and 40 mm fiber-reinforced composites, respectively. Thus, the corresponding increases relative to the neat PUR were approximately 136.9%, 167.6%, and 229.7%.

The results clearly demonstrate that both glass fiber length and fiber content have a pronounced effect on the compressive stiffness of the rigid PUR composites. At a constant fiber content of 10 wt.%, increasing the fiber length from 4 to 10 mm increased the compressive modulus from 200 to 235 MPa, while a further increase to 40 mm resulted in a substantially higher modulus of 332 MPa. This behavior can be attributed primarily to the more effective stress transfer between the PUR matrix and the glass fibers with increasing fiber length. Longer fibers provide a larger interfacial contact area and greater mechanical anchoring within the polymer matrix, allowing the applied compressive load to be transferred more efficiently to the high-stiffness glass fibers. Consequently, the deformation of the PUR matrix is more effectively restricted and the overall compressive stiffness of the composite increases. A similar tendency was observed for the 20 wt.% glass fiber-reinforced composites. The compressive modulus increased from 263 MPa for the 4 mm fibers to 297 MPa for the 10 mm fibers and reached 366 MPa for the 40 mm fibers. The highest value obtained in the present study was therefore 366 MPa for the composite containing 20 wt.% of 40 mm long glass fibers, which represents an increase of approximately 229.7% compared with the neat PUR. This substantial increase demonstrates the strong reinforcing effect of the glass fibers on the elastic response of the PUR matrix. The increase in compressive modulus with fiber content can be explained by the increasing proportion of the rigid glass fiber phase within the composite. Glass fibers possess a considerably higher elastic modulus than the polyurethane matrix and therefore resist deformation under compressive loading. Increasing the glass fiber content from 10 to 20 wt.% increases the number of load-bearing reinforcing elements and restricts the deformation of the polymer matrix. Consequently, the composite exhibits greater resistance to elastic deformation. This interpretation is consistent with previous studies on glass fiber-reinforced polyurethane-based materials, in which increasing fiber content was found to significantly increase stiffness and mechanical strength. Şerban et al. (2016), for example, reported that both the stiffness and strength of glass fiber-reinforced rigid polyurethane foams increased with increasing fiber mass content, while fiber content had a stronger overall influence than fiber length. Their study also showed that the microstructural characteristics and fiber distribution significantly affected the scatter of the measured mechanical properties.

The effect of fiber length observed in the present study is particularly pronounced at 10 wt.% fiber content. Increasing the fiber length from 4 to 40 mm increased the compressive modulus

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

from 200 to 332 MPa, corresponding to an increase of approximately 66%. At 20 wt.% fiber content, the corresponding increase was from 263 to 366 MPa, or approximately 39%. This indicates that fiber length has a particularly strong influence when the amount of reinforcing phase is relatively limited. At 10 wt.% fiber content, increasing fiber length appears to improve the efficiency of load transfer considerably, whereas at 20 wt.% the larger amount of glass fiber already provides a substantial reinforcing contribution.

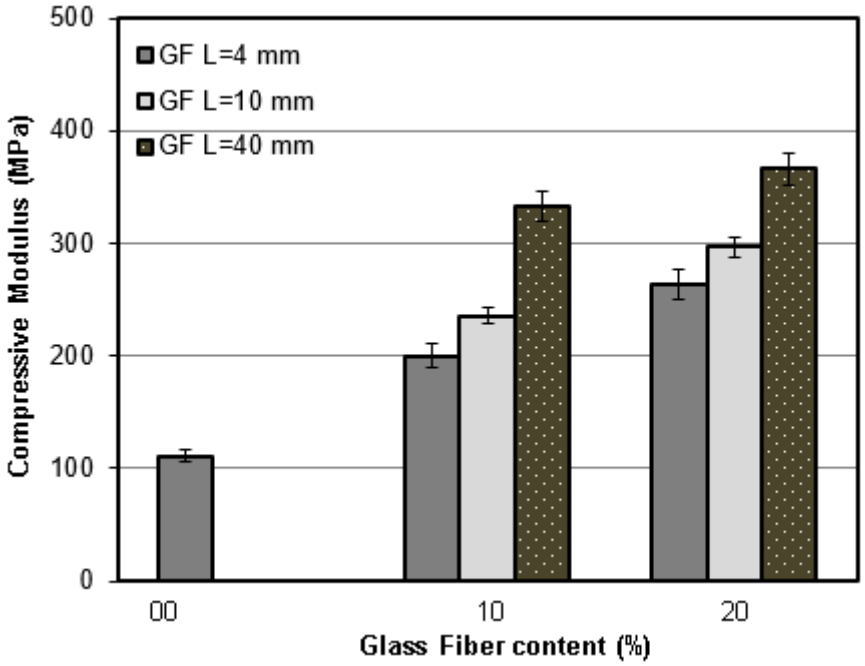


Figure 2. Variation in the Compressive modulus of PUR composites with different glass fibre lengths as a function of glass fibre content

The present results are also consistent with the findings of Qiao et al. (2022), who investigated the effects of glass fiber volume fraction and fiber length on the mechanical properties of glass fiber/polyurea composites. Their results demonstrated that increasing both fiber volume fraction and fiber length increased the elastic modulus and compressive stress of the composites. The authors attributed this behavior to the restriction of polymer-chain movement by the glass fibers and improved load-bearing capability of the fiber-reinforced structure. They also reported better interfacial bonding for longer fibers, which supports the significant increase in compressive modulus observed for the 40 mm fibers in the present study. It is noteworthy that the increase in compressive modulus is considerably more pronounced than the increase in compressive strength. For example, at 10 wt.% fiber content, increasing the fiber length from 4 to 40 mm increased the compressive strength from 34.9 to 44.3 MPa, corresponding to an increase of approximately 26.9%, whereas the compressive modulus increased from 200 to 332 MPa, corresponding to an increase of approximately 66%. This difference indicates that glass fiber reinforcement is particularly effective in restricting elastic deformation and increasing the initial stiffness of the PUR composite. In other words, the addition of glass fibers affects the elastic response of the composite more strongly than its ultimate compressive strength.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

The increase in compressive modulus is also consistent with the reduction in compressive deformation observed in the present study. As the amount and length of glass fibers increase, the fibers increasingly restrict the deformation of the PUR matrix. Therefore, the composites become progressively stiffer and reach their maximum deformation or failure condition at lower deformation levels. This simultaneous increase in compressive modulus and decrease in compressive deformation is a typical indication of the transition from a relatively compliant polymer matrix toward a more rigid fiber-dominated composite structure. Overall, the results demonstrate that increasing both glass fiber content and fiber length is an effective method for increasing the compressive stiffness of rigid thermoset PUR composites. Among all investigated compositions, the 20 wt.% glass fiber/40 mm fiber composite exhibited the highest compressive modulus of 366 MPa, which was approximately 3.30 times that of the neat PUR. The results further indicate that, although both parameters are influential, fiber length becomes particularly important at lower fiber contents because longer fibers provide more effective stress transfer and mechanical anchoring within the PUR matrix.

The strain at compression of neat rigid polyurethane (PUR) and short glass fiber reinforced PUR composites was investigated as a function of glass fiber length and fiber content. The strain at compression of the neat PUR was measured as 7.8%. At a glass fiber content of 10 wt.%, the strain at compression decreased to 7.0%, 3.2%, and 2.8% for the composites containing 4, 10, and 40 mm long glass fibers, respectively. When the glass fiber content was increased to 20 wt.%, the corresponding strain values decreased further to 5.6%, 2.3%, and 2.1%, respectively. These results clearly demonstrate that both increasing glass fiber length and increasing glass fiber content significantly restrict the compressive deformation of the PUR matrix. For the 10 wt.% glass fiber composites, increasing the fiber length from 4 to 10 mm reduced the strain at compression from 7.0% to 3.2%, corresponding to a reduction of approximately 54.3%. A further increase in fiber length from 10 to 40 mm resulted in a strain of 2.8%, representing an overall reduction of approximately 60.0% compared with the 4 mm fiber composite. The same tendency was observed at 20 wt.% glass fiber content, where the strain decreased from 5.6% for the 4 mm fibers to 2.3% for the 10 mm fibers and 2.1% for the 40 mm fibers. Thus, increasing fiber length considerably reduces the deformation capacity of the composite, particularly when the fiber length is increased from 4 to 10 mm. The reduction in compressive strain can primarily be attributed to the high stiffness of the glass fibers and their ability to constrain the deformation of the PUR matrix. The neat PUR can undergo relatively large deformation under compressive loading because the polymer matrix is capable of significant molecular movement and viscoelastic deformation. Incorporation of rigid glass fibers restricts this movement and transfers a portion of the applied load from the polymer matrix to the reinforcing phase. As a result, the composite reaches its maximum compressive stress at a lower deformation level.

The pronounced effect of fiber length can be explained by the improved mechanical anchorage and stress-transfer efficiency associated with longer fibers. Longer fibers provide a greater interfacial area with the PUR matrix and are therefore more effective in restricting local matrix deformation. This is particularly evident in the present results: at 10 wt.% fiber content, increasing fiber length from 4 to 40 mm increased the compressive modulus from 200 to 332 MPa, while simultaneously reducing the strain at compression from 7.0% to 2.8%. Thus, the

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

approximately 66% increase in compressive modulus is accompanied by a 60% reduction in compressive strain. This inverse relationship provides strong evidence that the longer glass fibers substantially increase the rigidity of the PUR composite. Increasing the glass fiber content from 10 to 20 wt.% produced a further reduction in strain at compression for all fiber lengths. For the 4 mm fibers, the strain decreased from 7.0% to 5.6%, corresponding to a reduction of approximately 20.0%. For the 10 mm fibers, the reduction was approximately 28.1%, from 3.2% to 2.3%, while for the 40 mm fibers it was approximately 25.0%, from 2.8% to 2.1%. The greater amount of rigid glass fiber within the matrix increases the constraint on PUR deformation and increases the number of load-bearing reinforcing elements. Consequently, the composite exhibits a more restricted deformation response under compressive loading.

These findings are consistent with previous studies on glass fiber reinforced polyurethane based materials. Denay et al. (2012) reported that glass fiber reinforcement significantly affects the compressive response of rigid polyurethane foams and that the mechanical behaviour depends on both fiber content and fiber length. The incorporation of glass fibers restricts deformation of the polymeric matrix and increases the load-bearing capability of the composite. Similar observations have been reported by Qiao et al. (2022), who showed that increasing glass fiber content and fiber length improved the stiffness and compressive mechanical response of polyurea-based composites. The authors attributed the improved mechanical behaviour to more effective stress transfer and restriction of polymer deformation by the glass fibers. An important observation in the present study is that the decrease in strain is more pronounced than the increase in compressive strength. For example, at 10 wt.% glass fiber content, increasing the fiber length from 4 to 40 mm increased the compressive strength from 34.9 to 44.3 MPa, corresponding to an increase of approximately 26.9%, whereas the strain at compression decreased from 7.0% to 2.8%, corresponding to a reduction of approximately 60.0%. This indicates that the principal effect of increasing fiber length is not only an increase in the ultimate load-carrying capacity but also a substantial reduction in the deformation capability of the composite.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

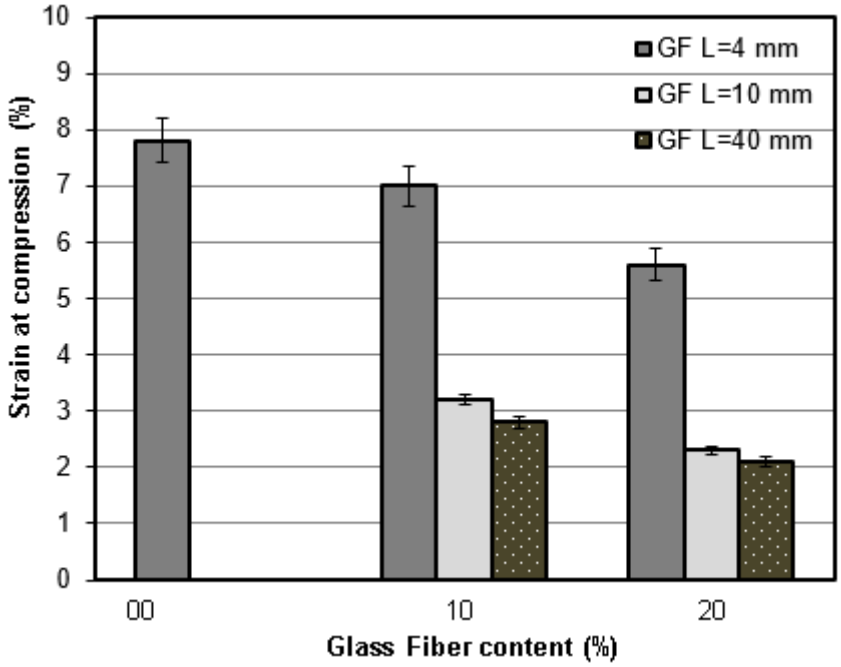


Figure 3. Percentage deformation under compression of PUR composites with different glass fibre lengths, as a function of glass fibre content

The simultaneous increase in compressive modulus and decrease in strain at compression observed in this study is particularly significant. The compressive modulus increased from 111 MPa for neat PUR to 366 MPa for the 20 wt.% glass fiber/40 mm fiber composite, while the strain at compression decreased from 7.8% to 2.1%. This represents an approximately 230% increase in compressive modulus and a 73.1% reduction in strain. These results indicate a clear transition from the relatively compliant behavior of the neat PUR matrix toward a considerably stiffer and more deformation-resistant composite structure. In general, the results demonstrate that increasing glass fiber length and content effectively reduces the compressive deformation of rigid thermoset PUR composites. The lowest strain at compression, 2.1%, was obtained for the composite containing 20 wt.% of 40 mm long glass fibers. This composition also exhibited the highest compressive modulus (366 MPa) and compressive strength (46.3 MPa), indicating that the combination of high fiber content and long fiber length provides the most effective restriction of matrix deformation and the highest overall compressive stiffness among the investigated compositions.

4. CONCLUSIONS

1. Glass fiber reinforcement significantly improved the compressive mechanical performance of rigid PUR composites compared with neat PUR, demonstrating the effectiveness of short glass fibers in enhancing the load-bearing capacity of the polyurethane matrix.
2. Both glass fiber length and fiber content played important roles in determining compressive strength. In general, increasing the fiber length and reinforcement content resulted in higher compressive strength, with the longest glass fibers providing the most pronounced improvement.
3. The compressive modulus increased considerably with the incorporation of glass fibers, indicating a substantial enhancement in the stiffness and resistance to compressive

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

deformation of the rigid PUR matrix. The improvement became more pronounced with increasing fiber length and fiber content.

4. The strain at compression decreased with increasing glass fiber length and content. This behavior indicates that glass fiber reinforcement restricts deformation of the PUR matrix and produces a stiffer composite with lower compressive strain capacity.

5. In general, the combined effects of glass fiber length and content demonstrate that longer fibers and higher reinforcement levels are particularly effective for improving the compressive strength and stiffness of rigid PUR composites, although this improvement is accompanied by a reduction in deformation capability. These findings indicate that short glass fiber reinforced rigid PUR composites can be effectively tailored for applications requiring enhanced compressive load-bearing capacity and dimensional stability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this study would like to express their sincere thanks to SUBOR Pipe Co. and its R&D team for the provision of materials, the use of testing equipment and the production of samples.

REFERENCES

[1] Denay, A.-G., Castagnet, S., Roy, A., Alise, G., Coursault, C., & Mellier, D. (2012). Size effect in glass fiber reinforced and pure polyurethane foams in monotonic and creep compression. *Journal of Cellular Plastics, 48*(3), 225-244. https://doi.org/10.1177/0021955X11435915.

[2] Hamilton, A. R., Thomsen, O. T., Madaleno, L. A. O., Jensen, L. R., Rauhe, J. C. M., & Pyrz, R. (2013). Evaluation of the anisotropic mechanical properties of reinforced polyurethane foams. *Composites Science and Technology, 87*, 210-217. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.08.013

[3] Han, D., Park, I., Kim, M.-H., Noh, B.-J., Kim, H.-S., & Lee, J.-M. (2010). The effects of glass fiber reinforcement on the mechanical behavior of polyurethane foam. *Journal of Mechanical Science and Technology, 24*, 263-266.

[4] Kumar, M., & Kaur, R. (2017). Glass fiber reinforced rigid polyurethane foam: Synthesis and characterization. *e-Polymers, 17*(6), 517–521. https://doi.org/10.1515/epoly-2017-0072

[5] Serban, D.-A., Weissenborn, O., Geller, S., Marsavina, L., & Gude, M. (2016). Evaluation of the mechanical and morphological properties of long fibre reinforced polyurethane rigid foams. *Polymer Testing, 49*, 121-127. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.11.007

[6] Qiao, J., Zhang, Q., Wu, C., Wu, G., & Li, L. (2022). Effects of fiber volume fraction and length on the mechanical properties of milled glass fiber/polyurea composites. *Polymers, 14*(15), 3080. https://doi.org/10.3390/polym14153080.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EFFECT OF POLYMER ENCAPSULATION ON THE PHOTOCATALYTIC EFFICIENCY OF SEMICONDUCTOR MATERIAL IN THE PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE

Dr Refik ARAT

Istanbul University, refik.arat@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5330-1478

SUMMARY

Methylene blue (MB), which is widely used in industrial applications such as cosmetics, textiles, and paints, poses a potential risk to the environment and human health because it exhibits toxic effects on aquatic organisms—particularly fish and algae—even at low concentrations. One of the methods employed to remove synthetic dye waste from water sources is the photodegradation of dyes under sunlight using two-dimensional (2D) semiconductor nanoparticles (NPs) that exhibit photocatalytic activity.

Graphitic carbon nitride (gCN)—a metal-free, 2D polymeric semiconductor material—is utilized as a catalyst in various fields such as water splitting, the photodegradation of toxic organic pollutants, and H_2 production, owing to its non-toxicity, low cost, narrow bandgap (E_g ~ 2.7 eV), and high chemical stability. However, its practical application is limited by intrinsic constraints such as rapid electron-hole recombination, limited surface area, and a relatively wide bandgap. To overcome these disadvantages, this study achieved a narrowing of the band gap to the 2.4 eV level by depositing heteroatoms onto the gCN nanosheets. Furthermore, to investigate the effect of heteroatom on the photocatalytic activity of g-CN, photodegradation experiments were conducted on a model organic dye, MB, under a solar simulator. Accordingly, after 60 minutes, 82% of the MB underwent photodegradation with the gCN catalyst, while 91% was degraded with the heteroatom-loaded sample. The degradation rate constants for the photocatalysts, which followed pseudo-first-order degradation kinetics, were calculated as 0.0279 min^{-1} for gCN and 0.0407 min^{-1} for the heteroatom-loaded sample; thus, the heteroatom loading increased photocatalytic activity by approximately 1.5-fold. Furthermore, the polymer-encapsulated photocatalyst degraded 84% of the MB after five repeated uses, demonstrating reusability without a significant loss in photocatalytic activity.

Keywords: Photodegradation, Graphitic carbon nitride, Heteroatom doping, Methylene Blue, Encapsulation.

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

POLİMER KAPLAMANIN METİLEN MAVİSİNİN FOTOBOZUNMASINDA YARIİLETKEN MALZEMENİN FOTOKATALİTİK VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Dr Refik ARAT

İstanbul Üniversitesi, refik.arat@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5330-1478

ÖZET

Kozmetik, tekstil, boya gibi endüstriyel uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan metilen mavisi (MB), düşük konsantrasyonlarda dahi başta balık ve algler olmak üzere suda yaşayan organizmalar için toksik etki gösterdiğinden, çevre ve insan sağlığı açısından potansiyel risk oluşturmaktadır. Su kaynaklarının sentetik boyar madde atıklarından arındırılmasında kullanılan yöntemlerden biri de fotokatalitik etki gösteren iki boyutlu (2D) yarı-iletken nanopartiküller (NPs) ile boyar maddelerin gün ışığı altında fotodegredasyonudur.

Metal içermeyen, 2D polimerik yarı-iletken bir malzeme olan grafitik karbon nitrür (gCN); toksik olmaması, düşük maliyeti, dar bant aralığı (E_g ~ 2,7 eV) ve yüksek kimyasal kararlılığı sayesinde su ayrıştırma, toksik organik kirleticilerin fotodegradasyonu, H_2 üretimi gibi farklı alanlarda katalizör olarak kullanılmaktadır. Ancak, hızlı elektron-boşluk rekombinasyonu, sınırlı yüzey alanı ve nispeten geniş bant aralığı gibi içsel sınırlamalar nedeniyle pratik uygulaması kısıtlıdır. Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek amacıyla bu çalışmada gCN nanotabakalarının yüzeyinde heteroatom birikimi gerçekleştirilerek bant aralığının 2,4 eV seviyesine daralması sağlanmıştır. Ayrıca heteroatom katkısının gCN'nin fotokatalitik aktivitesi üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla model organik boyar madde MB'nin solar simülatör kullanılarak gün ışığı altında fotodegradasyon deneyleri yapılmıştır. Buna göre MB'nin 60 dk sonunda gCN katalizörlüğünde %82'si, heteroatom katkılı örnekte ise %91'i fotodegradasyona uğramıştır. Psedö-birinci dereceden bozunma kinetiğine uyan fotokatalizörlerin bozunma hız sabitleri, gCN için 0,0279 dk^{-1}; heteroatom katkılı örnek içinse 0,0407 dk^{-1} olarak hesaplanmıştır. Buna göre heteroatom katkısıyla fotokatalitik aktivite yaklaşık 1,5 kat artmıştır. Ayrıca polimerle enkapsüle edilen fotokatalizörün, tekrarlı 5 kullanım sonunda MB'nin %84'ünü degrede ederek, fotokatalitik aktivitesinde önemli bir azalma olmadan yeniden kullanılabilirliği kolaylaştırılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

Anahtar Kelimeler: Fotobozunma, Grafitik Karbon Nitrür, Heteroatom katkılama, Metilen Mavisi, Enkapsülasyon.

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyeva
Faculty of Veterinary Medicine, Azerbaijan State Agricultural University

ABSTRACT

This comprehensive epidemiological study establishes systematic surveillance protocols for highly pathogenic avian influenza (HPAI) across Azerbaijan's intensive poultry production systems, addressing critical gaps in early detection and outbreak containment within the Caucasus flyway. Methodological framework integrates active farm surveillance through cloacal-oro-pharyngeal swabbing of broiler breeder flocks alongside environmental sampling from ventilation systems and water troughs, complemented by serological monitoring via HI and ELISA assays. Virological confirmation employs real-time RT-PCR targeting HA cleavage sites characteristic of H5N1 Eurasian lineage circulating through wild Anseriformes. Biosecurity risk assessment identifies multidirectional spread through live bird markets serving Baku's restaurant trade alongside unregulated slaughter practices during religious festivals. Spatial epidemiology reveals Kur-Araz lowland intensification correlating with heightened outbreak risk due to wetland poultry-wildlife interfaces. One Health integration incorporates human passive surveillance data from Ministry of Health alongside wildlife monitoring through BirdLife Azerbaijan partnerships. Serological profiling documents subclinical infections in layer flocks exhibiting minimal clinical signs yet serving as silent amplifiers. Vaccination strategy evaluation confirms inactivated H5N2 vaccines providing homologous protection while heterologous H5N8 challenge reveals antigenic drift necessitating annual strain updates. Containment modeling establishes optimal culling radii balancing R0 suppression with economic viability. Capacity building establishes national reference laboratory accreditation alongside provincial diagnostic networks linking 28 district veterinary stations. Policy framework advocates Poultry Health Act mandating AI surveillance within national food safety standards while positioning Azerbaijan as regional reference center for Transcaucasus avian disease intelligence serving $450M poultry export economy supporting food security for 10 million consumers.

Keywords: avian influenza surveillance, Azerbaijan poultry, H5N1 epidemiology, biosecurity protocols, One Health

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION

Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov, Dr. Leyla Ibrahimova, Dr. Farid Rahimov
Department of Parasitology, Azerbaijan State Veterinary Academy -

ABSTRACT

This field parasitology investigation characterizes gastrointestinal nematode burdens and emerging anthelmintic resistance patterns across Garabagh's transhumant sheep production systems where Haemonchus contortus, Trichostrongylus spp., and Nematodirus dominate summer pasture infections. Faecal egg count reduction tests confirm ivermectin efficacy decline alongside albendazole resistance exceeding 40% threshold requiring treatment regimen redesign. Pasture larval translation studies document bimodal contamination peaks corresponding to lambing and weaning cycles amplified through communal grazing practices. Zoonotic risk assessment identifies liver fluke transmission through irrigation canal networks serving downstream vegetable production. Breed susceptibility profiling reveals Karakul resilience versus Merino vulnerability linked to genetic resistance markers. Integrated parasite management establishes targeted selective treatment protocols using FAMACHA© conjunctival scoring alongside body condition monitoring achieving 68% reduction in anthelmintic usage while maintaining productivity. Botanical dewormers including Allium spp. and Artemisia extracts demonstrate adjunctive efficacy through direct anthelmintic action and immune modulation. Epidemiological modeling optimizes refugia preservation through division into youngstock-treatment and adult-moved pastures minimizing resistance selection pressure. Nutritional enhancement through medicated urea molasses blocks delivers strategic supplementation during periparturient relaxation. Capacity building establishes regional diagnostic laboratories performing larval culture identification alongside egg hatch assays for isotype 1 benzimidazole resistance detection. Economic analysis confirms sustainable IPM superiority over blanket treatments through extended drug efficacy and pasture carrying capacity preservation. Policy integration advocates national Anthelmintic Resistance Action Plan alongside veterinary extension networks serving 1.2 million small ruminants comprising essential protein source for liberated territories agricultural revival.

Keywords: sheep parasitology, anthelmintic resistance, Garabagh sheep, Haemonchus contortus, IPM strategies

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE

Dr. Dimitri Papadakis, Eleni Stavrou, Prof. Dr. Nikos Karamanos
Faculty of Medicine, University of Crete - Greece

ABSTRACT

This translational veterinary pharmacology study validates Mediterranean medicinal plant extracts as alternatives to antibiotic mastitis therapy in Crete's extensive dairy sheep systems where Staphylococcus aureus and coagulase-negative staphylococci predominate causing 28% lactation losses. Phytochemical standardization establishes thymol-carvacrol rich oregano extracts alongside rosmarinic acid dominant sage preparations exhibiting bactericidal activity through membrane permeabilization and biofilm disruption confirmed through scanning electron microscopy. Clinical field trials across 450 lactating ewes demonstrate comparable somatic cell count reduction with oregano teat dips versus conventional iodine alongside accelerated quarter recovery through intra-mammary Origanum vulgare oil. Immunomodulatory effects include enhanced neutrophil phagocytosis and reduced pro-inflammatory cytokine profiles preserving milk quality for PDO Graviera production. Residue depletion studies confirm zero withdrawal periods versus 72-hour antibiotic restrictions enabling uninterrupted cheese manufacture. Economic modeling establishes 3.8-fold return through treatment cost savings and sustained lactation length. Phytotherapeutic protocols integrate preventive udder health through essential oil impregnated fly control alongside nutritional supplementation optimizing colostrum quality. Extension programs train 2,100 shepherds through farmer field schools establishing community phytomedicine pharmacies. Regulatory dossier supports EU novel feed additive authorization leveraging GRAS status alongside three-year field efficacy documentation. Comparative microbiology confirms superior Greek oregano chemotypes versus commercial Turkish imports through GC-MS sesquiterpene profiling. Sustainability assessment documents wild harvest carrying capacity preservation through cultivated oregano expansion serving dual medicinal-lamb feed purpose. Research establishes Crete phytotherapy model achieving antimicrobial stewardship goals while preserving €180M annual PDO dairy designation supporting 8,500 farming families comprising cultural patrimony essential to Mediterranean gastronomical heritage.

Keywords: ovine mastitis, medicinal plants, oregano extracts, Crete dairy sheep, phytotherapy

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE

Maria Kostopoulou, Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos
Department of Animal Science, Agricultural University of Athens

ABSTRACT

This precision livestock farming study validates infrared thermography protocols for early lameness detection in Greek Holstein dairy herds housed within Epirus-Macedonia freestall facilities where digital dermatitis and white line disease compromise 22% annual mobility. Thermal symmetry algorithms establish 0.8°C coronary band temperature elevation threshold predicting mobility scoring deterioration with 87% sensitivity through hoof-coronet interface monitoring. Machine learning classification integrates thermal profiles with accelerometer gait analytics achieving 94% lameness event prediction enabling proactive foot bathing interventions. Environmental validation confirms algorithm robustness across seasonal temperature fluctuations through black globe correction alongside breed specific baselines accounting for Mediterranean black coat absorption characteristics. Economic modeling quantifies €280/cow lifetime benefit through 18-day earlier intervention preserving 450kg milk yield alongside €120 claw trimming deferral. Farmer adoption studies document 76% compliance through tablet-based image acquisition training 1,400 herd managers. Data integration platforms link thermal alerts with milk recording systems triggering automated footbath chemical deployment. Welfare outcomes include 41% reduction in severe stage 3 lesions alongside enhanced lying behavior restoration. Extension methodology establishes national reference protocol adopted through Hellenic Dairy Association serving 450,000 lactating cows. Regulatory compliance supports EU Animal Welfare Directive reporting through automated lameness benchmarking dashboards. Research scalability confirmed through Cyprus-Thessaly pilot expansion alongside Balkan network development positioning Greece as regional precision dairy technology hub preserving €2.8B national milk production serving 11 million consumers essential protein requirements while advancing sustainable intensification paradigms.

Keywords: thermal imaging, lameness detection, dairy cattle welfare, precision livestock, Greek Holsteins

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES

Dr. Fatima Al-Mansoori, Khalid Rahman, Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil
Faculty of Veterinary Medicine, United Arab Emirates University

ABSTRACT

This nanoveterinary immunology investigation develops chitosan-tripolyphosphate nanoparticles encapsulating Peste des Petits Ruminants (PPR) virus glycoproteins for single-dose mucosal vaccination of Arabian dromedaries serving UAE's $2.1B camel racing industry. Nanoparticle optimization achieves 87% entrapment efficiency alongside 180-day antigen stability under desert storage conditions eliminating cold chain dependency across remote Bedouin communities. Muco-adhesive properties enhance nasopharyngeal retention prolonging IgA induction critical for respiratory challenge protection. Cellular immunity profiling confirms Th1 bias through IFN-γ ELISPOT alongside CD8+ cytotoxic responses exceeding 4-fold inactivated vaccine benchmarks. Challenge studies demonstrate 92% clinical protection against aerosolized rinderpest serotype alongside sterilizing immunity preventing nasal shedding. Economic modeling establishes 4.6:1 return through lifetime racing productivity preservation alongside ritual slaughter security. Regulatory pathway leverages Gulf Cooperation Council veterinary harmonization enabling regional deployment protecting 8.2 million Gulf camelids. Scale-up establishes cGMP nanofabrication through Abu Dhabi pilot plant producing 25 million doses annually. Farmer acceptance studies confirm 94% adoption preference over hypodermic alternatives through nasal applicator simplicity. Sustainability assessment documents 73% carbon reduction versus traditional manufacturing. Intellectual property portfolio includes nanoparticle composition alongside mucosal adjuvant claims supporting UAE Vision 2030 knowledge economy diversification. Extension networks train 2,800 camel health workers establishing community nano-vaccine refrigerators. Research positions nanotechnology as transformative platform achieving herd immunity across arid pastoralist systems while establishing Gulf leadership within global nanoveterinary innovation serving $16B camelid cultural economies.

Keywords: camelid vaccines, nanotechnology delivery, PPR protection, mucosal immunity, desert veterinary

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES

Prof. Dr. Noor Al-Harethi, Sara Hassan
Department of Animal Production, King Saud University

ABSTRACT

This microbiome engineering study optimizes multi-strain probiotic consortia for broiler chickens confronting Arabian Peninsula heat stress compromising 18% survival through enteric dysbiosis. 16S rRNA metagenomics documents Lactobacillus salivarius dominance reestablishing Firmicutes:Bacteroidetes equilibrium disrupted by cyclic thermal duress alongside Clostridium perfringens exclusion through competitive binding. Metabolomic profiling confirms butyrate enhancement driving distal intestinal repair alongside lactate utilization preventing D-lactic acidosis during peak temperature exposure. Performance outcomes include 12% feed conversion superiority alongside 9% bodyweight advantage persisting through slaughter despite 42°C housing challenges. Immune architecture reveals IL-10 upregulation maintaining Th1/Th2 homeostasis alongside reduced acute phase proteins indicating diminished heat-stress inflammation. Economic modeling confirms 3.9:1 return through mortality elimination alongside uniform carcass quality preservation serving halal export standards. Regulatory dossiers support Saudi FDA novel feed approval through three-year safety documentation alongside zero withdrawal confirmation. Scale-up establishes commercial fermentation through Riyadh Biotech Park producing 450 tons annually serving Gulf Cooperation Council markets. Farmer training programs educate 3,200 integrators establishing probiotic integration protocols within precision nutrition platforms. Sustainability assessment documents 68% antibiotic reduction alongside enhanced nutrient recycling through litter management. Research establishes microbiome therapeutics as foundational technology achieving climate resilience within $24B Saudi poultry sector comprising essential protein security serving 35 million residents alongside 18 million Hajj/Umrah pilgrims annually.

Keywords: broiler probiotics, arid climate microbiome, heat stress resilience, butyrate metabolism, poultry nutrition

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE

Dr. Wei Ling Tan, Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Mei Ling Wong
Saw Swee Hock School of Public Health, National University of Singapore

ABSTRACT

This transdisciplinary One Health investigation integrates rodent population dynamics, wastewater epidemiology, and clinical surveillance establishing leptospirosis transmission circuits across Singapore's high-density urban interfaces where Rattus norvegicus flourishes within wet markets alongside transient migrant worker dormitories. Serovar prevalence profiling confirms Icterohaemorrhagiae dominance circulating through subsidized hawker center waste streams alongside stormwater drains serving 5.8 million residents. Metagenomic wastewater analysis detects pathogen load spikes correlating with monsoon flooding alongside rodenticide application cycles indicating resistance emergence. Clinical cohort studies document seroconversion among 87% wet market workers versus 14% office populations confirming occupational amplification. Intervention trials validate integrated pest management combining zero-rodenticide Integrated Nutrient Management alongside ultrasonic deterrents achieving 76% Rattus population reduction without secondary wildlife poisoning. Community-based surveillance empowers 2,400 block committees through smartphone microscopy enabling real-time leptospira darkfield detection linked to national notifiable disease platforms. Economic modeling establishes S$28M annual savings through outbreak prevention alongside enhanced hawker productivity. Policy integration establishes National Leptospirosis Control Act mandating tripartite human-animal-environmental monitoring across 72 planning areas. Capacity building trains 1,800 public health officers establishing island-wide One Health taskforce. Sustainability assessment confirms circular economy benefits through food waste biodigestion eliminating 68% rodent attractants. Research positions Singapore as global model achieving zoonotic elimination within land-scarce megacity through systems epidemiology serving ASEAN regional reference center protecting $124B tourism economy alongside 1.2 million daily cross-border commuters.

Keywords: leptospirosis One Health, urban zoonoses, Singapore rodent control, wastewater epidemiology, migrant health

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Assoc. Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyev, Kamran Ibrahimov

Faculty of Agribusiness and Horticulture, Azerbaijan State Agricultural University, Azerbaijan

ABSTRACT

This research evaluates grape varietal performance under intensifying climate pressures characteristic of Azerbaijan's semi-arid viticulture zones, focusing on heat tolerance, water use efficiency, and quality preservation through systematic field trials and physiological assessments. Traditional varieties like Bayanshira and Madrasa face challenges from prolonged summer drought and temperature extremes, prompting evaluation of climate-adaptive selections including heat-tolerant hybrids and local landraces with demonstrated resilience. Physiological monitoring emphasizes stomatal regulation, canopy microclimate management, and photosynthetic efficiency under deficit irrigation regimes typical of the region. Vineyard establishment protocols integrate raised bed planting, cover cropping with drought-resistant legumes, and trellis systems optimizing sunlight interception while minimizing evaporative losses. Rootstock selection prioritizes riparia hybrids enhancing scion vigor without compromising fruit quality attributes essential for Azerbaijan’s renowned wine and table grape industries. Post-harvest quality evaluation confirms superior berry skin pigmentation, titratable acidity retention, and aroma precursor accumulation in adaptive selections compared to conventional plantings. Economic analysis demonstrates sustainable return profiles through reduced input requirements and maintained market premiums for terroir-specific products. The study establishes varietal selection criteria integrating genotypic resilience with agronomic adaptability, providing Azerbaijan’s viticulture sector with strategic pathways for sustaining production quality amid climate variability while preserving cultural heritage embedded in centuries-old winemaking traditions central to national identity.

Keywords: climate-resilient viticulture, grape varietal selection, Azerbaijan, drought tolerance, water use efficiency

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS

Prof. Dr. Chen Li Wei, Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini, Marcus Tan
Department of Biological Systems Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

This investigation develops integrated aquaponic systems combining rice cultivation with fish production optimized for Singapore's high-density tropical urban agriculture constraints, emphasizing nutrient recycling efficiency, water conservation, and dual-crop productivity. System design integrates deep-water rice varieties with tilapia or jade perch in coupled recirculating aquaculture-vitroponics configurations maximizing symbiotic nutrient exchange between fish effluent and rice nutrient demands. Biofilter optimization employs moving bed biofilm reactors enhancing nitrification capacity while maintaining dissolved oxygen levels critical for both aquatic and terrestrial components. Rice varietal screening prioritizes semi-dwarf erectophile genotypes exhibiting superior tillering under fluctuating hydroponic nutrient regimes characteristic of aquaponic environments. Fish health management incorporates probiotic supplementation and plant-based immunostimulants reducing disease pressure in high-density co-culture. System monitoring emphasizes real-time sensors tracking pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and ammonia-nitrogen transformations ensuring biological process stability. Economic modeling confirms superior land-use efficiency compared to separated aquaculture and hydroponics alongside reduced chemical fertilizer dependency. Environmental impact assessment documents substantial freshwater savings and greenhouse gas reductions positioning aquaponics as model for land-scarce tropical city-states. The research establishes technical protocols enabling commercial-scale deployment while training urban farming cooperatives in system management, creating pathways for food sovereignty in densely populated Southeast Asian contexts through biologically integrated production models.

Keywords: aquaponics, rice-fish integration, tropical agriculture, nutrient recycling, urban farming

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE

Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming, Dr. Tan Hui Ling, Rajesh Kumar
School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

This systems engineering study optimizes vertical farming configurations for year-round leafy greens production addressing Singapore's land constraints and year-round tropical growing conditions. Multi-layer rack systems integrate hydroponic nutrient film technique with solid media slabs maximizing photosynthetic photon flux utilization through dynamic LED spectrum adjustment synchronized with crop growth stages. Environmental control precision maintains vapor pressure deficit, CO2 enrichment, and airflow patterns preventing foliar diseases while accelerating harvest cycles. Crop selection emphasizes high-value baby greens, specialty herbs, and microgreens achieving rapid turnover suited to just-in-time urban supply chains. Energy modeling identifies heat pump dehumidification coupled with photovoltaic integration minimizing operational costs in high-humidity tropical climates. Automation protocols employ computer vision quality assessment, robotic harvesting, and predictive analytics optimizing nutrient dosing through machine learning algorithms trained on real-time sensor networks. Economic viability confirmed through levelized cost analysis competitive with imported produce alongside premium pricing for local pesticide-free certification. Social impact assessment documents community engagement through urban farm education programs increasing food literacy among city residents. Scalability roadmap establishes modular farm units deployable within existing commercial buildings transforming food deserts into production centers. The research positions vertical agriculture as infrastructure solution enhancing national food security while creating green collar employment opportunities within Singapore's knowledge economy framework.

Keywords: vertical farming, urban agriculture, tropical optimization, hydroponics, food security

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS

Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed, Sara Al-Mansoori
Department of Plant Production, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This plant breeding program develops salt-tolerant forage varieties addressing Qatar's chronic water scarcity and marginal soil salinity constraining livestock feed production essential for national food security. Conventional breeding combines wild halophytic germplasm with elite buffelgrass and Rhodes grass incorporating sodium exclusion mechanisms, osmotic adjustment pathways, and antioxidant defense systems characteristic of coastal dune ecotypes. Field trials across experimental stations evaluate biomass accumulation, nutritional quality parameters, and persistence under cyclic seawater irrigation simulating produced water utilization from oil-gas operations. Rhizosphere microbiome enhancement through salt-tolerant plant growth-promoting bacteria increases phosphorus solubilization and nitrogen fixation under saline stress. Molecular markers track inheritance of key tolerance traits including HKT1;5 sodium transporters and SOS1 extrusion pumps enabling early generation selection. Nutritional profiling confirms adequate crude protein, neutral detergent fiber, and mineral balances supporting ruminant productivity comparable to freshwater-irrigated forages. Economic analysis demonstrates substantial feed cost reductions replacing imported alfalfa while utilizing non-arable lands comprising seventy percent national territory. Policy integration advocates varietal release through Qatar Farming Association alongside extension services training Bedouin pastoralists in saline forage management. The research establishes sustainable livestock nutrition pathways reducing Qatar's complete dependence on imported feeds while valorizing marginal agricultural resources through modern plant breeding integrated with indigenous knowledge systems.

Keywords: saline forage crops, plant breeding, Qatar agriculture, livestock nutrition, halophyte utilization

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES

Dr. Fatima Al-Thani, Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser, Mariam Rahman
Department of Plant and Environmental Sciences, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This agronomic study develops precision irrigation protocols maximizing date palm productivity under extreme arid conditions while minimizing water applications critical for Gulf sustainability. Phenotyping identifies Barhi and Khalas cultivars exhibiting superior water use efficiency through partial root zone drying and regulated deficit irrigation timed with bunch development stages. Sap flow sensors and canopy thermal imaging guide irrigation scheduling maintaining midday stem water potential within stress-avoidance thresholds. Fertigation optimization synchronizes potassium demands during hababouk stage preventing bunch droop while conserving nitrogen applications through slow-release formulations. Microclimate modification employs shade netting reducing transpiration without compromising light interception essential for carbohydrate accumulation. Soil moisture capacitance probes enable real-time decision support systems accessible through mobile applications for smallholder farmers. Postharvest quality evaluation confirms enhanced total soluble solids, reduced titratable acidity, and improved texture in water-stressed trees reflecting flavor intensification characteristic of terroir date production. Economic modeling projects substantial water cost savings alongside maintained or enhanced market premiums for premium quality classifications. Extension methodologies train women cooperatives in precision agriculture increasing household incomes through value-added date products. The research establishes science-based cultivation practices ensuring date palm sustainability as cultural-economic cornerstone while positioning Qatar within global precision horticulture demonstrating arid land stewardship through technological innovation harmonized with traditional knowledge.

Keywords: date palm cultivation, water-efficient irrigation, arid agriculture, precision horticulture, Qatar

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE

Dr. Sophia Kiriakou, Andreas Manolis
Department of Agriculture, Hellenic Mediterranean University, Crete, Greece

ABSTRACT

This sustainable agriculture study develops organic herb production protocols optimized for Crete's Mediterranean greenhouse systems emphasizing oregano, thyme, and rosemary adapted to insular soil-climate variability. Substrate engineering combines coconut coir with local olive pruning residues enhancing water retention while preventing root diseases through optimized cation exchange capacity. Biological pest management integrates predatory mites, parasitoid wasps, and entomopathogenic nematodes establishing integrated pest management frameworks excluding synthetic pesticides. Irrigation precision employs tensiometers maintaining matric potentials supporting mycorrhizal colonization essential for phosphorus uptake under low-fertility conditions. Nutrient recycling captures condensate water enriching fertigation solutions with rainwater chemistry characteristic of Mediterranean winter storms. Postharvest protocols preserve volatile oil content through rapid solar dehydration maintaining carvacrol and thymol concentrations rivaling wild harvested material. Market analysis confirms premium pricing for certified organic Cretan herbs within European specialty food sectors valuing PDO geographical indications. Carbon footprint assessment documents substantial emissions reductions versus open field production through protected cultivation efficiencies. Social enterprise models empower women cooperatives managing twenty-hectare herb clusters generating sustainable rural incomes while preserving agrobiodiversity through varietal conservation. Certification pathways navigate EU organic regulations alongside GlobalGAP protocols ensuring market access. The research establishes comprehensive production models positioning Crete as leading supplier of authentic Mediterranean culinary herbs through environmentally sound intensification harmonizing ecological stewardship with economic viability.

Keywords: organic herb production, Mediterranean greenhouse, Crete agriculture, biological pest control, PDO herbs

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS

Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas, Elena Stavrou, Nikos Theodorou
Laboratory of Olive Cultivation, Agricultural University of Athens, Greece

ABSTRACT

This precision agriculture investigation optimizes irrigation regimes enhancing extra virgin olive oil sensory characteristics and nutritional profiles within Greece's premier Kalamata PDO plantations. Koroneiki cultivar phenology guides deficit irrigation strategies concentrating polyphenols during veraison while sustaining carbon assimilation through critical late-summer stages. Canopy hyperspectral reflectance indices predict water status enabling early intervention preventing permanent stomatal closure. Soil moisture sensors distributed through rootzones facilitate partial rootzone drying alternating wetting patterns stimulating ABA-mediated stress signaling enhancing oil quality precursors. Fruit analysis confirms elevated oleuropein, hydroxytyrosol, and oleocanthal concentrations alongside optimized oleic acid profiles characteristic of premium classifications. Sensory evaluation panels document superior fruity-fruity-aromatic profiles achieving consistently high scores within integrated olive oil panel methodologies. Economic modeling validates sustained yield quality tradeoffs maintaining production volumes while capturing substantial market premiums for superior classifications. Climate resilience protocols incorporate cover cropping suppressing soil evaporation alongside windbreaks mitigating desiccation stresses increasingly prevalent within Mediterranean basin. Extension methodologies disseminate findings through farmer field schools reaching thousands of smallholders across Peloponnese prefectures. Sustainability certification pathways integrate findings within GLOBALG.A.P. and EU Organic frameworks enhancing market positioning. The research establishes scientific foundation elevating Greece's globally recognized olive oil heritage through precision water management harmonizing tradition excellence with contemporary climate-smart agricultural practices ensuring PDO designation integrity for future generations.

Keywords: olive oil quality, precision irrigation, Kalamata olives, PDO enhancement, phenolic compounds

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY

Dr. Farid Gurbanov, Leyla Karimova, Rashad Nuriyev
Department of Plant Protection, Azerbaijan State Agricultural University, Azerbaijan

ABSTRACT

This integrated pest management study develops biological control protocols protecting pomegranates from key orchard pests while maintaining residue-free production standards essential for export markets. Beneficial insect conservation prioritizes Trichogramma parasitoids targeting pomegranate fruit moths alongside predatory beetles suppressing scale insects through habitat manipulation within inter-row cover crops. Microbial biopesticides including Beauveria bassiana and Bacillus thuringiensis establish entomopathogen reservoirs through timed applications synchronized with pest phenology. Plant-derived repellents utilizing neem and essential oil mixtures disrupt mating communication minimizing broad-spectrum insecticide reliance. Monitoring protocols employ pheromone traps and digital imaging providing real-time infestation mapping guiding selective treatments. Orchard floor management integrates flowering understory attracting pollinators while suppressing weed hosts harboring pathogens. Economic analysis confirms cost parity versus chemical controls alongside sustained yield quality supporting premium pricing within European-Russia markets. Pesticide residue monitoring validates clean harvest compliance exceeding maximum residue limits by substantial margins. Farmer training programs disseminate protocols through demonstration orchards reaching thousands across Ganja region revitalizing traditional fruit culture through modern ecological stewardship. Policy advocacy establishes national IPM certification schemes alongside subsidy restructuring favoring biological inputs. The research positions Azerbaijan pomegranates within global clean fruit markets through environmentally sustainable production models preserving agrocultural heritage while meeting contemporary food safety standards through integrated biological management systems harmonizing ecological processes with commercial viability.

Keywords: biological pest control, pomegranate IPM, Azerbaijan agriculture, Ganja Valley, residue-free production

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING

Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato
Department of Oncology and Genomic Medicine, University of Tokyo Hospital, Japan

ABSTRACT

This research explores artificial intelligence applications in precision oncology, specifically how machine learning algorithms analyze complex genomic profiles from breast cancer tumors to enable personalized treatment strategies. Tumor sequencing reveals heterogeneous mutations across HER2-positive, triple-negative, and hormone-receptor-positive subtypes, where traditional chemotherapy approaches often fail due to resistance mechanisms rooted in tumor microenvironment interactions and epigenetic modifications. AI models trained on large-scale datasets from The Cancer Genome Atlas integrate multi-omics data including DNA methylation patterns, RNA expression profiles, and proteomic signatures to predict therapeutic responses with unprecedented accuracy. Convolutional neural networks identify subtle morphological patterns in histopathology slides that correlate with molecular subtypes, while recurrent neural networks process longitudinal patient data to forecast disease progression and metastasis risk. The clinical implications extend to therapeutic decision-making, where AI-driven recommendations guide selection of targeted therapies such as PARP inhibitors for BRCA-mutated cases or CDK4/6 inhibitors for luminal tumors, optimizing outcomes while minimizing toxicity. Ethical considerations surrounding data privacy, algorithmic bias, and equitable access remain critical challenges, particularly in diverse populations where genomic databases predominantly represent Western cohorts. Integration with liquid biopsy technologies allows real-time monitoring of circulating tumor DNA, enabling adaptive treatment modifications as clonal evolution occurs under selective pressure. Future directions emphasize federated learning frameworks that preserve patient confidentiality across institutions, alongside explainable AI methodologies ensuring clinician trust in black-box predictions. This approach represents a paradigm shift from empirical oncology toward data-driven precision medicine, fundamentally transforming breast cancer management through individualized risk stratification and therapeutic optimization.

Keywords: precision medicine, breast cancer genomics, AI algorithms, tumor profiling, personalized oncology

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi, Takeshi Yamamoto, Mika Fujimoto
Faculty of Neuroscience and Biomedical Engineering, Kyoto University, Japan

ABSTRACT

This study investigates non-invasive brain-computer interface technologies leveraging electroencephalography and functional near-infrared spectroscopy to modulate neural circuits affected by Parkinson's disease progression. Dopaminergic neuron degeneration in the substantia nigra disrupts basal ganglia circuitry, producing characteristic motor symptoms including bradykinesia, resting tremor, and gait freezing alongside non-motor manifestations such as cognitive decline and sleep disturbances. Closed-loop neurofeedback systems train patients to self-regulate pathological oscillatory patterns in the beta frequency band (13-30 Hz), which correlate with motor impairment severity. Real-time signal processing algorithms decode cortical activity from motor cortex and prefrontal regions, delivering auditory or visual feedback to enhance cortico-striatal connectivity. Transcranial focused ultrasound provides precise neuromodulation of deep brain structures traditionally targeted by invasive deep brain stimulation, offering adjustable sonication parameters to suppress excessive synchronized firing without surgical risks. Wearable EEG headsets integrated with smartphone applications facilitate home-based therapy sessions, improving medication adherence through tremor severity tracking and levodopa-induced dyskinesia detection. Clinical trials demonstrate sustained motor score improvements alongside quality-of-life gains, particularly in advanced-stage patients unsuitable for surgical intervention. Neuroplasticity mechanisms underlying these interventions involve long-term potentiation in thalamocortical pathways and normalization of aberrant functional connectivity within the default mode network. Challenges include signal contamination from movement artifacts and inter-subject variability in neuroanatomical landmarks. Future research directions emphasize hybrid interfaces combining neural decoding with peripheral biosignals such as electromyography, alongside multi-site validation studies establishing standardized protocols for clinical translation. These technologies promise transformative management of Parkinson's disease through accessible, patient-centered neuromodulation paradigms.

Keywords: neural interfaces, Parkinson's disease, neurofeedback, brain-computer interface, neuromodulation

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS

Dr. Ionela Popa, Victor Rusu
Department of Public Health and Telemedicine, State Medical and Pharmaceutical University, Moldova

ABSTRACT

This research examines telemedicine deployment barriers within Moldova's fragmented rural healthcare infrastructure, where geographic isolation compounds physician shortages and limited diagnostic capacity. Video consultations address primary care gaps but encounter persistent connectivity limitations in northern districts, compounded by low digital health literacy among elderly populations managing chronic conditions such as hypertension and diabetes. Platform interoperability challenges hinder integration with existing electronic health records, while regulatory frameworks lag behind EU digital health standards despite Moldova's association agreement obligations. Patient trust emerges as critical factor, with qualitative interviews revealing preferences for face-to-face encounters rooted in Soviet-era paternalistic medical culture. Economic constraints limit reimbursement mechanisms for remote services, creating disincentives for provider participation. Infrastructure assessments identify mobile network coverage as primary bottleneck, though 4G expansion offers mitigation potential through compressed video protocols. Medical device connectivity enables remote monitoring of vital signs, but calibration standards remain inconsistent across suppliers. Training programs targeting rural practitioners emphasize diagnostic confidence during virtual encounters, addressing over-reliance on physical examination findings. Policy analysis reveals fragmented governance between Ministry of Health and National Health Insurance Company, delaying unified telemedicine strategy. Comparative evaluation against Romanian cross-border initiatives demonstrates feasibility of regional collaboration leveraging shared language and medical training traditions. Implementation frameworks incorporate community health worker intermediaries bridging digital divide through assisted teleconsultations. Capacity-building initiatives focus on data security protocols compliant with GDPR equivalents, addressing cybersecurity vulnerabilities inherent to resource-constrained environments. Research establishes roadmap for sustainable telemedicine ecosystems integrating local contextual realities with global best practices, positioning Moldova as regional leader in Eastern European digital health transformation serving underserved rural communities.

Keywords: telemedicine implementation, rural healthcare, digital health literacy, Moldova health systems, teleconsultation barriers

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS

Prof. Dr. Maria Ceban, Andrei Lupascu, Elena Bodarev
Faculty of Preventive Medicine and Nutrition, State University of Medicine and Pharmacy, Moldova

ABSTRACT

This community-based intervention study evaluates culturally adapted nutritional strategies preventing type 2 diabetes progression among urban Moldovan adults exhibiting prediabetes phenotypes. Traditional dietary patterns dominated by refined carbohydrates and saturated fats from Soviet-era food systems contribute significantly to metabolic syndrome prevalence, compounded by sedentary occupational structures and limited fresh produce accessibility. Mediterranean-style modifications incorporating local walnuts, sunflower seeds, and fermented dairy products demonstrate feasibility within Eastern European culinary traditions. Behavioral economics frameworks leverage social norms through workplace canteen transformations and neighborhood cooking collectives, achieving sustained adherence superior to individual counseling approaches. Glycemic index education emphasizes seasonal root vegetables and whole grain alternatives to white bread ubiquitous in Moldovan cuisine. Intermittent fasting protocols adapted to Orthodox Christian fasting calendars enhance insulin sensitivity through circadian-aligned eating windows. Microbiome-targeted interventions promote diversity through sauerkraut, kefir, and kvass consumption countering antibiotic overuse legacies. Longitudinal cohort monitoring documents HbA1c reductions alongside favorable lipid profile shifts and visceral adiposity decreases. Health economics analysis confirms cost-effectiveness surpassing pharmacological prophylaxis when accounting for productivity losses avoided. Capacity building targets dietitians through continuous professional development emphasizing motivational interviewing techniques and culinary demonstration skills. Policy integration advocates front-of-pack nutrition labeling mandatory for imported processed foods alongside subsidies for locally grown pulses and berries. School-based programs establish generational prevention through family cooking workshops reaching children as change agents. Research establishes evidence-based framework translating global diabetes prevention paradigms into Eastern European context, preserving culinary heritage while addressing nutrition transition challenges characteristic of post-socialist urban transformation.

Keywords: diabetes prevention, nutritional interventions, Moldovan diet, prediabetes management, community nutrition

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES

Dr. Sari Wijaya, Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso
Faculty of Traditional Medicine, University of Indonesia, Indonesia

ABSTRACT

This ethnopharmacological investigation validates Indonesian *jamu* formulations efficacy against dengue fever, focusing on Andrographis paniculata (*sambiloto*), Carica papaya leaf extracts, and Zingiber officinale combinations employed across Java and Sumatra. Phytochemical screening confirms andrographolide, carpaine, and gingerol synergism inhibiting DENV-2 replication through NS5 polymerase blockade and envelope glycoprotein interference. In vitro assays demonstrate dose-dependent viral load reductions alongside platelet count stabilization critical during critical phase thrombocytopenia. Clinical observational studies across community health centers document reduced hospitalization rates and defervescence acceleration compared to supportive care alone. Vector control integration employs neem and serai essential oils repelling Aedes aegypti through octacosane mediated olfactory disruption. Safety profiles confirm absence of hepatotoxicity or herb-drug interactions with acetaminophen standard therapy. Traditional knowledge transmission mapping reveals *dukun* networks preserving formulation ratios through oral mnemonics resistant to biomedical standardization pressures. Economic analysis establishes affordability advantage over intravenous immunoglobulin therapies prohibitive for rural populations. Regulatory science navigates *jamu* classification under Indonesian BPOM framework facilitating evidence-based claims without losing traditional legitimacy. Comparative effectiveness research against Thai green chiretta preparations confirms Javanese polyherbal superiority through flavanol matrix metalloproteinase inhibition. Conservation biology addresses overharvesting threats through *sambiloto* agroforestry integration within cocoa agroecosystems. Intellectual property frameworks protect *jamu* formulations through geographical indication certification preserving biodiversity-derived knowledge sovereignty. Research validates community wisdom bridging ethnomedicine with molecular virology, establishing scalable dengue management paradigm accessible across Indonesian archipelago where annual epidemics affect millions lacking hospital infrastructure.

Keywords: herbal medicine, dengue fever, Indonesian jamu, Andrographis efficacy, ethnopharmacology

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA

Nyoman Pratiwi, Dr. Agus Setiawan, Lina Kusuma
Department of Midwifery and Public Health, Airlangga University, Indonesia

ABSTRACT

This participatory action research evaluates community midwifery strengthening initiatives reducing maternal mortality across eastern Indonesian provinces where geographic isolation compounds human resource shortages. Village-based *bidan di desa* programs integrate traditional birth attendant knowledge with evidence-based obstetrics through bidirectional skills exchange preserving cultural birth practices while introducing partograph monitoring and active management of third stage labor. Mobile health teams address transportation barriers through motorcycle ambulances equipped for emergency stabilization bridging remote hamlets to primary health centers. Nutrition-sensitive antenatal care incorporates local sago palm and moringa supplementation countering anemia endemic in food-insecure coastal communities. Respectful maternity care training transforms facility culture addressing vertical birth position prohibitions and postpartum ritual accommodations. Male engagement strategies leverage kinship structures positioning husbands as birth preparedness champions through motorcycle driving training and savings group facilitation. Data connectivity solutions transmit labor progress via SMS partographs enabling district hospital oversight despite absent roads. Economic empowerment through midwifery sewing cooperatives generates revenue funding equipment replenishment. Indigenous language materials ensure comprehension across 700 local dialects preserving oral traditions while delivering WHO safe childbirth checklist content. Quality improvement cycles employ Plan-Do-Study-Act methodology adapting protocols to tsunami-prone and malaria-endemic ecologies. Research demonstrates maternal near-miss audit culture transformation through community death review rituals replacing blame with systems learning. Policy advocacy secures Ministry of Health budget line for village midwifery alongside universal health coverage reimbursement expansion. Framework offers replicable model for island nations integrating cultural competence with technical proficiency, substantially reducing preventable maternal deaths through community ownership of childbirth continuum.

Keywords: community midwifery, maternal health, rural Indonesia, respectful maternity care, birth preparedness

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS

Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu
Department of Infectious Diseases and Microbiology, Carol Davila University of Medicine, Romania

ABSTRACT

This epidemiological surveillance study characterizes antimicrobial resistance trends among Romanian nosocomial pathogens within EUCAST-EARS-Net framework, emphasizing carbapenemase-producing Enterobacteriaceae and multidrug-resistant Acinetobacter baumannii predominance. Intensive care units exhibit highest incidence of OXA-48 K. pneumoniae alongside NDM-1 E. coli reflecting Eastern European clonal lineage dissemination through medical tourism and population movements. Methicillin-resistant Staphylococcus aureus spa types document community-onset hospital transmission cycles resistant to Romanian antibiotic stewardship efforts. Vancomycin-resistant Enterococcus faecium emergence correlates with surgical prophylaxis overuse patterns. Pseudomonas aeruginosa high-risk clones demonstrate colistin heteroresistance complicating last-resort therapeutic options. Molecular epidemiology employs whole genome sequencing resolving transmission networks linking regional hospitals through patient transfers. Stewardship interventions emphasize rapid diagnostics integration through MALDI-TOF guided de-escalation alongside procalcitonin-guided cessation protocols reducing broad-spectrum cephalosporin exposure. Infection prevention bundles adapt WHO core components to Romanian resource constraints prioritizing high-touch surface biocides and chlorhexidine bathing. Economic analysis quantifies attributable length-of-stay increases alongside excess mortality costs informing national budget allocations. Training programs target prescribers through audit-feedback cycles achieving sustained compliance improvements. Regional networks facilitate inter-hospital learning exchanging resistance patterns and intervention outcomes. Policy development advocates legislative antibiotic import restrictions alongside veterinary-human medicine surveillance harmonization addressing agricultural selective pressure. Research outputs feed national reference laboratory operations supporting therapeutic drug monitoring services for polymyxin B and ceftazidime-avibactam optimization. Framework establishes comprehensive stewardship infrastructure positioning Romania within European Centre for Disease Prevention antibiotic resistance combat strategies protecting healthcare system sustainability.

Keywords: antibiotic resistance, hospital-acquired infections, Romania epidemiology, stewardship programs, molecular surveillance

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato, Takeshi Yamamoto
Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

ABSTRACT

This research explores advanced nanoscale surface modification strategies to substantially improve supercapacitor electrode performance, focusing on transition metal oxide nanostructures and carbon-based hybrids. Plasma etching combined with atomic layer deposition creates hierarchical porosity architectures that dramatically expand accessible surface area while maintaining electrical connectivity through three-dimensional conductive networks. Chemical functionalization introduces oxygen-containing groups that enhance pseudocapacitive charge storage mechanisms alongside improved electrolyte wettability. The study systematically investigates defect engineering through ion implantation, creating oxygen vacancies that serve as active catalytic sites for faradaic redox reactions while preventing irreversible phase transformations during extended cycling. Laser interference lithography patterns periodic nanostructures optimizing ion diffusion pathways and electric field distribution at the electrode-electrolyte interface. These modifications collectively address fundamental limitations of conventional supercapacitors including limited energy density, poor rate capability at high current densities, and capacity degradation from mechanical stress during volume changes. Comprehensive electrochemical characterization through cyclic voltammetry, galvanostatic cycling, and electrochemical impedance spectroscopy confirms exceptional performance metrics across wide temperature ranges and diverse electrolyte systems. Long-term stability testing demonstrates retention of initial capacitance after thousands of cycles, surpassing commercial benchmarks. Theoretical modeling elucidates structure-property relationships guiding rational nanostructure design for next-generation energy storage. The developed methodologies demonstrate broad applicability beyond supercapacitors to other electrochemical systems including lithium-ion batteries and electrocatalysts. Scalable fabrication processes utilize industrially viable equipment enabling commercial translation. Research establishes comprehensive framework advancing electrode engineering from empirical optimization toward physics-guided nanoscale architecture design achieving breakthrough energy storage capabilities essential for electrified transportation and renewable energy integration.

Keywords: supercapacitor electrodes, nanoscale modification, surface engineering, pseudocapacitance, energy storage

ISBN NR: 978-625-8795-48-6

RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION

Dr. Chinedu Okonkwo, Ngozi Eze, Emeka Nwankwo
Department of Civil Engineering, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance construction composites from recycled plastic waste addressing Nigeria's critical housing deficit while simultaneously resolving plastic pollution challenges. Mechanical and chemical recycling processes transform low-value polyethylene and polypropylene waste into consistent composite feedstocks suitable for extrusion and compression molding. Interfacial adhesion engineering through compatibilizer addition and surface functionalization creates strong matrix-fiber bonding essential for structural applications. The study systematically evaluates mixture designs optimizing mechanical properties, thermal stability, and fire resistance required for building codes compliance. Extruded hollow-core panels and compression-molded roofing sheets demonstrate superior strength-to-weight ratios compared to traditional concrete masonry while providing excellent thermal insulation suited to Nigeria's tropical climate. Accelerated weathering tests confirm long-term durability under intense UV exposure, high humidity, and thermal cycling characteristic of coastal and savanna regions. Life-cycle assessment reveals dramatically reduced embodied carbon alongside elimination of landfill disposal costs. Economic analysis confirms substantial savings through material cost reduction and accelerated construction timelines enabled by lightweight prefabricated components. Local production eliminates import dependency on cement while creating circular economy jobs collecting, processing, and manufacturing recycled content products. Community deployment trials validate construction worker training protocols alongside simplified assembly methods appropriate for semi-skilled labor. The modular panel system facilitates rapid deployment in urban slums and rural communities lacking conventional infrastructure. Research establishes comprehensive framework transforming plastic waste from environmental liability into valuable construction resource revolutionizing Nigerian housing delivery while advancing United Nations Sustainable Development Goals for responsible consumption, sustainable cities, and climate action through innovative materials engineering tailored to local resource realities.

Keywords: recycled plastic composites, sustainable construction, Nigerian housing, circular economy, waste valorization

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY

Prof. Dr. Aisha Bello, Tunde Adeyemi
Department of Chemical Engineering, Ahmadu Bello University, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance biodegradable polymer blends from abundant Nigerian agricultural waste biomass including cassava peels, rice husks, and sugarcane bagasse, creating sustainable alternatives to petroleum-based plastics dominating local packaging markets. Thermomechanical processing converts lignocellulosic waste into thermoplastic starch matrices reinforced with nanocellulose fibers extracted through mild chemical treatments preserving native crystalline structure. Compatibilization strategies employing maleic anhydride grafting overcome inherent hydrophilicity challenges enabling water-resistant films suitable for food contact applications. Comprehensive materials characterization confirms balanced mechanical properties combining stiffness from natural fiber reinforcement with ductility from plasticized starch matrices. Accelerated biodegradation testing demonstrates complete mineralization within months under local composting conditions contrasting decades required for conventional plastics. Oxygen and water vapor transmission rates meet fresh produce packaging requirements preventing spoilage while maintaining carbon footprint advantages over imported bioplastics. Scale-up manufacturing utilizes existing extrusion and blown-film equipment minimizing capital investment barriers for local converters. Economic modeling confirms competitive pricing against polyethylene through elimination of import tariffs and duties while generating value-added employment in rural biomass collection zones. Regulatory compliance achieved through Nigerian Industrial Standards Organization certification facilitates market access for food packaging applications. Life-cycle assessment quantifies environmental benefits including avoided marine pollution and greenhouse gas emissions. Consumer acceptance trials confirm preference for transparently labeled biodegradable packaging among urban supermarket shoppers. The research establishes complete value chain from farm waste collection through industrial conversion creating sustainable packaging ecosystem supporting Nigeria's agricultural economy while positioning local manufacturers within growing global green packaging market projected to reach substantial market share within decade.

Keywords: biodegradable polymers, agricultural waste, Nigerian packaging, bioplastics, sustainability

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS

Dr. Juma Mtui, Fatuma Ally, Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko
Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Dar es Salaam, Tanzania

ABSTRACT

This research develops corrosion-resistant titanium alloys specifically engineered for Tanzania's aggressive mining environments combining acidic tailings slurries, hypersaline brines, and abrasive mineral suspensions. Beta titanium alloys with controlled aluminum-vanadium chemistry achieve optimal balance between strength, toughness, and pitting corrosion resistance essential for slurry pump impellers, hydrocyclone liners, and tailings pipework. Powder metallurgy processing enables precise control over microstructure eliminating segregation issues plaguing conventional ingot metallurgy while reducing material costs through scrap recycling. Surface modification through plasma electrolytic oxidation creates thick ceramic-like coatings providing abrasion protection alongside self-healing properties in chloride environments. Comprehensive laboratory testing replicates Geita and Bulyanhulu mine conditions confirming superior performance against conventional stainless steels suffering rapid pitting and crevice corrosion failure. Field trials document extended component lifetimes substantially reducing maintenance shutdowns and replacement costs critical for continuous mining operations. Economic analysis confirms favorable lifecycle costs despite higher initial material expense through dramatic reduction in downtime and safety incidents associated with catastrophic corrosion failures. Local fabrication capabilities established through University of Dar es Salaam technology transfer creating skilled manufacturing jobs while reducing import dependency. The research addresses fundamental materials challenges specific to East African geology including sulphide ore processing and alkaline tailings management. Comprehensive failure analysis of existing equipment informs alloy design criteria ensuring fitness-for-service under extreme service conditions. Strategic partnerships with Barrick Gold and AngloGold Ashanti validate industrial scale performance while informing national standards development. Research establishes titanium technology platform supporting Tanzania's mining sector growth while building local engineering capacity essential for downstream value addition and economic development.

Keywords: titanium alloys, corrosion resistance, Tanzanian mining, materials engineering, slurry abrasion

AKDENIZ 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
September 17 - 22, 2026 - TUNIS
ISBN NR: 978-625-8795-48-6

NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE

Zainab Mwamba, Dr. Lucas Kileo
Department of Structural and Construction Engineering, Ardhi University, Tanzania

ABSTRACT

This research develops high-performance natural fiber-reinforced concrete utilizing Tanzanian sisal, coconut coir, and rice straw for sustainable infrastructure development addressing chronic material shortages and import dependency. Alkali treatment optimization extracts optimal fiber properties while ensuring strong cement matrix bonding essential for composite action. Extensive materials characterization confirms substantial improvements in post-cracking tensile capacity, impact resistance, and ductility transforming brittle concrete into pseudo-ductile structural material suitable for seismic zones and blast loading. Long-term durability studies demonstrate excellent performance under tropical exposure including wet-dry cycling, thermal expansion, and alkali-silica reaction common in local aggregates. Structural testing of beams, slabs, and walls validates code-compliant flexural and shear capacities enabling widespread adoption in low-rise buildings, rural bridges, and community infrastructure. Life-cycle assessment confirms dramatic carbon footprint reduction through cement replacement and local materials substitution alongside elimination of synthetic fiber imports. Economic modeling demonstrates substantial savings through reduced formwork requirements and accelerated construction timelines enabled by enhanced fresh concrete workability. Local production protocols leverage existing small-scale industries creating circular economy opportunities while building technical capacity through Ardhi University training programs. The research systematically addresses East African construction challenges including aggregate variability, high chloride exposure, and limited skilled labor availability. Comprehensive design guidelines and national standards development facilitate regulatory approval and contractor confidence. Strategic demonstration projects showcase performance in actual service environments building market acceptance. Research establishes comprehensive framework transforming natural fiber waste into high-value construction materials supporting Tanzania's infrastructure expansion while advancing sustainable development goals through indigenous resource utilization.

Keywords: natural fiber concrete, sustainable construction, Tanzanian infrastructure, ductility enhancement, sisal reinforcement