ICSAS

7. ULUSLARARASI FEN ve UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

7 - 9 Ağustos 2026 İzmir

YÜZYÜZE ve ONLINE

Önemli Tarihler

Son Başvuru : 2 Ağustos 2026

Kitap Yayın Tarihi : 10 Eylül 2026

SAĞLIK
SPOR
MÜHENDİSLİK
MİMARLIK
MATEMATİK
ZİRAAT
VETERİNER BİLİMİ
HEMŞİRELİK
EBELİK
JEOLOJİ
EKONOMETRİ
İSTATİSTİK
YAZILIM
PEYZAJ
BİTKİ KORUMA
FARMAKOLOJİ
TEKNOLOJİ
METEOROLOJİ
UYGULAMALI BİLİMLER
KİMYA
BİYOKİMYA
BİYOLOJİ
MİKROBİYOLOJİ
PSİKİYATRİ
ENERJİ
MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
GIDA
FİZYOTERAPİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK
İNŞAAT
SU ÜRÜNLERİ
MADEN
TEKSTİL
ŞEHİR PLANLAMA
MAKİNA
TARIM
BİTKİ KORUMA
ÇOCUK GELİŞİMİ
DİŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
HARİTA
FİZİK
ADLİ TIP
MEKATRONİK
ORMAN

ICSAS ACADEMY

www.icsasconferences.org

ICSAS ACADEMY

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 7 – 9, 2026
IZMIR

Edited By
ASSOC. PROF. YELIZ ÇAKIR SAHILLI

Issued: 10.09.2026
ISBN: 978-625-8795-37-0

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 41 papers have been presented by Turkish participants and 49 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.

CONFERENCE ID

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
AUGUST 7 – 9, 2026
IZMIR

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Ukraine - Egypt – Morocco – Romania- Algeria - Bangladesh- Moldova – Yemen – India – Uzbekistan-

PRESENTATION
Oral presentation

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

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

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

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

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

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

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

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

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

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

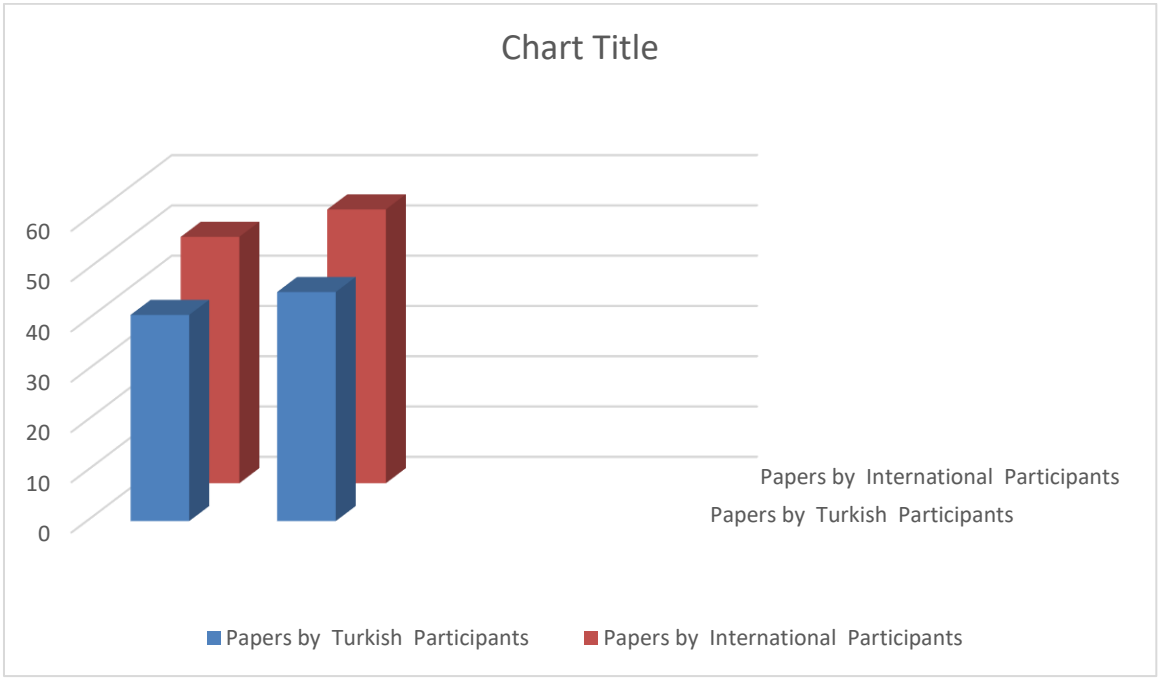
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	41	45,55
Papers by International Participants (10 Countries)	49	54,45



ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 7 – 9, 2026
IZMIR

NO : **AC- 7I - 2026. 352A– 3860**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 01/09/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **ICSAS 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 7-9 Ağustos 2026 tarihlerinde İzmir'de 11 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 90 bildirinin 41'i Türkiye'den, 49'u ise farklı 10 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

Assis. Prof. Dr. Gültekin Gürçay

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.

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES
ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
ICSAS 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION

August 7 – 9, 2026
IZMIR

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

CONFERENCE SCHEDULE

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,

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 1	DATE August 7, 2026	TIME Ankara: 11:00 – 13:00	ZOOM ID - Passcode 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Doç. Dr. Semih SALMAN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	INVESTIGATION OF COMBINATORICS AND PERMUTATIONS WITH INTERACTIVE MAPLE SIMULATIONS	**Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU** **Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK**
2	DYNAMIC MODELING OF CONIC SECTIONS AND THEIR TRANSFORMATIONS USING MAPLE LEARNING OBJECTS	**Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU** **Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK**
3	A MACHINE LEARNING-BASED DIAGNOSTIC TOOL FOR MULTIPLE MYELOMA (MM) BASED ON EXOSOMAL miRNA PROFILES	**NAZLIHAN GÜNEL** **MURAT DÖNMEZ** **CEYDA DERE** **CEREN NİZAMOĞLU** **MERT FURKAN KALKAN**
4	CUBIC BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL OF COVID ACTIVE CASES OF JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA	**Dr. Emre Eroglu** **Nursena Eroglu**
5	THE ABILITY OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-TRAINED SOLAR WIND PARAMETERS TO GENERATE THE DST (nT) ZONAL INDEX THROUGHOUT DIFFERENT GEOMAGNETIC STORMS	**Dr. Emre Eroglu**
6	APPLICATION OF DATA-ADAPTIVE STANCU PARAMETERIZED BDS OPERATOR TO FINANCIAL TIME SERIES	**Öğretim Görevlisi Betül ÖZTEL** **Öğretim Görevlisi Dr. Yağmur ÇETİNTAŞ PALABIYIKOĞLU**
7		
8		

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 2	DATE August 7 , 2026	TIME Ankara: 11:00 – 13:00	ZOOM ID - Passcode 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Amaneh MANAFİDİZAJİ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SİVİL SAVUNMA VE İTFAİYECİLİK ÖĞRENCİLERİNDE KAN YOLUYLA BULAŞAN PATOJENLERE YÖNELİK BİLGİ, TUTUM VE KORUYUCU DAVRANIŞLAR: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA	**Öğr. Gör. Cumali KARATUTLU** **Öğr. Gör. Haluk AKTAYÜ** **Dr. Mehmet Erdem GÜNEY** **Doç. Dr.. İsmet ÇELEBİ,**
2	RISK-BASED QUALITY MANAGEMENT AND FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR FOOD TESTING LABORATORIES	**ECE AYBÜKE ÖZDEMİR** **Assoc. Prof. Dr. CEYDA DADALI**
3	APPLICATIONS OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE FOOD INDUSTRY	**Assoc. Prof. Dr. CEYDA DADALI** **ECE AYBÜKE ÖZDEMİR**
4	RELATIONSHIP BETWEEN ANKLE DORSIFLEXION RANGE OF MOTION AND LOWER EXTREMITY PERFORMANCE IN FOOTBALL PLAYERS	**BETÜL SATILMIŞ, PT, MSc** **Asst. Prof. Dr. GAMZE ÇOBANOĞLU** **MUHAMMED YUSUF DEMİRKAN, PT, MSc** **Prof. Dr. SİNEM SUNER-KEKLİK**
5	THE IMPACT OF FOREST FIRES ON SOIL PH, ORGANIC MATTER and BULK DENSITY IN MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS: 2024 ECEABAT-ÇANAKKALE CASE STUDY	**Master's Student, Viktoriia BAZADZHY** **Assistant Professor, Kemal GÖKKAYA** **Dr. Sheila F. CHRISTOPHER**
6	DETERMİNATİON OF CULTURE CONDİTİONS FOR PROTEASE PRODUCTİON BY Bacillus zhangzhouensis ASP ISOLATED FROM TRADİTİONAL ERZURUM MOLDY CHEESE	**Arife BİLGİÇ** **Assoc. Prof. Dr. Sümeyra GÜRKÖK**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall 3**	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	IMPACT OF LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS ON WORKFLOW AND BIOHAZARDOUS SAMPLE MANAGEMENT IN VIROLOGY LABORATORIES	**Dr. Öğr. Üyesi Çağrı AVCİ** **Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU**
2	INFECTIOUS LARYNGOTRACHEITIS VIRUS (ILTV) INFECTION IN FREE-RANGE BACKYARD CHICKENS: GENOMIC CHARACTERISTICS and EPIDEMIOLOGY	**Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU** **Dr. Öğr. Üyesi Çağrı AVCİ**
3	PACKAGE BEE SYSTEM AND REFLECTIONS OF BEEKEEPING SECTOR IN TÜRKİYE	**Dr., EKİN VAROL** **Prof. Dr., BANU YÜCEL**
4	THE ROLE OF WASPS IN THE ECOSYSTEM AND FIGHTING METHODS FOR CONTROLLING WASPS	**Dr., EKİN VAROL** **Prof. Dr., BANU YÜCEL**
5	SIĞIRLARDA BABESİOSİS HASTALIĞININ PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ	**Dr. NİHAT YUMUŞAK**
6	KÜÇÜK RUMİNANTLARDA EKTİMA HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR	**Dr. NİHAT YUMUŞAK**
7	ALG KAYNAKLI İMMÜNOSTİMÜLANLARIN BALIK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ	**Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN** **Doç. Dr. ŞAMİL ÖZTÜRK**
8	ALG BİYOREFİNERİLERİ VE DÖNGÜSEL BİYOEKONOMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR BİYOBAZLI ENDÜSTRİLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM	**Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN** **Doç. Dr. ŞAMİL ÖZTÜRK**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall 4**	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Lecturer Eray Mert TEKİN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SABİT KANAT İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA NAVİGASYON LED SİSTEMLERİNİN İRTİFAYA BAĞLI TERMAL PERFORMANS ANALİZİ	**Elektrik Elektronik Mühendisi, Alperen Haydar IŞIK** **Prof Dr. İsmail KIYAK**
2	A COMPARATIVE REVIEW OF RIGID ANTENNA STRUCTURES FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS (WBAN) AND WEARABLE COMMUNICATION SYSTEMS: DESIGN APPROACHES, ELECTROMAGNETIC PERFORMANCE, AND HUMAN BODY INTERACTION	**Prof. Dr. Ali AKDAĞLI** **Lecturer Eray Mert TEKİN**
3	MATERIAL, MECHANICAL, AND ELECTROMAGNETIC CO-DESIGN IN FLEXIBLE AND TEXTILE WEARABLE ANTENNAS: FABRICATION METHODS, DEFORMATION ROBUSTNESS, AND REAL-USE VALIDATION	**Lecturer Eray Mert TEKİN** **Prof. Dr. Ali AKDAĞLI**
4	A CNN-BASED FRAMEWORK FOR RECOGNITION OF TURKISH-SPECIFIC HANDWRITTEN CHARACTERS	**Doç. Dr. Ebru Ergün** **İdrishan Demirdağ,** **Fazilet Kazdal**
5	RADYOİŞARETLİ İBUPROFEN YÜKLÜ PLGA NANOPARÇACIKLARININ SENTEZLENMESİ	**YL. Öğr., DİLBESTE KARAMAN** **Prof. Dr., KÜBRA TOPALOĞLU**
6	A REAL-TIME HYBRID DRIVER MONITORING APPROACH BASED ON THE INTEGRATED ANALYSIS OF BEHAVIORAL AND PHYSIOLOGICAL DATA	**Connectivity & Smart Devices Specialist, MUSTAFA ERDEM MEMİŞ**
7	THE ROLE OF BIOSENSOR-BASED DETECTION SYSTEMS WITHIN THE CBRN DEFENCE OFFICER'S AREA OF RESPONSIBILITY: GLOBAL DOCTRINES AND IMPLEMENTATION DIFFERENCES	**Hüseyin DiRIM** **Abdullah ÖZKAN**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 5	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assistant Professor, GİZEM KAÇAROĞLU		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	PREDICTION OF BUILDING DAMAGE STATES FOLLOWING THE 6 FEBRUARY 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES USING MACHINE LEARNING: AN INTEGRATED ANALYSIS OF SOIL AND STRUCTURAL PARAMETERS	**Civil Engineer, Ozan DEMİR**
2	2018 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ PERFORMANS HEDEFLERİNİN MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ	**AYKUT SAYILIR** **Doç.Dr. KAAN TÜRKER**
3	EFFECTS OF SHORT-TERM AGING ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF WASTE FISH FRYING OIL-MODIFIED BITUMEN	**Lecturer, Öznur KARADAĞ**
4	IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND MOISTURE RESISTANCE OF HOT ASPHALT MIXTURES BY USING WASTE FOUNDRY SAND IN BITUMEN MODIFICATION	**Assistant Professor, GİZEM KAÇAROĞLU**
5	KÜTAHYA'DAKİ KÜÇÜK ÖLÇEKLİ MOBİLYA ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ÇALIŞANLARIN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNE İLİŞKİN ALGILARI	**Prof. Dr. Hamza ÇINAR** **Selim KILIÇARSLAN**
6	ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE PEYZAJ TASARIMLARININ ÖĞRENCİLERİN PSİKOLOJİK YÖNDEN İYİ OLUŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	**Peyzaj Mimarlığı Yüksek Lisans, DİLARA KAYALI** **Prof.Dr. ELVAN ENDER ALTAY**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 6	**DATE** 7 Ağustos / August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Asst. Prof. Dr., YILMAZ MERT		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	RECENT TREND COVALENT ORGANIC FRAMEWORKS (COFS) IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT	**Assistant lecturer,Fatimah Kanaan Fateh FATEH** **Assistant lecturer , Payman Sarwat Ali ALDAWOODI**
2	DESIGN AND CHARACTERIZATION OF METAL–ORGANIC FRAMEWORK ENCAPSULATED LEVOFLOXACIN FOR ANTIOXIDANT APPLICATIONS	**Assistant lecturer,Fatimah Kanaan Fateh FATEH** **Ayşe YILDIRIM** **Prof.Dr.Elif ÖZYILMAZ**
3	CONSTRAINED MIXTURE-DESIGN MODELLING AND MULTI-RESPONSE OPTIMISATION OF DETONATION PERFORMANCE IN HMX/TNT MELT-CAST EXPLOSIVES WITH INERT AND ENERGETIC BINDERS	**Asst. Prof. Dr., YILMAZ MERT** **Asst. Prof. Dr., IBRAHIM KORKUT**
4	PRODUCTION AND FORMULATION OF A NOVEL, GREEN AND PHENOL-FREE OFFSET INK RESIN	**ÖZLEN GÖKÇE ÇELİK** **Assoc. Prof. Dr. CANAN URAZ**
5	CAROB (CERATONIA SILIQUA L.) AND ITS BY-PRODUCTS AS FUNCTIONAL RAW MATERIALS IN ANIMAL NUTRITION: NUTRITIONAL PROPERTIES, ANTIOXIDANT CAPACITY, AND EFFECTS ON HEALTH AND SUSTAINABILITY	**Dr. Ziraat Mühendisi Betül ÇELİK**
6	VALORIZATION OF PROTEIN-RICH AGRO-FOOD BY-PRODUCTS FOR SUSTAINABLE FOOD AND FEED APPLICATIONS: CURRENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES	**PhD Agricultural Engineer Betül ÇELİK** **PhD Food Engineer İdil TEKİN** **PhD Food Engineer Ayça AKYÜZ**
7	FARKLI AZOTLU GÜBRE DOZ VE FORMLARININ İTALYAN ÇİMİNİN (Lolium multiflorum L.) YEŞİL OT VERİMİ VE BAZI VERİM UNSURLARI ÜZERİNE ETKİLERİ	**Nail SARIYEV**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall 7**	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Gulbahor Saidova		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN	**Prof. Dr. Akmal Rakhimov** **Dilnoza Karimova** **Dr. Bekzod Tursunov**
2	MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES	**Assoc. Prof. Dr. Gulbahor Saidova** **Shakhnoza Ergasheva**
3	IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES	**Dr. Rakesh Verma** **Anjali Deshpande** **Prof. Dr. Suresh Iyer**
4	NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA	**Assoc. Prof. Dr. Kavita Sharma** **Rahul Nair**
5	PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENI URBAN AREAS	**Prof. Dr. Ahmed Al-Hakimi** **Saeed Al-Mutairi** **Dr. Huda Al-Yemeni**
6	HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENI REGIONS	**Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Sabri** **Mariam Al-Qadhi**
7	THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING PRIMARY HEALTHCARE DELIVERY IN YEMEN	**Dr. Nasser Al-Hadhrami** **Fatima Al-Sharabi** **Yahya Al-Maqtari**
8	ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK FACTORS IN LIBYAN ADULT POPULATION	**Prof. Dr. Omar Al-Fitouri** **Salma Benghazi**
9	MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN POST-CONFLICT LIBYA	**Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Misrati** **Aisha Zliten**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 8	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Kunal Verma		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN	**Malika Yusupova Prof. Dr. Bekzod Karimov** **Dr. Dilnoza Tashpulatova** **Javlon Ergashev**
2	CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES	**Assoc. Prof. Dr. Rustam Abdullaev**
3	GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH	**Dr. Ananya Chatterjee** **Rohit Sharma** **Prof. Dr. Vivek Menon**
4	ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS	**Dr. Kunal Verma** **Priya Nair**
5	ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS	**Dr. Ahmed Al-Hakimi** **Noor Al-Haddad**
6	POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN	**Dr. Saleh Al-Mutairi** **Huda Al-Qadhi**
7	INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS	**Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Amri** **Samira Al-Yamani** **Dr. Tariq Al-Shami**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 9	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Andrei Cojocaru		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ADVANCED LOW-POWER MICROCONTROLLER DESIGN FOR EMBEDDED SYSTEMS IN MOLDOVAN SMART DEVICES	**Dr. Andrei Cojocaru** **Diana Munteanu**
2	WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA	**Prof. Dr. Ion Brinza** **Elena Cebotari** **Victor Rusu**
3	DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY	**Dr. Rahman Siddique** **Farhana Islam** **Mahmudul Hasan** **Prof. Dr. Kamal Uddin**
4	DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH	**Assoc. Prof. Dr. Nusrat Jahan** **Tariq Mahmud**
5	FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA	**Samira Benali** **Yacine Meziane Prof. Dr. Karim Ould Ahmed**
6	DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS	**Dr. Rachid Bensouilah** **Amel Zerhouni**
7	APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA	**Dr. Nabil Khelifi** **Youssef Boukhalfa** **Dr. Lina Haddadi**
8	FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE	**Prof. Dr. Oleksandr Kovalenko** **Iryna Shevchenko**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 10	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assis. Prof. Dr. Mourad Ziani		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS	**Assoc. Prof. Dr. Elena Rotaru** **Sergiu Munteanu**
2	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS	**Prof. Dr. Ion Luca** **Maria Ceban** **Andrei Vicol**
3	RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH	**Dr. Rahman Siddique** **Farzana Akter** **Mahmudul Hasan** **Tariq Islam**
4	SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH	**Dr. Kamal Uddin** **Nusrat Jahan**
5	DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA	**Dr. Ahmed Benali** **Samira Toumi** **Yacine Boudiaf**
6	AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS	**Assoc. Prof. Dr. Karim Belhadi** **Lina Cherif** **Nadir Meziane** **Salima Ould**
7	SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING	**Assis. Prof. Dr. Mourad Ziani** **Amina Ferhat**
8	PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES	**Dr. Oleksandr Shevchenko** **Iryna Kovalenko** **Mykola Bondar**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 11	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Rania Mostafa		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOONOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA	**Dr. Ana Marinescu**
2	ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS	**Dr. Sorin Georgescu** **Prof. Dr. Andrei Popa** **Dr. Elena Ionescu** **Mihai Dumitrescu**
3	PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS	**Dr. Youssef El Idrissi** **Fatima Zahra Bennani** **Khalid Amrani**
4	VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO CONTROL RABIES IN NORTH AFRICAN URBAN AREAS	**Dr. Hassan Alaoui** **Nadia El Fassi**
5	MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN EGYPTIAN POULTRY FARMS	**Dr. Mahmoud Abdelrahman** **Salma Hassan** **Prof. Dr. Tarek El-Sayed**
6	NUTRITIONAL MANAGEMENT AND GROWTH PERFORMANCE IN CAMELS UNDER ARID EGYPTIAN CONDITIONS	**Assoc. Prof. Dr. Hany Farouk Omar Khalifa** **Mona Fathy**
7	ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN DAIRY CATTLE PATHOGENS IN EGYPT	**Dr. Rania Mostafa** **Ahmed Nabil** **Assis. Prof. Dr. Kareem Adel**
8	DIAGNOSTIC IMAGING TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL VETERINARY PRACTICE IN UKRAINE	**Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko** **Iryna Kovalenko Olha Tkachenko**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 1 – Hall** 12	**DATE** August 7 , 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-COMMUNIST ROMANIAN CITIES	**Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sherif** **Mona Hassan** **Karim Abdelrahman**
2	ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN BUCHAREST METROPOLITAN AREA	**Dr. Youssef El Amrani** **Fatima Zahra El Idrissi** **Hassan Benali** **Nadia Tazi**
3	TRADITIONAL MOROCCAN COURTYARD ARCHITECTURE AND ITS CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN PRINCIPLES	**Prof. Dr. Khalid Bouhaddou** **Samira Lahlou**
4	URBAN MORPHOLOGY AND INFORMAL SETTLEMENT DEVELOPMENT IN CASABLANCA PERIPHERIES	**Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu** **Radu Georgescu**
5	PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE	**Prof. Dr. Andrei Popa** **Elena Ionescu** **Mihai Dumitrescu**
6	SMART CITY IMPLEMENTATION AND HERITAGE CONSERVATION IN HISTORIC CAIRO DISTRICTS	**Dr. Laila Naguib** **Youssef Hamdy** **Nour El-Din Farouk**
7	WATERFRONT URBAN DESIGN AND RESILIENCE STRATEGIES ALONG THE NILE RIVER IN EGYPT	**Prof. Dr. Mahmoud El-Gohary** **Salma Fathy**
8	POST-WAR RECONSTRUCTION AND URBAN IDENTITY IN UKRAINIAN CITIES	**Dr. Natalia Bondarenko** **Andrii Melnyk**
9	ENERGY-EFFICIENT RESIDENTIAL BUILDING DESIGN IN COLD CLIMATE REGIONS OF UKRAINE	**Dr. Oleksandr Kovalenko** **Iryna Shevchenko** **Dmytro Hrytsenko**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 1	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	BİTKİLERİN CANLI OLMADIĞINA İLİŞKİN KAVRAM YANILGILARININ STEM TEMELLİ ve ARDUİNO DESTEKLİ ÖĞRETİM SÜRECİ BAĞLAMINDA İNCELENMESİ	**Ayyüce Beyza ADIR**
2	OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMINDA KİTAPLARIN YERİ	**Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN**
3	RESİMLİ ÇOCUK KİTAPLARININ SOSYAL ADALET ARACI OLARAK KULLANILMASINA YÖNELİK OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ GÖRÜŞLERİ	**Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN**
4	AN INVESTIGATION OF PRE-SERVICE TEACHERS' STATE TEST ANXIETY LEVELS: A MIXED METHODS STUDY	**Graduate Student, EMİNE KESKİN** **Prof. Dr. CENK AKAY**
5	AN INVESTIGATION OF HIGH SCHOOL STUDENTS' LEARNING AGILITY LEVELS: A MIXED METHODS STUDY	**Master's Student, Ümmü KAHRAMAN KIR** **Prof. Dr. Cenk AKAY**
6	MİNİNG AND THE MİNİNG PROFESSİON İN THE OTTOMAN EMPİRE	**Yüksek Lisans Öğrencisi Gamze DOĞRAMACI**
7	YABANCILARA TÜRKÇE ÖĞRETİMİNDE KULLANILABİLECEK YAPAY ZEKÂ KAYNAKLI KÜLTÜREL PROMPTLARIN CEFR DÜZEYLERİNE GÖRE KAVRAMSAL AÇIDAN DEĞERLENDİRMESİ	**Öğr. Gör. Dr. Mesut TOPRAK** **Doç. Dr. Sıddık BAKIR**
8	YABANCILARA TÜRKÇE ÖĞRETİMİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KÜLTÜREL PROMPT HAVUZU: TEMATİK BİR SINIFLANDIRMA ÖNERİSİ	**Öğr. Gör. Dr. Mesut TOPRAK** **Doç. Dr. Sıddık BAKIR**

No: 1

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 2	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr.Öğr. Üyesi Ramazan SANLAV		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	LOJİSTİK 4.0 PERSPEKTİFİNDEN OTONOM VE AKILLI LOJİSTİKTE YAPAY ZEKA, BLOCKCHAIN VE DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİLERININ ROLÜ: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	**Büşra Kutlu** **Dr. Öğr. Üyesi, Bilge Meydan**
2	THE DIDEROT EFFECT IN CONSUMER PURCHASING: AN EMPIRICAL EXAMINATION OF HARMONY, STATUS, AND INTEGRITY TENDENCIES	**Dr. Serhat ATA**
3	DIGITAL TRANSFORMATION OF PRODUCTION MANAGEMENT IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY: THE EVOLUTION OF ENTERPRISE RESOURCE PLANNING SYSTEMS AND INTEGRATION WITH EMERGING TECHNOLOGIES	**Muhammed Mustafa GÖKTAŞ** **Doç. Dr. Kasım YILMAZ**
4	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİN İŞ BULMA KAYGI DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	**Dr.Öğr. Üyesi Ramazan SANLAV** **Prof Dr.Ünsal TAZEGÜL**
5	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİN SAĞLIK OKURYAZARLIK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	**Dr.Öğr.Üyesi Ramazan SANLAV** **Öğr.Gör.Merve Ferah TAZEGÜL**

No: 5

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 3	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Doç. Dr. TAŞKIN DENİZ YILDIZ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	KURULUŞTAN 50. YILINA TÜBİTAK	**Dr., SELÇUK KILINÇ**
2	VUCA DÜNYASINDA ÇALIŞANLARIN ÇEVİK LİDERLİK ALGISI: BİR DEVLET ÜNİVERSİTESİ'NDE ARAŞTIRMA	**BETÜL YÜKSEKBAŞ** **Prof. Dr. MURAT KOÇ** **Dr. Öğr. Üyesi YONCA BİR** **Doç. Dr. TAŞKIN DENİZ YILDIZ**
3	YEREL YÖNETİMLERDE YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİMİ: DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TARİHSEL SÜREÇ	**Doktora Öğrencisi NİLAY YALÇIN**
4	A COUNTRY-DEPENDENT RETRIEVAL-AUGMENTED CONVERSATIONAL AI SYSTEM FOR TURKISH CRIMINAL LAW	**Maram O.M Aljauidi** **Prof.Dr. MEHMET, HİLAL ÖZCANHAN**
5	SOCIAL MEDIA LAW and INFLUENCER CONTRACT	**Dr. Sevtap Yücel**
6	AN ASSESSMENT OF LEGAL PROVISIONS IN FAVOUR OF WOMEN IN WORK LIFE WITHIN THE FRAMEWORK OF PRINCIPLE OF EQUALITY	**Dr.Öğretim Üyesi DİLAN MIZRAK**
7	OYUN YAZILIMI İLE OYUN TASARIMI ARASINDAKİ ETKİLEŞİM: İTERATİF GELİŞTİRME SÜRECİNE YÖNELİK BİR DEĞERLENDİRME	**Doç. Dr. Semih SALMAN**

No: 4

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 4	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Öğr. Üyesi İLTER CEBECİ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	HEITOR VILLA-LOBOS' S CONTRIBUTIONS TO CLASSICAL GUITAR MUSIC	**Dr. Öğr. Üyesi İLTER CEBECİ**
2	CLASSICAL MUSIC PERFORMANCE IN THE AGE OF DIGITAL PLATFORMS: THE RELATIONSHIP BETWEEN MODELING, IMITATION, AND INDIVIDUAL INTERPRETATION	**Dr. Öğr. Üyesi SERKAN AĞIR**
3	THE EFFECTS OF SLEEP DEPRIVATION ON VOICE QUALITY IN PROFESSIONAL AND AMATEUR SINGERS AND EMPLOYED COPING STRATEGIES	**Doç. Dr. Alper ŞAKALAR** **R. Eda ARSAN**
4	FAHİM BEY VE BİZ ROMANINDA MODERN SÖYLEMDE İRONİ	**Beyzanur IRKIÇATAL**
5	RISK SOCIETY AND GEOENGINEERING IN KIM STANLEY ROBINSON'S THE MINISTRY FOR THE FUTURE	**Öğretim Görevlisi, BÜŞRA TATAROĞLU**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 5	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ALGORITHMS, MEDIA, AND OTHERNESS: VULNERABLE GROUPS FROM THE PERSPECTIVE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE PHILOSOPHY	**Dr. Aslı KAPROL**
2	AZERBAYCAN'DA ETNİK KİMLİĞİN SÜREKLİLİĞİ VE DÖNÜŞÜMÜ: ÇOĞUNLUK VE AZINLIK GRUPLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	**Doç. Dr., BEHRAM HASANOV**
3	19.YÜZYIL OSMANLI EKONOMİSİNDE SOSYAL YARDIMLARIN İKTİSADİ ORGANİZASYONU: DARÜLACEZE'NİN KURULUŞU VE FİNANSMANI	**Dr.Araş.Gör. MUSTAFA CAN GÜRİPEK**
4	YENİDOĞAN YOĞUN BAKIM SÜRECİNDE SİSTEMİN DIŞINDA KALAN EBEVEYN: BABALAR	**Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet**
5	AKIL YÜRÜTME NORMLARI VE BİLİŞSEL ÖNYARGILAR: FELSEFİ VE BİLİŞSEL BİR PERSPEKTİF	**Hatice BÜYÜKGÖZE**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 6	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00 – 17: 00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Öğretim Üyesi MEHMET ALİ YÜKSEL		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ZAMANSAL İNDİRGEME, SÜRDÜRÜLEBİLİR TÜKETİM VE ÇEVRE POLİTİKALARI: DAVRANIŞ EKONOMİSİ PERSPEKTİFİNDEN BİR KAVRAMSAL ANALİZ	**Dr. Kader EROL** **Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR**
2	KAYIPTAN KAÇINMA, SAHİPLİK ETKİSİ VE SADAKAT PROGRAMI TASARIMI: DAVRANIŞ PAZARLAMASİ VE DAVRANIŞ FİNANSI PERSPEKTİFİNDEN BİR KAVRAMSAL ANALİZ	**Doç. Dr. Sezen Güngör,** **Dr. Kader EROL**
3	AVRUPA BİRLİĞİ TASARRUF VE YATIRIM BİRLİĞİ (SAVINGS AND INVESTMENTS UNION) STRATEJİSİ ÇERÇEVESİNDE TÜRKİYE-AB FİNANSAL PİYASA ENTEGRASYONUNUN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	**Dr. Öğr. Üyesi Eda KAYHAN** **Dr. Younes GHOLİZADEH**
4	MAVİ VATAN VİZYONU AKDENİZ VE EGE'DEKİ JEOPOLİTİK DENKLEMİ DEĞİŞTİREBİLİR Mİ?	**Dr. Öğretim Üyesi MEHMET ALİ YÜKSEL**
5	ABD-İRAN GERİLİMİNİN ORTA DOĞU GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	**Dr. Çağlar ÖZER**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall 7**	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	CLIMATE CHANGE IMPACTS ON COASTAL EROSION PATTERNS ALONG TUNISIAN MEDITERRANEAN SHORELINES	**Prof. Dr. Amel Ben Salem** **Karim Trabelsi** **Nadia Jrad** **Hassen Karray**
2	WATER RESOURCE MANAGEMENT CHALLENGES IN TUNISIA'S SOUTHERN OASES UNDER DROUGHT CONDITIONS	**Assoc. Prof. Dr. Lilia Hachicha** **Mohamed Neji** **Sahar Ben Ali**
3	GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF BLACK SEA COASTAL DELTAS IN GEORGIA	**Dr. Giorgi Tsiklauri** **Nino Chikhradze** **Levan Beridze**
4	URBAN HEAT ISLAND EFFECTS AND LAND USE CHANGES IN TBILISI METROPOLITAN REGION	**Prof. Dr. Mariam Gelashvili** **Irakli Lomidze** **Tamar Kapanadze**
5	TROPICAL CYCLONE INTENSITY FORECASTING MODELS FOR SINGAPORE STRAIT MARITIME SAFETY	**Assoc. Prof. Dr. Wei Tan** **Dr. Mei Ling** **Rajesh Kumar**
6	MANGROVE ECOSYSTEM MAPPING AND CARBON SEQUESTRATION IN SINGAPORE COASTAL WETLANDS	**Siti Rahman** **Prof. Dr. Lim Hock**
7	ATLAS MOUNTAINS GLACIER RETREAT PATTERNS AND HYDROLOGICAL IMPLICATIONS IN MOROCCO	**Prof. Dr. Fatima Zahraoui** **Youssef Bennani** **Amina El-Khatib**
8	DESERTIFICATION PROCESSES AND LAND DEGRADATION IN MOROCCO'S PRE-SAHARA REGIONS	**Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma** **Nadia Belghiti**
9	URBAN EXPANSION DYNAMICS AND SPRAWL ANALYSIS IN CASABLANCA METROPOLITAN AREA	**Dr. Omar Lahlou** **Karim Alami** **Laila Souissi**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 8	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Gulmira Tulegenova		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	LEGAL REFORMS AND JUDICIAL INDEPENDENCE IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN: CHALLENGES AND PROSPECTS	**Aidos Saparov** **Dr. Gulmira Tulegenova** **Nursultan Zhaksybek** **Yermek Sadykov**
2	DIGITALIZATION OF LEGAL SERVICES AND E-GOVERNANCE FRAMEWORKS IN KAZAKHSTAN	**Dr. Dana Beketova** **Aruzhan Kairat**
3	HUMAN RIGHTS PROTECTION AND CONSTITUTIONAL LAW DEVELOPMENTS IN MODERN ALGERIA	**Prof. Dr. Karim Benyahia** **Dr. Samira Ould Ahmed** **Yacine Meziane**
4	CRIMINAL LAW REFORMS AND ANTI-CORRUPTION POLICIES IN ALGERIAN PUBLIC ADMINISTRATION	**Dr. Nadia Belkacem** **Rachid Touati**
5	ISLAMIC LAW AND CONTEMPORARY FAMILY LAW PRACTICES IN MOROCCAN SOCIETY	**Prof. Dr. Hassan El Idrissi** **Amina Lahlou** **Youssef Benjelloun**
6	COMMERCIAL LAW AND FOREIGN INVESTMENT REGULATIONS IN MOROCCO'S EMERGING MARKETS	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra El Amrani** **Karim Ouazzani**
7	ENVIRONMENTAL LAW AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES IN MOROCCO	**Dr. Omar El Fassi** **Salma Bennani** **Prof. Dr. Rachid El Khatib**
8	POST-CONFLICT LEGAL RECONSTRUCTION AND TRANSITIONAL JUSTICE IN LIBYA	**Prof. Dr. Mahmoud Al-Tarhuni** **Dr. Salwa Benghazi** **Fathi Al-Misrati**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 9	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Leila Bensouda		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	MACROECONOMIC EFFECTS OF ENERGY SUBSIDY REFORMS ON HOUSEHOLD WELFARE IN IRAN	**Dr. Mahsa Ebrahimi** **Ali Hosseinzadeh Dr. Reza Karimi**
2	DIGITAL ECONOMY EXPANSION AND ITS IMPACT ON EMPLOYMENT STRUCTURES IN IRANIAN URBAN AREAS	**Assoc. Prof. Dr. Nima Jafari** **Sara Rahmani**
3	TRADE LIBERALIZATION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS IN ALGERIAN MANUFACTURING SECTORS	**Prof. Dr. Karim Benali** **Nadia Zerhouni** **Yacine Belkacem**
4	PUBLIC INVESTMENT STRATEGIES AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN ALGERIA'S NON-OIL SECTORS	**Dr. Samir Bouzid** **Amel Haddad**
5	SUSTAINABLE TOURISM ECONOMICS AND REGIONAL DEVELOPMENT IN MOROCCAN COASTAL CITIES	**Youssef Benkirane Prof. Dr. Hassan El Fassi** **Amina Lahlou**
6	AGRICULTURAL VALUE CHAINS AND RURAL INCOME DISTRIBUTION IN MOROCCO	**Assoc. Prof. Dr. Rachid Amrani** **Fatima Zahra El Idrissi** **Omar El Mokhtar**
7	FINANCIAL INCLUSION AND MICROFINANCE IMPACT ON WOMEN ENTREPRENEURSHIP IN MOROCCO	**Dr. Leila Bensouda** **Khalid Tazi**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 10	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Sophia Nikolaou		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	DIGITAL PEDAGOGY TRANSFORMATION AND ONLINE LEARNING EFFECTIVENESS IN IRANIAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS	**Prof. Dr. Ibrahim Musa** **Amina Abdullahi**
2	CURRICULUM INNOVATION AND CRITICAL THINKING DEVELOPMENT IN IRANIAN SECONDARY EDUCATION	**Nima Karimi Assoc. Prof. Dr. Zahra Mohammadi**
3	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND CLASSROOM TECHNOLOGY INTEGRATION IN NIGERIAN SCHOOLS	**Dr. Chinedu Okafor** **Ngozi Eze** **Sani Bello**
4	ACCESS TO QUALITY EDUCATION IN RURAL NIGERIA: CHALLENGES AND POLICY SOLUTIONS	**Prof. Dr. Mohammad Reza Farhadi** **Dr. Leila Hosseini** **Amir Tavakoli**
5	STUDENT-CENTERED LEARNING APPROACHES IN GREEK UNIVERSITIES AND THEIR IMPACT ON ACADEMIC SUCCESS	**Nikos Stavros Assoc. Prof. Dr.** **Dimitrios Papadakis** **Eleni Georgiou**
6	THE ROLE OF EDUCATIONAL LEADERSHIP IN SCHOOL IMPROVEMENT IN CONTEMPORARY GREECE	**Dr. Maria Konstantinou** **Theo Angelopoulos**
7	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH SPECIAL NEEDS IN GREEK PRIMARY SCHOOLS	**Prof. Dr. Ioannis Karalis** **Dr. Sophia Nikolaou** **Dr. Alexandros Petrou**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 11	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Marija Ristovska		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	MACROECONOMIC INSTABILITY AND INFLATION DYNAMICS IN ZIMBABWEAN POST-DOLLARIZATION PERIOD	**Prof. Dr. Tendai Muchengeti** **Dr. Rumbidzai Chari** **Kudakwashe Zhou**
2	FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES AND MOBILE BANKING ADOPTION IN RURAL ZIMBABWE	**Assoc. Prof. Dr. Nyasha Gwarada** **Tatenda Moyo**
3	FOREIGN DIRECT INVESTMENT FLOWS AND ECONOMIC GROWTH PATTERNS IN NORTH MACEDONIA	**Dr. Elena Naumovska** **Prof. Dr. Aleksandar Petreski** **Ivan Trajanov**
4	LABOR MARKET TRANSFORMATIONS AND YOUTH UNEMPLOYMENT CHALLENGES IN MACEDONIAN ECONOMY	**Dr. Marija Ristovska** **Stefan Nikolov**
5	TRADE LIBERALIZATION AND EXPORT DIVERSIFICATION IN THE TUNISIAN ECONOMY	**Yassine Mejri** **Prof. Dr. Hatem Ben Salem** **Dr. Amel Ghariani**
6	SMALL AND MEDIUM ENTERPRISE DEVELOPMENT AND ACCESS TO FINANCE IN TUNISIA	**Assis. Prof. Dr. Salim Khlifi** **Nour Ben Youssef**
7	TOURISM-LED ECONOMIC DEVELOPMENT AND REGIONAL INCOME DISTRIBUTION IN GEORGIA	**Dr. Giorgi Abashidze** **Nino Kvaratskhelia**
8	EXCHANGE RATE VOLATILITY AND ITS IMPACT ON FOREIGN TRADE IN GEORGIAN MARKETS	**Nino Kvaratskhelia Dr. Tamar Shengelia** **Levan Mikeladze** **Ana Japaridze**

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL **Session 2– Hall** 12	**DATE** August 7, 2026	**TIME** Ankara: 15: 30 – 17: 30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Ioana Marinescu		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	EDUCATIONAL LEADERSHIP AND TEACHER DEVELOPMENT IN DIGITAL TRANSFORMATION ERA	**Prof. Dr. Amira Ben Youssef** **Dr. Salma Khelifi** **Dr. Hichem Trabelsi** **Rim El Amri**
2	INCLUSIVE CLASSROOM PRACTICES AND STUDENT ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION SETTINGS	**Assoc. Prof. Dr. Nizar Ben Ali** **Dr. Marwa Jaziri**
3	ASSESSMENT REFORM AND COMPETENCY-BASED LEARNING IN ROMANIAN SECONDARY EDUCATION	**Dr. Ioana Marinescu**
4	DIGITAL PEDAGOGY AND CURRICULUM INNOVATION IN ROMANIAN UNIVERSITIES	**Prof. Dr. Mihai Ionescu** **Dr. Alina Dumitrescu** **Dr. Radu Georgescu**
5	ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS AND ACADEMIC INTEGRITY IN INDIAN HIGHER EDUCATION	**Assis. Prof. Dr. Ananya Sharma** **Assoc. Prof. Dr. Vikram Mehta** **Dr. Neha Khanna**
6	PROJECT-BASED LEARNING AND STUDENT MOTIVATION IN INDIA'S RURAL SCHOOLS	**Dr. Priya Nair** **Dr. Suresh Iyer** **Dr. Kavita Reddy**
7	EDUCATIONAL REFORM AND QUALITY ASSURANCE IN KAZAKHSTANI TEACHER TRAINING SYSTEMS	**Dr. Aigerim Sadykova** **Assoc. Prof. Dr. Timur Zhandosov** **Dr. Aisulu Nurlan**
8	MULTILINGUAL EDUCATION AND LEARNING OUTCOMES IN KAZAKHSTAN	Dr. Marat Ospanov Dr. Gulnaz Karimova
9	STEM COMPETENCY DEVELOPMENT AND FUTURE SKILLS IN KAZAKHSTANI SCHOOLS	**Assoc. Prof. Dr. Almas Zhumabayev** **Dr. Saule Tulegen** **Dr. Yerlan Aitbayev**

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Contents

DYNAMIC MODELING OF CONIC SECTIONS AND THEIR TRANSFORMATIONS USING MAPLE LEARNING OBJECTS 1

INVESTIGATION OF COMBINATORICS AND PERMUTATIONS WITH INTERACTIVE MAPLE SIMULATIONS 14

MULTİPL MİYELOMA'YA (MM) YÖNELİK EKSOZOMAL miRNA PROFİLLERİNE DAYALI MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI TANI ARACI 26

THE ABILITY OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-TRAINED SOLAR WIND PARAMETERS TO GENERATE THE DST (nT) ZONAL INDEX THROUGHOUT DIFFERENT GEOMAGNETIC STORMS 36

CUBIC BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL OF COVID ACTIVE CASES OF JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA 44

VERİ-ADAPTİF STANCU PARAMETRELİ BDS OPERATÖRÜNÜN FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNE UYGULANMASI 63

SİVİL SAVUNMA VE İTFAİYECİLİK ÖĞRENCİLERİNDE KAN YOLUYLA BULAŞAN PATOJENLERE YÖNELİK BİLGİ, TUTUM VE KORUYUCU DAVRANIŞLAR: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA 75

APPLICATIONS OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE FOOD INDUSTRY 86

RISK-BASED QUALITY MANAGEMENT AND FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR FOOD TESTING LABORATORIES 99

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMINDA KİTAPLARIN YERİ 108

RESİMLİ ÇOCUK KİTAPLARININ SOSYAL ADALET ARACI OLARAK KULLANILMASINA YÖNELİK OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ GÖRÜŞLERİ 118

RELATIONSHIP BETWEEN ANKLE DORSIFLEXION RANGE OF MOTION AND LOWER EXTREMITY PERFORMANCE IN FOOTBALL PLAYERS 126

DETERMINATION OF CULTURE CONDITIONS FOR PROTEASE PRODUCTION BY Bacillus zhangzhouensis ASP ISOLATED FROM TRADITIONAL ERZURUM MOLDY CHEESE 139

SERBEST GEZEN KÖY TAVUKLARINDA BULAŞICI LARENGOTRAKEİT VİRÜSÜ (ILTV) ENFEKSİYONU: GENOMİK ÖZELLİKLER VE EPİDEMİYOLOJİ 148

VİROLOJİ LABORATUVARLARINDA LABORATUVAR BİLGİ YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İŞ AKIŞI VE BİYOLOJİK RİSKLİ NUMUNE YÖNETİMİNE ETKİLERİ 156

EKOSİSTEMDE YABAN ARILARININ YERİ ve YABAN ARILARI İLE MÜCADELE YÖNTEMLERİ 166

PAKET ARICILIK SİSTEMİ VE TÜRKİYE ARICILIK SEKTÖRÜNE YANSIMASI 180

SIĞIRLARDA BABESİOSİS HASTALIĞININ PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ 193

KÜÇÜK RUMİNANTLARDA EKTİMA HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR 197

ALG KAYNAKLI İMMÜNOSTİMÜLANLARIN BALIK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ 200

ALG BİYOREFİNERİLERİ VE DÖNGÜSEL BİYOEKONOMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR BİYOBAZLI ENDÜSTRİLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM 206

SABİT KANAT İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA NAVİGASYON LED SİSTEMLERİNİN İRTİFAYA BAĞLI TERMAL PERFORMANS ANALİZİ 211

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

MATERIAL, MECHANICAL, AND ELECTROMAGNETIC CO-DESIGN IN FLEXIBLE AND TEXTILE WEARABLE ANTENNAS: FABRICATION METHODS, DEFORMATION ROBUSTNESS, AND REAL-USE VALIDATION..... 227

A COMPARATIVE REVIEW OF RIGID ANTENNA STRUCTURES FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS (WBAN) AND WEARABLE 243

A CNN-BASED FRAMEWORK FOR RECOGNITION OF TURKISH-SPECIFIC HANDWRITTEN CHARACTERS 258

RADYOİŞARETLİ İBUPROFEN YÜKLÜ PLGA NANOPARÇACIKLARININ SENTEZLENMESİ 270

A REAL-TIME HYBRID DRIVER MONITORING APPROACH BASED ON THE INTEGRATED ANALYSIS OF BEHAVIORAL AND PHYSIOLOGICAL DATA 271

KBRN OLAYLARINDA SAVUNMA SUBAYININ SORUMLULUK ALANINDA BIYOSENSÖR TABANLI TESPIT SISTEMLERININ YERI: KÜRESEL DOKTRINLER VE UYGULAMA FARKLLKLARI 284

6 ŞUBAT KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE BİNA HASAR DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: ZEMİN VE YAPI PARAMETRELERİNİN BÜTÜNLEŞİK ANALİZİ..... 300

PREDICTION OF BUILDING DAMAGE STATES FOLLOWING THE 6 FEBRUARY 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES USING MACHINE LEARNING: AN INTEGRATED ANALYSIS OF SOIL AND STRUCTURAL PARAMETERS 301

2018 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ PERFORMANS HEDEFLERİNİN MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 302

EFFECTS OF SHORT-TERM AGING ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF WASTE FISH FRYING OIL-MODIFIED BITUMEN 317

IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND MOISTURE RESISTANCE OF HOT ASPHALT MIXTURES BY USING WASTE FOUNDRY SAND IN BITUMEN MODIFICATION 328

KÜTAHYA'DAKİ KÜÇÜK ÖLÇEKLİ MOBİLYA ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ÇALIŞANLARIN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNE İLİŞKİN ALGILARI 341

"Recent Trend Covalent Organic Frameworks (COFs) in Sustainable Development"..... 351

Design and Characterization of Metal–Organic Framework Encapsulated Levofloxacin for Antioxidant Applications 352

CONSTRAINED MIXTURE-DESIGN MODELLING AND MULTI-RESPONSE OPTIMISATION OF DETONATION PERFORMANCE IN HMX/TNT MELT-CAST EXPLOSIVES WITH INERT AND ENERGETIC BINDERS..... 353

PRODUCTION AND FORMULATION OF A NOVEL, GREEN AND PHENOL-FREE OFFSET INK RESIN..... 373

HAYVAN BESLEMEDE FONKSİYONEL HAMMADDE OLARAK KEÇİBOYNUZU (*CERATONİA SİLİQUA* L.) VE YAN ÜRÜNLERİ: BESİNSEL ÖZELLİKLERİ, ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ, SAĞLIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİLERİ 374

SÜRDÜRÜLEBİLİR GIDA VE YEM UYGULAMALARI İÇİN PROTEİN BAKIMINDAN ZENGİN TARIM-GIDA YAN ÜRÜNLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ..... 376

VALORIZATION OF PROTEIN-RICH AGRO-FOOD BY-PRODUCTS FOR SUSTAINABLE FOOD AND FEED APPLICATIONS: CURRENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES..... 377

FARKLI AZOTLU GÜBRE DOZ VE FORMLARININ İTALYAN ÇIMININ (LOLIUM MULTIFLORUM L.) YEŞIL OT VERIMI VE BAZI VERIM UNSURLARI ÜZERINE ETKILERI..... 379

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN 380

MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES 381

IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES 382

NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA .. 383

PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENI URBAN AREAS 384

HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENI REGIONS 385

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN 386

CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES 387

GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH ... 388

ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS 389

ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS 390

POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN 391

INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS 392

WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA 393

DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY 394

DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH 395

FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA 396

DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS 397

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA ... 398

FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE 399

SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS 400

CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS 401

RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH 402

SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH 403

DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA 404

AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS ... 405

SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING 406

PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES 407

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOONOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA 408

ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS 409

PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS 410

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
August 7 – 9, 2026 – IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DYNAMIC MODELING OF CONIC SECTIONS AND THEIR TRANSFORMATIONS USING MAPLE LEARNING OBJECTS

MAPLE ÖĞRENME NESNELERİ İLE KONİK KESİTLER VE DÖNÜŞÜMLERİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU

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

Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK

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

ÖZET

Bu çalışmada, Maple yazılımı kullanılarak konik kesitlerin ve geometrik dönüşümlerinin dinamik modellenmesine yönelik etkileşimli bir öğrenme nesnesi geliştirilmiştir. Elips, hiperbol ve parabol modelleri; öteleme, dönme ve ölçekleme dönüşümleriyle birlikte ele alınmış, öğrencilerin konik denklemleri ile geometrik görünümler arasındaki ilişkiyi eş zamanlı olarak incelemeleri amaçlanmıştır. Maple'ın plots, plottools, implicitplot3d, spacecurve ve DocumentTools:-Explore bileşenleri kullanılarak konik eğriler hem düzlemde dönüşüme uğrayan nesneler hem de koni-düzlem kesiti fikrini destekleyen üç boyutlu yapılar olarak görselleştirilmiştir.

Geliştirilen öğrenme nesnesi, yarı eksen uzunlukları, odak-parametre ilişkileri, merkez konumu, dönme açısı ve ölçekleme katsayılarının gerçek zamanlı değiştirilmesini sağlamaktadır. Böylece öğrenciler, katsayı ve parametre değişimlerinin koniğin biçimine, konumuna ve yönelimine nasıl yansıdığını doğrudan gözlemleyebilmektedir. Çalışma, Maple tabanlı dinamik modellemenin analitik geometri öğretiminde çoklu temsil, keşfetme ve kavramsal ilişki kurma bakımından etkili bir öğrenme ortamı oluşturabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Maple, Konik Kesitler, Geometrik Dönüşümler, Dinamik Modelleme, Öğrenme Nesnesi

ABSTRACT

This study develops an interactive learning object for the dynamic modeling of conic sections and geometric transformations using Maple. Ellipse, hyperbola, and parabola models are examined together with translation, rotation, and scaling transformations in order to help learners investigate the relationship between algebraic equations and geometric representations simultaneously. Maple components such as plots, plottools, implicitplot3d, spacecurve, and DocumentTools:-Explore are used to visualize conic curves both as transformed plane objects and as three-dimensional structures that support the cone-plane intersection interpretation.

The developed learning object enables real-time manipulation of semi-axis lengths, focal-parameter relations, center position, rotation angle, and scaling factors. Thus, learners can

directly observe how changes in coefficients and parameters affect the shape, location, and orientation of a conic. The study indicates that Maple-based dynamic modeling can provide an effective learning environment for multiple representations, exploration, and conceptual connection in analytic geometry instruction.

Keywords: Maple, Conic Sections, Geometric Transformations, Dynamic Modeling, Learning Object

1. GİRİŞ

Konik kesitler, analitik geometri öğretiminde cebirsel denklemler ile geometrik temsil arasındaki ilişkinin en açık biçimde görülebildiği temel konulardan biridir. Elips, hiperbol ve parabol; bir yandan ikinci dereceden denklemlerle ifade edilirken, diğer yandan odak, doğrultman, merkez, eksen ve asimptot gibi geometrik bileşenlerle anlam kazanır. Bu nedenle konik kesitlerin öğretimi, öğrencilerin yalnızca denklem çözme becerilerini değil, matematiksel nesneleri farklı temsil biçimleri arasında yorumlama becerilerini de geliştirmektedir.

Konik kesitlerin geleneksel öğretiminde çoğu zaman standart denklemler, grafik çizimleri ve belirli örnekler üzerinden ilerlenmektedir. Ancak merkez ötelemesi, eksenlerin dönmesi veya ölçekleme gibi dönüşümler eklendiğinde öğrencilerin denklemdeki değişimin grafikteki karşılığını zihinsel olarak canlandırması zorlaşabilmektedir. Duval'a (2006) göre matematiksel anlamanın önemli bir boyutu, sembolik, grafiksel ve sözel temsiller arasında dönüşüm yapabilme yeterliğidir. Bu bağlamda konik kesitler, çoklu temsil yaklaşımının uygulanması için son derece uygun bir öğrenme alanı sunmaktadır.

Görselleştirme, konik kesitlerin kavramsal olarak anlaşılmasında merkezi bir role sahiptir. Arcavi (2003), görsel temsillerin matematiksel düşünmede yalnızca yardımcı bir araç değil, aynı zamanda anlam kurma sürecinin aktif bir bileşeni olduğunu vurgulamaktadır. Koniklerin dinamik olarak dönmesi, taşınması veya ölçeklenmesi; öğrencilerin değişmeyen özellikleri ve dönüşümle değişen özellikleri ayırt etmesine yardımcı olabilir.

Maple, sembolik hesaplama, grafik çizimi ve etkileşimli belge geliştirme olanaklarını bir araya getiren güçlü bir matematik yazılımıdır. Maplesoft yardım dokümantasyonunda plots paketinin iki ve üç boyutlu grafikler için, plottools paketinin geometrik nesneler ve dönüşümler için, DocumentTools:-Explore komutunun ise parametrelerle etkileşimli öğrenme nesneleri oluşturmak için kullanılabildiği belirtilmektedir (Maplesoft, 2025a, 2025b, 2025c). Bu özellikler, Maple'ı konik kesitler ve dönüşümlerinin dinamik modellenmesi için uygun bir ortam haline getirmektedir.

Konik kesitlerin üç boyutlu kökeni, bir koninin farklı düzlemlerle kesilmesi fikrine dayanır. Elips, hiperbol ve parabolün yalnızca düzlem eğrileri olarak değil, koni-düzlem kesitleri olarak da ele alınması öğrencilerin konunun geometrik bütünlüğünü kavramasına katkı sağlar. Bu nedenle geliştirilen öğrenme nesnesinde konik eğrinin düzlemdeki dönüşümü ile 3B koni modeli aynı sahnede bir araya getirilmiştir.

Analitik geometri öğretiminde konik kesitlerin standart formları çoğu zaman merkez orijindeyken ve eksenler koordinat eksenlerine paralelken tanıtılır. Bu başlangıç düzeyi anlaşılır

olmakla birlikte, gerçek problem durumlarında konikler çoğunlukla ötelenmiş, döndürülmüş veya ölçeklenmiş biçimlerde ortaya çıkar. Öğrencinin standart formdan genel forma geçebilmesi için dönüşümlerin denklem üzerindeki cebirsel etkisini ve grafik üzerindeki geometrik karşılığını birlikte görebilmesi gerekir. Dinamik modelleme, bu geçişi durağan çizimlere göre daha görünür hale getirir.

Dönme dönüşümü, konik kesitler konusunda özellikle öğretimsel açıdan zorlayıcıdır. Çünkü eksenlerin döndürülmesiyle birlikte denklemde karma terim olarak bilinen Bxy terimi ortaya çıkabilir ve öğrenciler bu terimin geometrik anlamını sezmekte zorlanabilir. Maple ortamında dönme açısının kademeli olarak değiştirilmesi, öğrencilerin Bxy terimini yalnızca cebirsel bir ayrıntı olarak değil, eksen yöneliminin doğal sonucu olarak yorumlamalarına yardımcı olabilir. Böylece dönüşüm matrisi, denklem katsayıları ve grafik görünümü arasında anlamlı bir bağ kurulabilir.

Konik kesitlerin 3B koni modeliyle ilişkilendirilmesi, öğrencilerin elips, parabol ve hiperbolü birbirinden kopuk üç ayrı eğri olarak görmesini engelleyebilir. Aynı koni yüzeyinin farklı düzlemlerle kesilmesi sonucunda farklı konik türlerinin oluştuğunun gösterilmesi, kavramlar arasında bütünlük kurar. Bu yaklaşım, görsel temsilin matematiksel düşünmedeki rolünü vurgulayan çalışmalarla da uyumludur (Arcavi, 2003; Zimmermann ve Cunningham, 1991).

Bu bağlamda Maple öğrenme nesneleri, öğrencinin yalnızca hazır grafiği izlemesini değil, parametrelerle etkileşime girerek matematiksel yapıyı sorgulamasını sağlayabilir. Öğrenci yarı eksen uzunluğunu artırdığında elipsin nasıl genişlediğini, dönme açısını değiştirdiğinde eksenlerin nasıl yön değiştirdiğini veya konik türünü değiştirdiğinde aynı 3B sahnenin nasıl farklılaştığını doğrudan gözlemleyebilir. Bu tür etkileşimli deneyimler, Tall'un (2009) dinamik matematik ortamlarının kavramsal yapıları ilişkilendirme gücüne ilişkin görüşleriyle örtüşmektedir.

Bu çalışma, Maple ortamında konik kesitlerin ve geometrik dönüşümlerin etkileşimli biçimde incelenmesine yönelik bir öğrenme nesnesi tasarlamayı amaçlamaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, konik türü, yarı eksen uzunlukları, öteleme, dönme ve ölçekleme parametrelerini tek bir arayüzde birleştirerek öğrencilerin denklem-parametre-grafik ilişkisini dinamik olarak incelemelerine olanak tanımasıdır.

2. AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Maple öğrenme nesneleri aracılığıyla konik kesitlerin ve geometrik dönüşümlerinin dinamik, görsel ve analitik biçimde modellenmesini sağlamaktır. Bu genel amaç doğrultusunda elips, hiperbol ve parabol modellerinin Maple ortamında oluşturulması; öteleme, dönme ve ölçekleme dönüşümlerinin konik grafiklerine etkisinin gösterilmesi; konik denklemleri ile 3B koni-düzlem kesiti yaklaşımı arasında ilişki kurulması hedeflenmiştir.

Alt amaçlar şu şekilde belirlenmiştir: (1) Konik kesitlerin parametrik ve görsel modellerini Maple ortamında üretmek; (2) dönüşüm parametrelerinin grafik üzerindeki etkisini gerçek zamanlı olarak gözlemlemek; (3) koniklerin cebirsel ve geometrik temsillerini aynı öğrenme nesnesinde bütünleştirmek; (4) öğrencilerin analitik geometri kavramlarını keşfetme ve yorumlama becerilerini desteklemek.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. ÖNEM

Konik kesitler, lise ve üniversite düzeyinde analitik geometri, kalkülüs, lineer cebir ve uygulamalı matematik konuları arasında köprü niteliği taşır. Bu nedenle koniklerin yalnızca formüller üzerinden değil, dönüşüm ve modelleme bağlamında ele alınması öğrencilerin daha derin bir kavramsal anlayış geliştirmesine katkı sağlayabilir.

Dönüşümler, matematiksel yapıları değişim altında inceleme fırsatı sunduğu için öğrenme açısından güçlü bir araçtır. Bir elipsin merkezinin ötelenmesi, bir hiperbolün eksenlerinin döndürülmesi veya bir parabolün ölçeklenmesi, öğrencilerin denklemdeki parametrelerin geometrik anlamını doğrudan görmesini sağlar.

Maple tabanlı öğrenme nesnesi, öğretmenin sınıf içinde canlı model oluşturmasına ve öğrencilerin parametreleri değiştirerek hipotez kurmasına imkan verir. Bu yönüyle çalışma, teknoloji destekli analitik geometri öğretimi için uygulanabilir bir model önermektedir.

4. YÖNTEM

4.1. Konik Kesit Modeli

Genel ikinci derece denklem $Ax2 + Bxy + Cy2 + Dx + Ey + F = 0$ biçiminde ifade edilir. Bu denklem katsayılarına bağlı olarak elips, hiperbol, parabol veya özel durumları temsil edebilir. Dönme dönüşümü, Bxy teriminin ortaya çıkmasına veya ortadan kaldırılmasına neden olurken; öteleme dönüşümü merkez ya da tepe noktasının konumunu değiştirir.

Bu çalışmada parametrik gösterimler kullanılmıştır. Elips için $x = h + a\,cos(t)\,cos(\theta) - b\,sin(t)\,sin(\theta)$, $y = k + a\,cos(t)\,sin(\theta) + b\,sin(t)\,cos(\theta)$; hiperbol için cosh ve sinh fonksiyonlarına dayalı iki dal; parabol için ise x ve y koordinatları dönme ve öteleme dönüşümleriyle yeniden tanımlanmıştır.

4.2. Maple Araçları ve Yöntem

Çalışmada plots paketi grafiklerin oluşturulması, plottools paketi geometrik nesnelerin düzenlenmesi, spacecurve komutu parametrik 3B eğrilerin çizilmesi, implicitplot3d komutu koni yüzeyinin gösterilmesi ve DocumentTools:-Explore komutu etkileşimli parametre arayüzünün oluşturulması için kullanılmıştır.

4.3. Uygulanan Matematiksel Yöntemler

Yöntem dört aşamada uygulanmıştır: (1) Konik türünün seçilmesi; (2) ilgili parametrik denklemin Maple içinde tanımlanması; (3) öteleme, dönme ve ölçekleme dönüşümlerinin koordinat ifadelerine uygulanması; (4) elde edilen eğrinin 3B sahnede koni ve kesit düzlemiyle birlikte gösterilmesi.

4.4. Geliştirilen Maple Kodu

Bu çalışmanın merkezinde, konik türünün ve dönüşüm parametrelerinin değiştirilebildiği DocumentTools:-Explore tabanlı Maple öğrenme nesnesi yer almaktadır. Kod, elips, hiperbol

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ve parabol için parametrik eğriler oluşturmakta; dönme açısı, öteleme, ölçekleme ve 3B koni görünümü seçeneklerini aynı arayüzde sunmaktadır.

Kod Listesi: Konik Kesitler ve Dönüşümleri İçin Maple Dinamik Öğrenme Nesnesi

```
restart:
with(plots):
with(plottools):
Conic3DVisual := proc(kind, a, b, h, k, theta, sx, sy)
 local R, t, xexpr, yexpr, zexpr;
 local conic, branch1, branch2, cone, plane, centerPoint;
 local axis1, axis2, projLines, scene;
 local x1, y1, x2, y2, n;
 R := theta*Pi/180;
 # 3B koni yüzeyi
 cone := implicitplot3d(
   z^2 = x^2 + y^2,
   x = -6 .. 6,
   y = -6 .. 6,
   z = -6 .. 6,
   style = patchnogrid,
   color = cyan,
   transparency = 0.75,
   grid = [45, 45, 45]
 );
 # Kesit düzlemi
 plane := plot3d(
   0,
   x = -6 .. 6,
   y = -6 .. 6,
   color = yellow,
   transparency = 0.65,
   grid = [2, 2]
 );
 # Konik türüne göre eğri
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
if kind = "Elips" then
  xexpr := h + sx*a*cos(t)*cos(R) - sy*b*sin(t)*sin(R);
  yexpr := k + sx*a*cos(t)*sin(R) + sy*b*sin(t)*cos(R);
  zexpr := 0;
  conic := spacecurve(
    [xexpr, yexpr, zexpr],
    t = 0 .. 2*Pi,
    color = red,
    thickness = 6
  );
  projLines := seq(
    line(
      [subs(t = 2*Pi*n/24, xexpr),
       subs(t = 2*Pi*n/24, yexpr),
       0],
      [subs(t = 2*Pi*n/24, xexpr),
       subs(t = 2*Pi*n/24, yexpr),
       1.2],
      color = gray,
      thickness = 1
    ),
    n = 0 .. 23
  );
  scene := [conic, projLines];
elif kind = "Hiperbol" then
  xexpr := h + sx*a*cosh(t)*cos(R) - sy*b*sinh(t)*sin(R);
  yexpr := k + sx*a*cosh(t)*sin(R) + sy*b*sinh(t)*cos(R);
  branch1 := spacecurve(
    [xexpr, yexpr, 0],
    t = -1.7 .. 1.7,
    color = blue,
    thickness = 6
  );
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

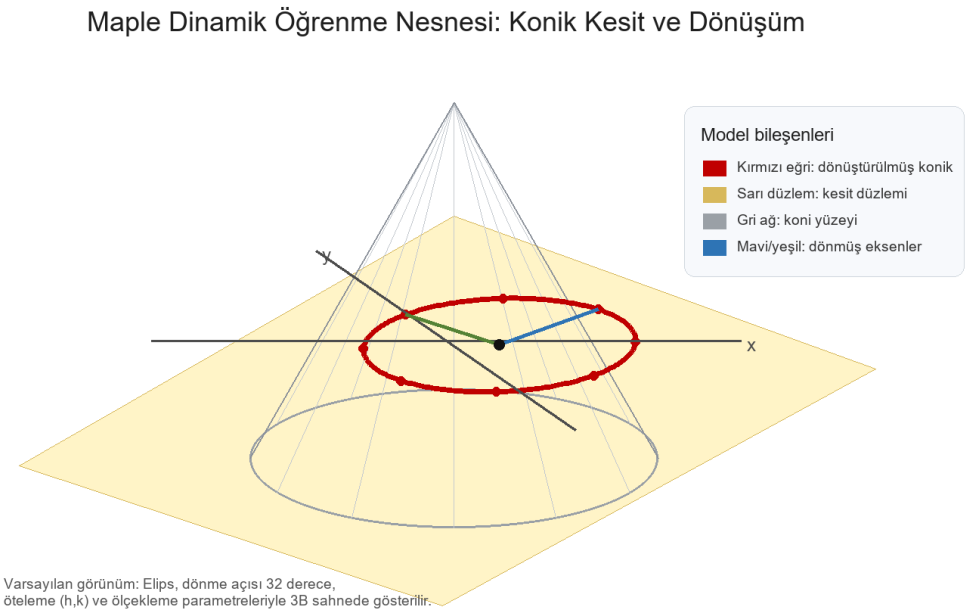
```
  xexpr := h - sx*a*cosh(t)*cos(R) - sy*b*sinh(t)*sin(R);
  yexpr := k - sx*a*cosh(t)*sin(R) + sy*b*sinh(t)*cos(R);
  branch2 := spacecurve(
    [xexpr, yexpr, 0],
    t = -1.7 .. 1.7,
    color = blue,
    thickness = 6
  );
  scene := [branch1, branch2];
else
  xexpr := h + sx*t*cos(R) - sy*(t^2/(4*a))*sin(R);
  yexpr := k + sx*t*sin(R) + sy*(t^2/(4*a))*cos(R);
  conic := spacecurve(
    [xexpr, yexpr, 0],
    t = -5 .. 5,
    color = green,
    thickness = 6
  );
  scene := [conic];
end if;
# Merkez / tepe noktası
centerPoint := point(
  [h, k, 0],
  symbol = solidsphere,
  symbolsize = 18,
  color = black
);
# Dönmüş ana eksen
x1 := h - sx*a*cos(R);
y1 := k - sx*a*sin(R);
x2 := h + sx*a*cos(R);
y2 := k + sx*a*sin(R);
axis1 := line(
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
  [x1, y1, 0.05],
  [x2, y2, 0.05],
  color = magenta,
  thickness = 4
 );
 # Dönmüş yan eksen
 x1 := h + sy*b*sin(R);
 y1 := k - sy*b*cos(R);
 x2 := h - sy*b*sin(R);
 y2 := k + sy*b*cos(R);
 axis2 := line(
  [x1, y1, 0.05],
  [x2, y2, 0.05],
  color = orange,
  thickness = 4
 );
 scene := [op(scene), cone, plane, centerPoint, axis1, axis2];
 display(
  scene,
  axes = boxed,
  labels = ["x ekseni", "y ekseni", "z ekseni"],
  title = cat("3D Maple Konik Kesit Modeli - ", kind,
              " | Dönme Açısı: ", theta, " derece"),
  view = [-7 .. 7, -7 .. 7, -5 .. 6],
  orientation = [55, 65],
  scaling = constrained,
  lightmodel = light4,
  glossiness = 0.7,
  ambientlight = [0.45, 0.45, 0.45]
 );
end proc:
# 1. GÖRSEL 3D ELİPS MODELİ
Conic3DVisual("Elips", 3, 1.6, 0.8, -0.2, 35, 1, 1);
```

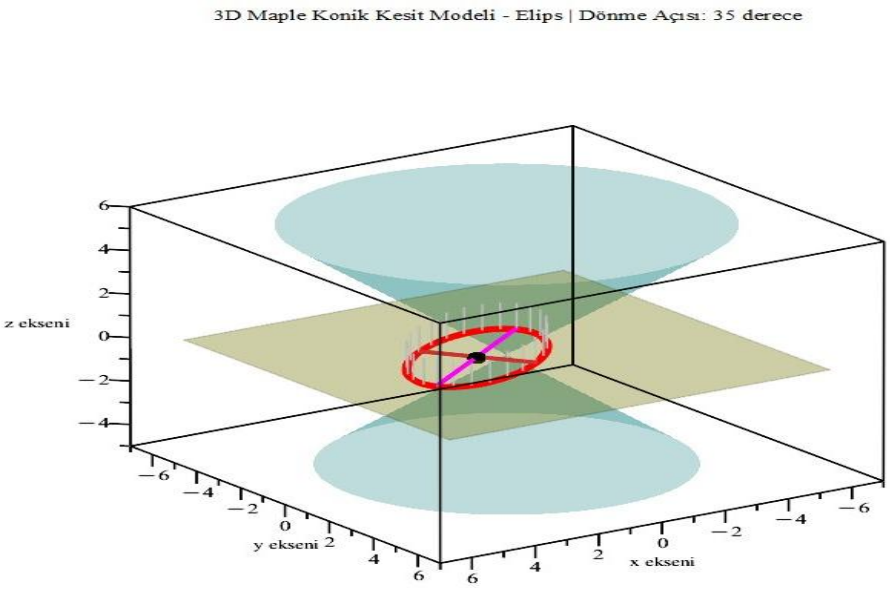
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
# 2. 3D DÖNME ANİMASYONU
animate(
 Conic3DVisual,
 ["Elips", 3, 1.6, 0.8, -0.2, theta, 1, 1],
 theta = 0 .. 180,
 frames = 60
);
# 3. 3D HİPERBOL MODELİ
Conic3DVisual("Hiperbol", 2.2, 1.2, 0, 0, 35, 1, 1);
# 4. 3D PARABOL MODELİ
Conic3DVisual("Parabol", 1.2, 1, 0, -1, 45, 1, 1);
```

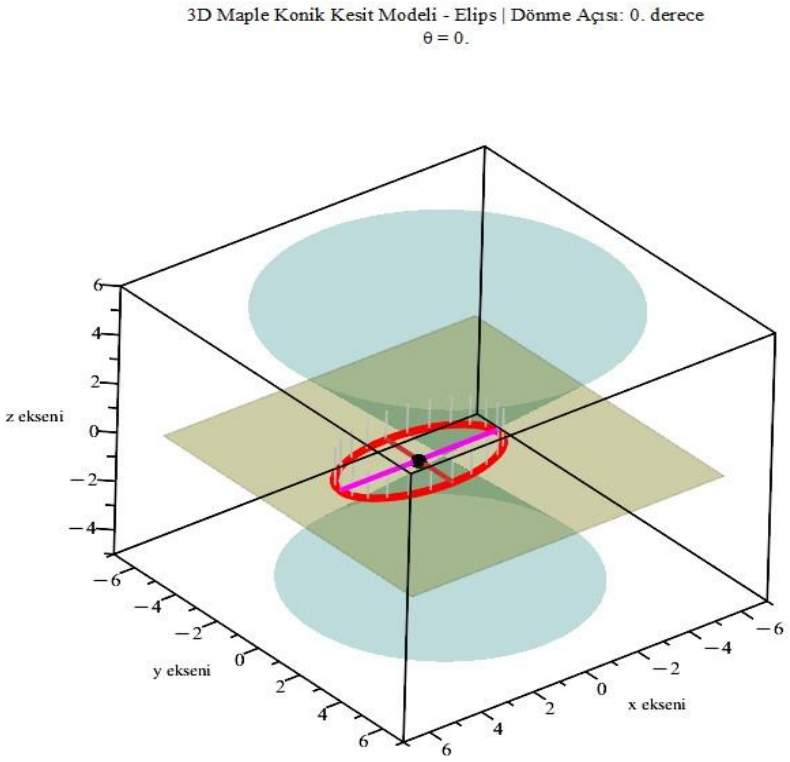


Görsel 1: Dönüştürülmüş Elipsin 3B Gösterimi

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

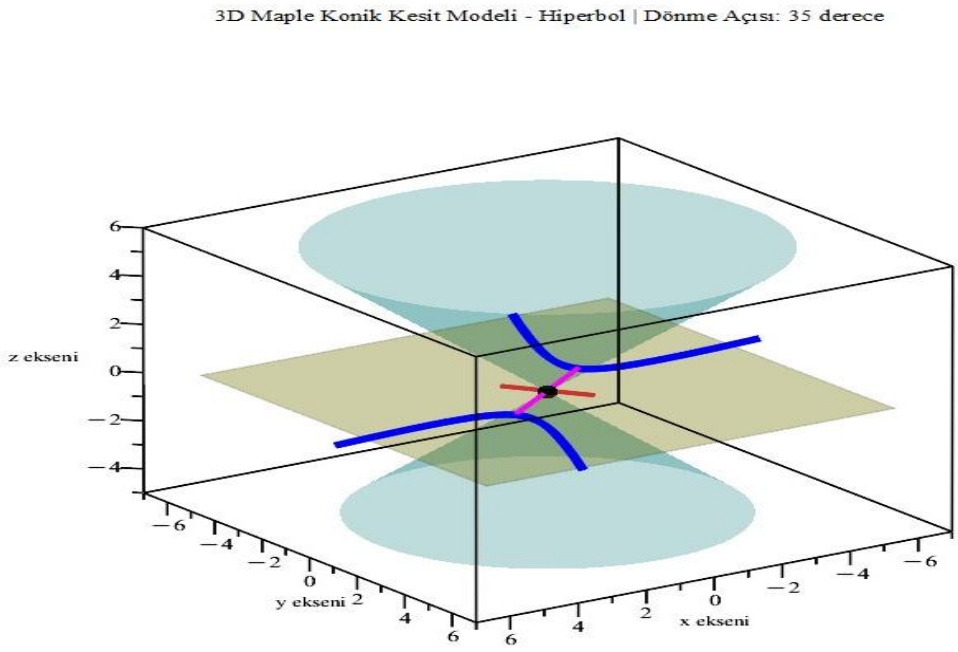


Görsel 2: 3D Maple Konik Kesit Modeli

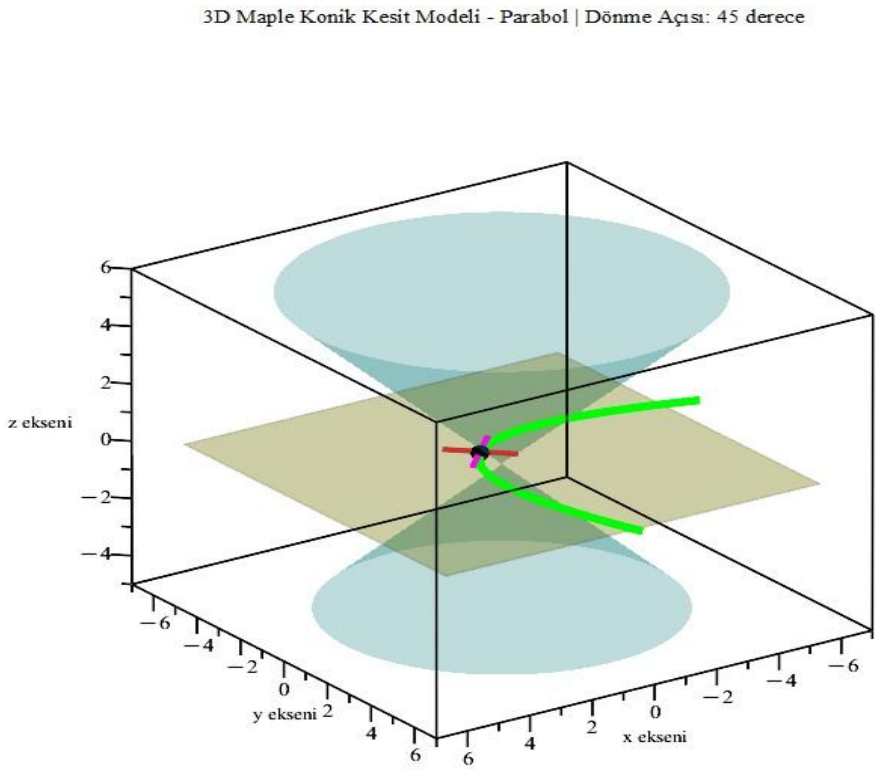


Görsel 3: Elipsin 3B Koni-Kesit Modeli

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 4: 3D Maple Konik-hiperbol



Görsel 5: 3D Konik Kesit Modeli-parabol

5. UYGULAMA AŞAMALARI

5.1. Elips Modelinin Oluşturulması

İlk aşamada elipsin yarı büyük ve yarı küçük eksen uzunlukları belirlenmiş, merkez koordinatları h ve k parametreleriyle kontrol edilmiştir. Dönme açısı artırıldığında elipsin eksen yöneliminin değiştiği, ancak temel biçimin korunduğu gözlemlenmiştir.

5.2. Hiperbol ve Asimptotik Davranış

İkinci aşamada hiperbolün iki dalı cosh ve sinh fonksiyonlarıyla parametrik olarak modellenmiştir. Dönme ve ölçekleme parametreleri değiştirildiğinde dalların açıklığı ve yönelimi farklılaşmış, öğrencilerin hiperbolün asimptotik yapısını yorumlaması desteklenmiştir.

5.3. Parabolün Tepe Noktası ve Açıklığı

Üçüncü aşamada parabol modeli ele alınmıştır. Parametre değişimleriyle tepe noktasının konumu, açıklık yönü ve eğrinin genişliği incelenmiştir. Bu aşama, parabol denklemlerindeki katsayıların geometrik anlamını somutlaştırmıştır.

5.4. 3B Koni-Düzlem Kesiti ile Bütünleştirme

Son aşamada konik eğriler, koni yüzeyi ve kesit düzlemiyle birlikte 3B sahnede gösterilmiştir. Bu temsil, konik kesitlerin düzlem eğrileri olmanın ötesinde üç boyutlu bir geometrik yapının kesitleri olarak anlaşılmasına katkı sağlamıştır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Maple kullanılarak geliştirilen dinamik öğrenme nesnesi, konik kesitlerin ve dönüşümlerinin öğretiminde çoklu temsil yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermiştir. Öğrenciler, konik denklemlerindeki parametrelerin grafik üzerindeki etkisini eş zamanlı olarak izleyebilmekte ve dönüşümlerin geometrik anlamını daha açık biçimde kavrayabilmektedir.

Elde edilen model, özellikle dönme ve öteleme dönüşümlerinin anlaşılması bakımından önemlidir. Çünkü bu dönüşümler standart denklem formundan uzaklaşıldığında öğrenciler için soyut hale gelebilmektedir. Maple arayüzü, bu soyut parametrelerin görsel karşılıklarını dinamik olarak ortaya koymaktadır.

Çalışmanın sınırlılığı, Maple yazılımına erişimin her eğitim ortamında mümkün olmayabilmesidir. Ayrıca dinamik modellerin etkili olabilmesi için öğretim sürecinde yönlendirilmiş sorular, tahmin etkinlikleri ve temsil karşılaştırmalarıyla desteklenmesi gerekir.

Sonuç olarak Maple öğrenme nesneleri, konik kesitler ve geometrik dönüşümler gibi görsel ve kavramsal yoğunluğu yüksek konuların öğretiminde güçlü bir araç olarak kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda geliştirilen modelin sınıf içi uygulamalarla test edilmesi ve öğrencilerin kavramsal başarılarına etkisinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

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

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

[3] Maplesoft, “Maple help: plots package,” 2025. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=plots. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[4] Maplesoft, “Maple help: plottools package,” 2025. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=plottools. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[5] Maplesoft, “Maple help: DocumentTools:-Explore,” 2025. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=DocumentTools/Explore. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[6] Maplesoft, “Maple help: implicitplot3d,” 2025. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=plots/implicitplot3d. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[7] D. Tall, “Dynamic mathematics and the blending of knowledge structures in the calculus,” ZDM Mathematics Education, vol. 41, no. 4, pp. 481–492, 2009, doi: 10.1007/s11858-009-0192-6.

[8] W. Zimmermann and S. Cunningham, Eds., Visualization in Teaching and Learning Mathematics. Washington, DC, USA: Mathematical Association of America, 1991, p. 224.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

INVESTIGATION OF COMBINATORICS AND PERMUTATIONS WITH INTERACTIVE MAPLE SIMULATIONS

ETKİLEŞİMLİ MAPLE SİMÜLASYONLARI İLE KOMBİNATORİK VE PERMÜTASYONLARIN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU

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

Dr. Öğr. Üyesi Zafer ÖZTÜRK

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

ÖZET

Bu çalışmada, Maple yazılımı kullanılarak kombinatorik kavramların ve permütasyonların etkileşimli biçimde incelenmesine yönelik 3D görsel zenginliğe sahip bir öğrenme nesnesi geliştirilmiştir. Çalışmada permütasyonların sıralama yapısı, permütasyon matrisi temsili, faktöriyel büyüme ve binom katsayıları aynı görsel ortamda ele alınmıştır. Maple'ın combinat paketi, pointplot3d, spacecurve, plot3d ve animate komutları kullanılarak öğrencilerin sayma ilkeleri ile görsel temsil arasında ilişki kurmaları amaçlanmıştır.

Geliştirilen simülasyon, n elemanlı bir kümenin permütasyonlarını üç boyutlu yollar, renkli kolonlar ve taban düzlemindeki eşleşme noktalarıyla göstermektedir. Ayrıca binom katsayılarına ait noktalar aynı sahnede ikinci bir sayım katmanı olarak sunulmuş, böylece permütasyon ve kombinasyon kavramlarının benzerlik ve farklılıkları karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Çalışma, Maple tabanlı etkileşimli simülasyonların soyut kombinatorik ilişkileri somutlaştırmada ve öğrencilerin yapısal sayma becerilerini geliştirmede etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Maple, kombinatorik, Permütasyon, 3D Görselleştirme, Etkileşimli Simülasyon

ABSTRACT

This study develops a visually rich 3D interactive learning object for investigating combinatorial concepts and permutations using Maple. The structure of permutations, permutation matrix representation, factorial growth, and binomial coefficients are examined within the same visual environment. Maple commands and packages such as combinat, pointplot3d, spacecurve, plot3d, and animate are used to help learners connect counting principles with visual representations.

The developed simulation represents permutations of an n-element set through three-dimensional paths, colored columns, and matching points on a base plane. Binomial coefficient points are also included as a second counting layer, allowing learners to compare similarities and differences between permutations and combinations. The study indicates that Maple-based interactive

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

simulations can be effective tools for concretizing abstract combinatorial relationships and supporting structural counting skills.

Keywords: Maple, Combinatorics, Permutation, 3D Visualization, Interactive Simulation

1. GİRİŞ

Kombinatorik, matematiğin sayma, düzenleme, seçme ve olasılık temelli düşünme becerilerini geliştiren temel alanlarından biridir. Permütasyonlar ise bu alanın en önemli yapı taşları arasında yer alır; çünkü bir kümenin elemanlarının farklı sıralanışlarını inceleyerek düzen, eşleşme ve olası durum kavramlarını görünür hale getirir. Bu nedenle permütasyon konusu yalnızca bir formül uygulaması değil, aynı zamanda sistematik düşünme ve yapı tanıma sürecidir.

Öğrenciler kombinatorik konularında çoğu zaman $n!$, $P(n,r)$ veya $C(n,r)$ gibi formülleri ezberlemekte, ancak bu formüllerin hangi sayma durumlarını temsil ettiğini kavramakta zorlanabilmektedir. Özellikle permütasyon ile kombinasyon arasındaki fark, sıralamanın önemli olup olmaması üzerinden açıklansa da bu ayrım soyut kaldığında öğrenciler benzer problemlerde hatalı stratejiler kullanabilmektedir. Bu durum, kombinatorik öğretiminde görsel ve etkileşimli temsil ihtiyacını artırmaktadır.

Permütasyonların görsel olarak modellenmesi, bir sıralamanın yalnızca sembolik liste olmadığını göstermeye yardımcı olur. Örneğin [3,5,1,4,2] biçimindeki bir permütasyon, her konumun hangi görüntüye gittiğini belirten bir eşleme olarak düşünülebilir. Bu eşleme bir çizge, permütasyon matrisi, yol veya dönüşüm olarak temsil edildiğinde öğrenciler sıralama kavramını daha yapısal biçimde yorumlayabilir.

Çoklu temsil yaklaşımı, kombinatorik kavramların öğretiminde güçlü bir kuramsal dayanak sağlar. Duval'a (2006) göre matematiksel anlamanın önemli göstergelerinden biri, aynı kavramın farklı temsil biçimleri arasında dönüştürülebilmesidir. Permütasyonların liste, tablo, nokta kümesi, matris ve 3D yol olarak gösterilmesi, öğrencilerin tek bir sembolik forma bağlı kalmadan kavramın temel yapısını anlamalarına katkı sağlar.

Görselleştirme, soyut matematiksel ilişkilerin anlamlandırılmasında yalnızca destekleyici değil, aynı zamanda düşünmeyi örgütleyen bir araçtır. Arcavi (2003), görsel temsillerin matematiksel düşünmenin üretken bir bileşeni olduğunu belirtmektedir. Kombinatorikte bu durum özellikle önemlidir; çünkü küçük n değerlerinde görülebilen düzenler, n büyüdükçe hızlı biçimde karmaşıklaşır ve yalnızca listeleme yöntemiyle takip edilmesi zorlaşır.

Faktöriyel büyüme, kombinatorik öğretiminde öğrencilerin sezgisel olarak kavramakta zorlandığı konulardan biridir. Beş eleman için 120 permütasyon varken altı eleman için 720 permütasyon oluşması, sayma uzayının ne kadar hızlı genişlediğini gösterir. Bu hızlı büyümenin 3D simülasyonla sunulması, öğrencilerin kombinatorik patlama kavramını görsel olarak değerlendirmelerine olanak tanır.

Permütasyon matrisi temsili, her satır ve sütunda yalnızca bir seçimin bulunduğu düzenli bir yapı sunar. Bu yapı, bire bir eşleme fikrini somutlaştırdığı için permütasyonun fonksiyonel yorumunu güçlendirir. Taban düzleminde gösterilen eşleşme noktaları, öğrencilerin konum ve görüntü

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

arasındaki ilişkiyi görmesini sağlarken, 3D kolonlar aynı eşleşmenin büyüklük veya değer katmanını temsil eder.

Kombinasyon ve permütasyon kavramlarının aynı görsel ortamda karşılaştırılması, öğrencilerin sıralı ve sırasız sayma arasındaki farkı daha açık biçimde görmelerini sağlar. Binom katsayılarının ayrı bir 3D nokta katmanı olarak gösterilmesi, seçim sayılarının düzenli bir üçgensel yapı oluşturduğunu ortaya koyar. Böylece öğrenciler permütasyonların sıralama, kombinasyonların ise seçim mantığına dayandığını aynı sahne içinde karşılaştırabilir.

Maple, sembolik hesaplama ve güçlü grafik üretme özelliklerini birleştiren bir matematik yazılımıdır. Maplesoft dokümantasyonuna göre combinat paketi permütasyonlar, kombinasyonlar ve parçalanışlar gibi kombinatorik fonksiyonları içerir (Maplesoft, 2026a). Ayrıca plots paketindeki pointplot3d ve animate komutları üç boyutlu nokta gösterimleri ve animasyonlar üretmek için kullanılabilmektedir (Maplesoft, 2026b, 2026c).

Etkileşimli Maple simülasyonları, öğrencilerin yalnızca sonuçları görmesini değil, parametreleri değiştirerek matematiksel yapıyı keşfetmesini sağlar. n değeri veya permütasyon indeksinin değiştirilmesiyle aynı model içinde farklı sıralamalar gözlemlenebilir. Bu süreç, öğrencilerin örnekler arasında genelleme yapmasına, sayma stratejilerini test etmesine ve permütasyonların yapısal özelliklerini karşılaştırmasına imkan tanır.

Bu çalışma, Maple ortamında kombinatorik ve permütasyonların etkileşimli incelenmesine yönelik 3D görsel ağırlıklı bir öğrenme nesnesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, permütasyon yolu, permütasyon matrisi, renkli değer kolonları ve binom katsayısı katmanını aynı 3D sahnede birleştirerek öğrencilerin soyut sayma ilişkilerini çoklu temsil üzerinden incelemelerine olanak tanımasıdır.

2. AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Maple simülasyonları aracılığıyla kombinatorik ve permütasyon kavramlarının etkileşimli, görsel ve analitik biçimde incelenmesini sağlamaktır. Bu genel amaç doğrultusunda permütasyonların sıralı eşleme yapısını 3D olarak göstermek, permütasyon matrisi temsilini görselleştirmek, faktöriyel büyümeyi ve binom katsayılarını aynı öğrenme nesnesi içinde karşılaştırmak hedeflenmiştir.

Alt amaçlar şu şekilde belirlenmiştir: (1) n elemanlı kümelerin permütasyonlarını Maple ortamında üretmek; (2) seçilen permütasyonu renkli 3D yol ve kolonlarla temsil etmek; (3) permütasyon ve kombinasyon kavramlarını görsel katmanlar aracılığıyla karşılaştırmak; (4) animasyon yoluyla farklı permütasyonlar arasındaki değişimi göstermek.

3. ÖNEM

Kombinatorik konuları, olasılık, ayrık matematik, algoritma analizi ve bilgisayar bilimi açısından temel öneme sahiptir. Bu nedenle öğrencilerin kombinatorik formülleri yalnızca işlem düzeyinde değil, yapısal ve görsel düzeyde de anlamaları gerekir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Permütasyonların 3D modelle gösterilmesi, sıralama ve bire bir eşleme kavramlarını somutlaştırır. Öğrenci, her konumun farklı bir görüntüye gittiğini hem taban düzlemindeki eşleşme noktalarıyla hem de yükseklik değerleriyle görebilir.

Maple tabanlı simülasyon, öğretmenin sınıf içinde canlı örnekler üretmesine, öğrencilerin farklı n değerleri ve permütasyon indeksleriyle çalışmasına ve kombinatorik büyümeyi gözlemlemesine olanak tanır.

4. MATEMATİKSEL MODEL VE YÖNTEM

4.1. Kombinatorik ve Permütasyon Modeli

n elemanlı bir kümenin permütasyonu, kümenin elemanlarının bire bir ve örten biçimde yeniden sıralanmasıdır. Bu çalışmada bir permütasyon p, i konumunu p(i) değerine götüren bir eşleme olarak ele alınmıştır. Böylece permütasyon, hem liste hem de nokta kümesi biçiminde temsil edilebilmiştir.

Permütasyon sayısı n! ile ifade edilirken, r elemanlı seçimler $C(n,r) = \frac{n!}{r!(n-r)!}$ biçiminde tanımlanır.

Bu çalışmada permütasyon yapısı 3D yol ve kolonlarla, binom katsayıları ise ayrı bir 3D nokta katmanı ile gösterilmiştir.

4.2. Maple Araçları ve Yöntem

Çalışmada combinat paketi permütasyon ve binom katsayılarının üretilmesi, pointplot3d üç boyutlu nokta katmanlarının çizilmesi, spacecurve permütasyon yolu ve kolonların oluşturulması, plot3d taban düzleminin gösterilmesi ve animate farklı permütasyonların ardışık olarak izlenmesi için kullanılmıştır.

4.3. Uygulanan Matematiksel Yöntemler

Yöntem dört aşamada uygulanmıştır: (1) n elemanlı kümenin tüm permütasyonları Maple ile üretilmiştir; (2) seçilen permütasyon p(i) eşleşmeleri 3D noktalara dönüştürülmüştür; (3) permütasyon matrisi taban düzleminde, permütasyon yolu ise üst katmanda gösterilmiştir; (4) binom katsayıları ikinci bir sayım katmanı olarak eklenmiş ve animasyonla farklı permütasyonlar arasında geçiş sağlanmıştır.

4.4. Geliştirilen Maple Kodu

Bu çalışmanın merkezinde, permütasyonları ve kombinatorik sayım katmanlarını aynı 3D sahnede gösteren Maple kodu yer almaktadır. Kod, DocumentTools:-Explore kullanmadan doğrudan çalışacak biçimde hazırlanmış; sabit gösterim, animasyon ve farklı n değeriyle örnek üretme seçenekleri sunmuştur.

Kod Listesi: Kombinatorik ve Permütasyonlar İçin 3D Maple Simülasyon Kodu

```
restart:
with(plots):
with(plottools):
with(combinat):
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
Permutasyon3D := proc(n, permIndex)
 local nInt, idxRaw, perms, total, p, i, j, idx;
 local ptsTop, ptsBase, pathLines, verticalLines, basePoints, topPoints;
 local floorPlane, binomPts, binomPlot, binomColumns;
 local axisX, axisY, axisZ, zmax;
 nInt := round(n);
 idxRaw := round(permIndex);
 perms := combinat:-permute([seq(i, i = 1 .. nInt)]);
 total := nops(perms);
 idx := 1 + irem(idxRaw - 1, total);
 p := perms[idx];
 zmax := max(nInt + 2, binomial(nInt, floor(nInt/2)) + 2);
 ptsBase := [seq([i, p[i], 0], i = 1 .. nInt)];
 ptsTop  := [seq([i, p[i], p[i]], i = 1 .. nInt)];
 floorPlane := plot3d(
   0,
   x = 0 .. nInt + 1,
   y = 0 .. nInt + 1,
   color = gold,
   transparency = 0.75,
   grid = [nInt+1, nInt+1]
 );
 verticalLines := [
   seq(
    line(
     [i, p[i], 0],
     [i, p[i], p[i]],
     color = magenta,
     thickness = 6
    ),
    i = 1 .. nInt
   )
 ];
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
pathLines := [
  seq(
   line(
    ptsTop[i],
    ptsTop[i+1],
    color = red,
    thickness = 7
   ),
   i = 1 .. nInt-1
  )
];
basePoints := pointplot3d(
  ptsBase,
  symbol = solidsphere,
  symbolsize = 15,
  color = green
);
topPoints := pointplot3d(
  ptsTop,
  symbol = solidsphere,
  symbolsize = 22,
  color = red
);
binomPts := [
  seq(
   seq(
    [nInt + 1.8, j + 0.35, binomial(i, j)],
    j = 0 .. i
   ),
   i = 0 .. nInt
  )
];
binomPlot := pointplot3d(
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

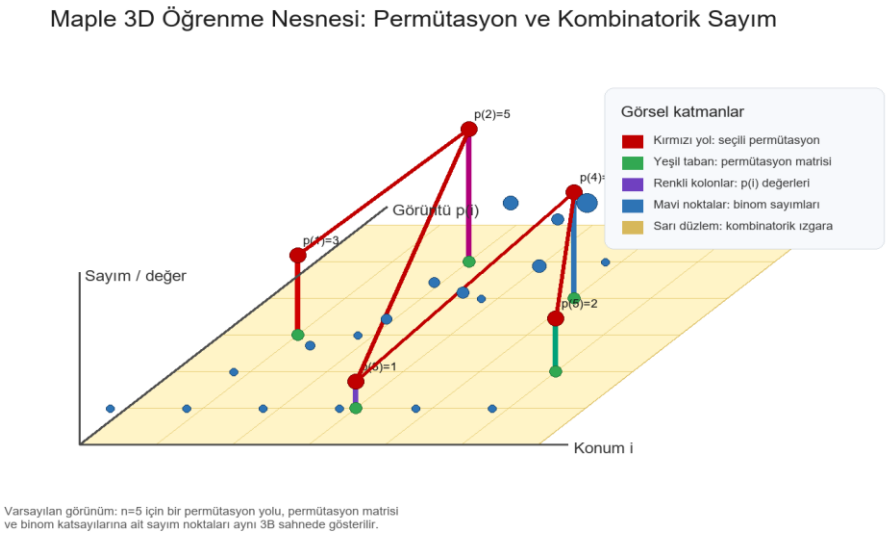
```
  binomPts,
  symbol = solidsphere,
  symbolsize = 14,
  color = cyan
);
binomColumns := [
  seq(
   seq(
    line(
     [nInt + 1.8, j + 0.35, 0],
     [nInt + 1.8, j + 0.35, binomial(i,j)],
     color = cyan,
     thickness = 2
    ),
    j = 0 .. i
   ),
   i = 0 .. nInt
  )
];
axisX := line([0, 0, 0], [nInt + 1, 0, 0], color = black, thickness = 3);
axisY := line([0, 0, 0], [0, nInt + 1, 0], color = black, thickness = 3);
axisZ := line([0, 0, 0], [0, 0, zmax], color = black, thickness = 3);
display(
  [
   floorPlane,
   axisX, axisY, axisZ,
   op(verticalLines),
   op(pathLines),
   basePoints,
   topPoints,
   binomPlot,
   op(binomColumns)
  ],
```

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
  axes = boxed,
  'labels' = ["Konum i", "Goruntu p(i)", "Yukseklik / Sayim"],
  title = cat(
    "3D Permutasyon Simulasyonu | n = ",
    nInt,
    " | Permutasyon No = ",
    idx,
    " / ",
    total
  ),
  view = [0 .. nInt + 3.0, 0 .. nInt + 1.5, 0 .. zmax],
  orientation = [55, 68],
  scaling = constrained,
  lightmodel = light4
 );
end proc:
RenkAciklamasi := proc()
 display(
  [
   textplot([0.5, 2.6, "Sari: permutasyon taban duzlemi"],
     color = gold, font = [TIMES, BOLD, 11]),
   textplot([0.5, 2.3, "Yesil: (i, p(i)) taban eslesme noktalari"],
     color = green, font = [TIMES, BOLD, 11]),
   textplot([0.5, 2.0, "Mor: p(i) degerlerini gosteren dikey kolonlar"],
     color = magenta, font = [TIMES, BOLD, 11]),
   textplot([0.5, 1.7, "Kirmizi: ust katmandaki permutasyon yolu"],
     color = red, font = [TIMES, BOLD, 11]),
   textplot([0.5, 1.4, "Mavi: binom katsayilari ve kombinasyon sayimlari"],
     color = cyan, font = [TIMES, BOLD, 11]),
   textplot([0.5, 1.1, "Siyah: koordinat eksenleri"],
     color = black, font = [TIMES, BOLD, 11])
  ],
  axes = none,
```

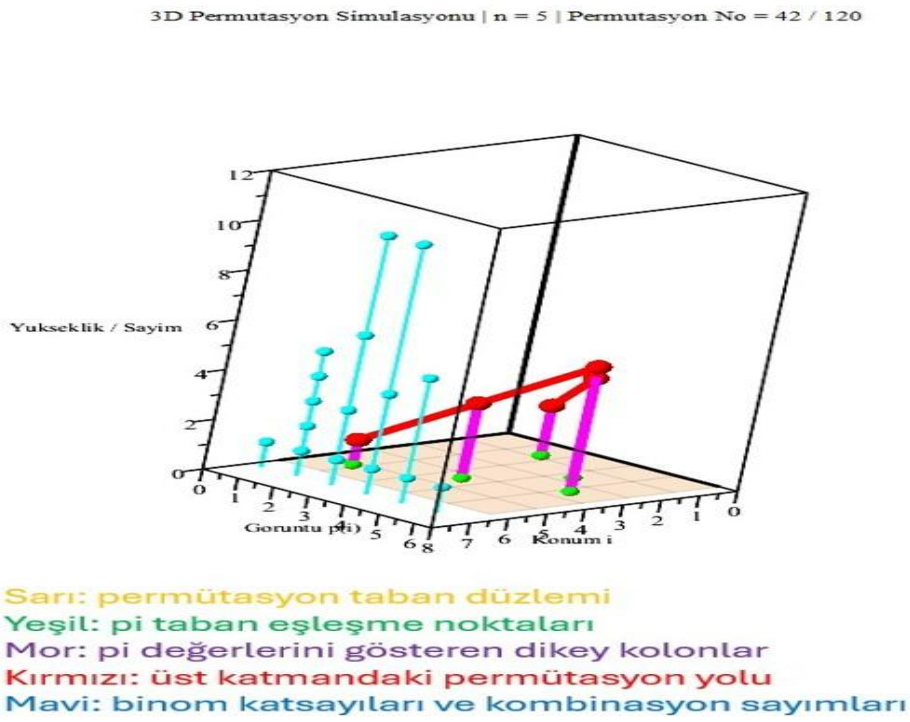
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

```
  view = [0 .. 8.8, 0.95 .. 2.75],
  title = "Renk Aciklamalari"
 );
end proc:
# 1. Once 3D sekil
Permutasyon3D(5, 42);
# 2. Alt alta, az aralikli renk aciklamasi
RenkAciklamasi();
# 3. Permutasyon degisim animasyonu
animate(
 Permutasyon3D,
 [5, k],
 k = 1 .. 60,
 frames = 60
);
# 4. Daha buyuk ornek
Permutasyon3D(6, 137);
RenkAciklamasi();
```

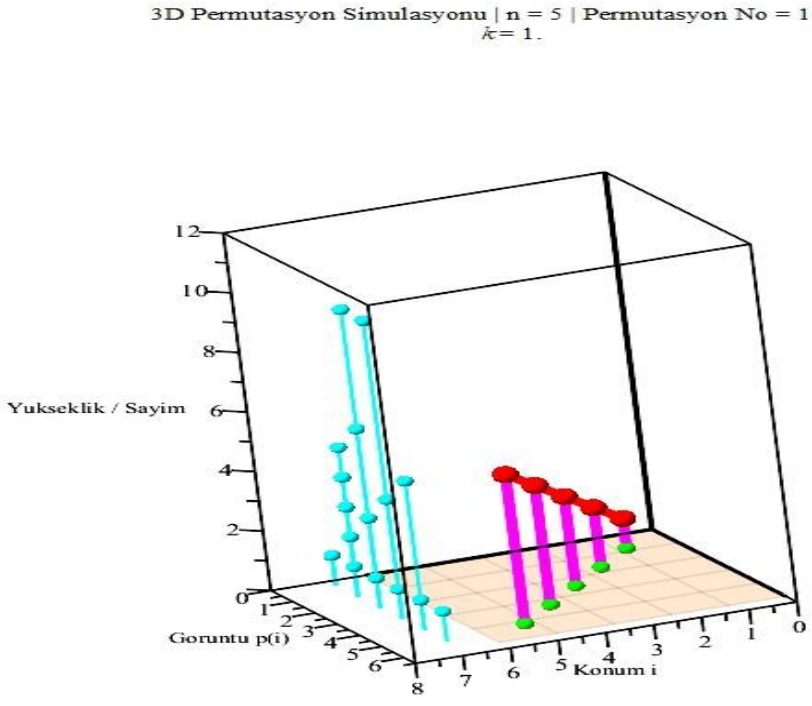


Görsel 1: Permütasyon ve Binom Katsayılarının Maple Tabanlı 3B Görselleştirilmesi

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

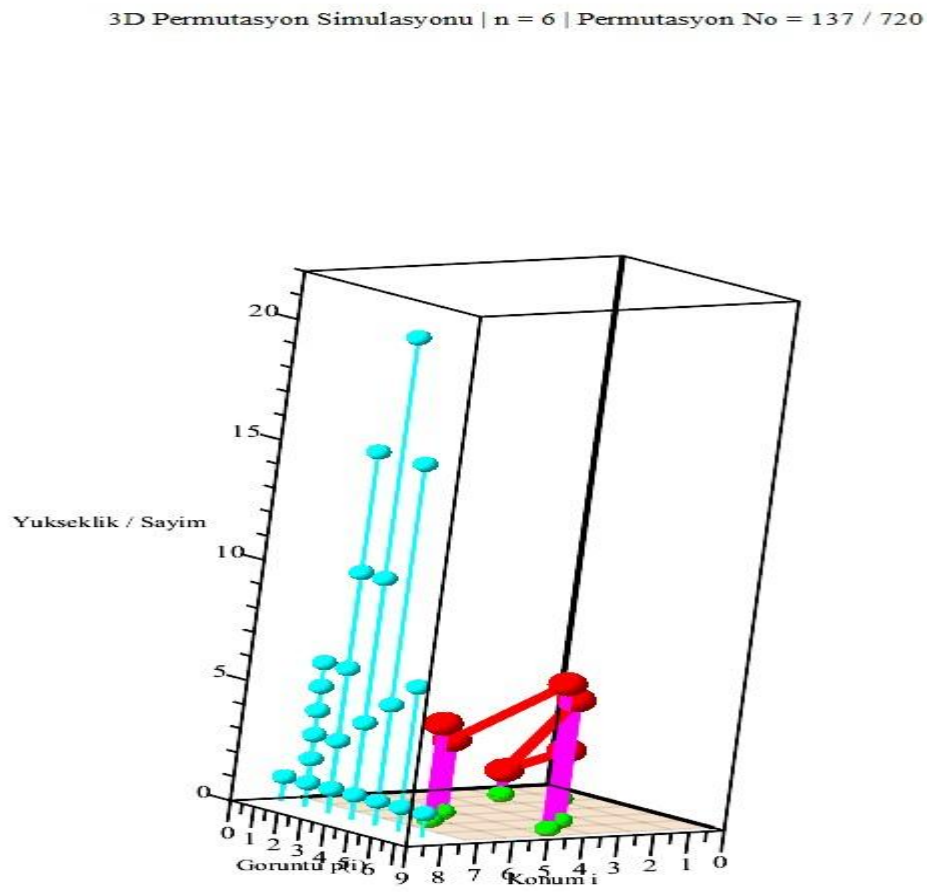


Görsel 2: Maple Ortamında Permütasyon Yapılarının 3B Görselleştirmesi



Görsel 3: Permütasyon Yolu ve Binom Katsayılarının 3B Matematiksel Modeli

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 4: Permütasyon Matrisi ile Binom Katsayılarının Entegre 3B Görselleştirmesi

5. UYGULAMA AŞAMALARI

5.1. Permütasyonların Üretilmesi

İlk aşamada combinat:-permute komutu kullanılarak n elemanlı kümenin tüm permütasyonları üretilmiştir. Seçilen indeks, toplam permütasyon sayısına göre düzenlenmiş ve ilgili permütasyon modelde kullanılmıştır.

5.2. 3D Permütasyon Yolunun Oluşturulması

İkinci aşamada her eşleşme [i, p(i), p(i)] noktasıyla temsil edilmiş ve bu noktalar kırmızı bir 3D yol ile birleştirilmiştir. Renkli kolonlar, her p(i) değerinin büyüklüğünü görsel olarak belirginleştirmiştir.

5.3. Permütasyon Matrisi ve Binom Katmanı

Üçüncü aşamada [i, p(i), 0] noktaları taban düzleminde permütasyon matrisi olarak gösterilmiştir. Aynı sahneye binom katsayıları mavi noktalar halinde eklenerek kombinasyon sayılarıyla karşılaştırma yapılmıştır.

5.4. Animasyon ve Dinamik İnceleme

Son aşamada animate komutu kullanılarak farklı permütasyonlar arasında geçiş yapılmıştır. Böylece öğrenciler sıralama değiştikçe 3D yolun, kolonların ve eşleşme noktalarının nasıl değiştiğini dinamik biçimde gözlemlemiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Maple ile geliştirilen 3D simülasyon, kombinatorik ve permütasyon kavramlarının öğretiminde çoklu temsil yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermiştir. Permütasyonların liste, eşleşme noktası, matris ve 3D yol olarak birlikte gösterilmesi kavramsal bağlantıları güçlendirmektedir.

Permütasyon ve kombinasyon kavramlarının aynı sahnede farklı katmanlarla gösterilmesi, sıralı ve sırasız sayma arasındaki ayrımın daha görünür hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle binom katsayılarının ayrı bir nokta katmanı olarak sunulması, kombinasyonların düzenli sayım yapısını ortaya koymaktadır.

Geliştirilen modelin sınırlılığı, büyük n değerlerinde permütasyon sayısının hızla artması ve görsel karmaşıklığın yükselmesidir. Bu nedenle öğretimsel kullanımda küçük n değerleriyle başlanması, ardından faktöriyel büyümenin tartışılması önerilmektedir.

Sonuç olarak Maple simülasyonları, kombinatorik ve permütasyonların soyut yapısını görsel, dinamik ve keşfetmeye açık bir öğrenme ortamına dönüştürebilir. Gelecek çalışmalarda bu modelin sınıf içi uygulamalarla test edilmesi ve öğrencilerin kombinatorik problem çözme stratejilerine etkisinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

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

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

[3] Maplesoft, “Overview of the combinat package,” Maple Help, 2026. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=combinat. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[4] Maplesoft, “pointplot3d,” Maple Help, 2026. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=plots/pointplot3d. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[5] Maplesoft, “animate,” Maple Help, 2026. [Online]. Available: https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=plots/animate. [Accessed: Jun. 13, 2026].

[6] R. P. Stanley, Enumerative Combinatorics, Vol. 1, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2011.

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

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

MULTİPL MİYELOMA'YA (MM) YÖNELİK EKSOZOMAL miRNA PROFİLLERİNE DAYALI MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI TANI ARACI

A MACHINE LEARNING-BASED DIAGNOSTIC TOOL FOR MULTIPLE MYELOMA (MM) BASED ON EXOSOMAL miRNA PROFILES

NAZLIHAN GÜNEL*
Yıldız Teknik Üniversitesi,
aysenazlihangunel@gmail.com- ORCID ID: 0009-0004-0156-2280

MURAT DÖNMEZ*
Yıldız Teknik Üniversitesi,
muratdn661@gmail.com- ORCID ID: 0009-0008-0764-2002

CEYDA DERE
Yıldız Teknik Üniversitesi,
ceydadere0@gmail.com- ORCID ID: 0009-0009-1395-240X

CEREN NİZAMOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi,
nizamogluceren@gmail.com- ORCID ID: 0009-0008-3467-7913

MERT FURKAN KALKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi,
furkan.kalkan1@std.yildiz.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-3131-3822

ÖZET

Multipl miyelom (MM), kemik iliğinde plazma hücrelerinin kontrolsüz çoğalmasıyla ortaya çıkan ve günümüzde hâlâ kesin olarak tedavi edilemeyen ciddi bir hematolojik kanser türüdür. MM'nin erken teşhisi, hastaların sağkalım oranlarının artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Erken tanıda kullanılabilecek miRNA biyobelirteçlerinin doğrulanması ve klinik uygulamalara entegre edilebilmesi için geniş kapsamlı, çok merkezli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak, MM hastalarına ait serum ekzozomal miRNA profillerini belirleyen çalışmaların kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Ardından model prototip, GSE124489 GEO erişim numaralı veri seti kullanılarak geliştirilmiştir. Bu veri seti, NCBI-GEO (Gene Expression Omnibus) veritabanından alınmıştır ve 12 yeni MM teşhisi konulmuş birey ve 12 sağlıklı bireye ait miRNA profillerini içermektedir. Ham veri seti, R yazılım dilinde makine

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

öğrenmesi modeli oluşturulmak üzere hazır hale getirilmiştir. Makine modeli Python yazılım dilinde oluşturulmuştur.
Toplam 24 hastadan oluşan veri setinin büyüklüğü makine öğrenmesi için yetersiz olsa da her bir hasta için yaklaşık 36 bin miRNA'nın ifadesini barındırmaktadır ve makine öğrenmesi için kullanılması hedeflenen veri setini temsil etmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları ile geliştirilen model, klasik istatistiksel yöntemlerin ötesine geçerek çoklu biyobelirteçlerin eşzamanlı değerlendirilmesini sağlamaktadır. Öte yandan çoklu eksozomal miRNA profillerini bütüncül olarak değerlendirmek erken ve güvenilir tanı açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Multipl miyelom (MM), eksozomal miRNA, erken tanı.

ABSTRACT

Multiple myeloma (MM) is a serious hematological malignancy characterized by the uncontrolled proliferation of plasma cells in the bone marrow, and it remains an incurable disease despite advances in treatment. Early diagnosis of MM is critical for improving patient survival. To validate miRNA biomarkers for early detection and integrate them into clinical practice, large-scale, multicenter studies are required.

In this study, a comprehensive literature review was first conducted to identify serum exosomal miRNA profiles associated with MM patients. Subsequently, a prototype model was developed using the GSE124489 dataset obtained from the NCBI Gene Expression Omnibus (GEO) database. This dataset contains miRNA expression profiles from 12 newly diagnosed MM patients and 12 healthy individuals. The raw dataset was preprocessed in the R programming language to prepare it for machine learning analysis, while the machine learning model itself was developed in Python.

Although the dataset, consisting of only 24 individuals, is relatively small for machine learning applications, it includes the expression levels of approximately 36,000 miRNAs per individual, making it representative of the high-dimensional data intended for this type of analysis. The machine learning model enables the simultaneous evaluation of multiple biomarkers, going beyond the capabilities of conventional statistical methods. Moreover, the integrated analysis of multiple exosomal miRNA expression profiles is of great importance for achieving early and reliable diagnosis of multiple myeloma.

Keywords: Multiple myeloma (MM), exosomal miRNA, early diagnosis.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. GİRİŞ

Multipl miyelom (MM), kemik iliğinde plazma hücrelerinin anormal proliferasyonu ve monoklonal immünoglobulinlerin aşırı üretimi sonucu oluşan, en yaygın ikinci hematolojik malignitedir [1]. Küresel Kanser Raporu'na göre, 2020 yılında 117.077 kişi MM nedeniyle hayatını kaybetmiş olup, bu rakam tüm kanser ilişkili ölümlerin %1,2'sini oluşturmaktadır [2]. MM hastalarında medyan sağkalım süresi, çoklu tedavi seçeneklerinin uygulanmasıyla 8–10 yıl kadar uzatılmış olsa da hastalık hâlâ tedavi edilememektedir [3]. Bu anlamda, MM'nin erken evrede teşhis edilmesi, hastaların hayatta kalma oranını artırmak için kritik öneme sahiptir.

Ancak, hastalığın karmaşık yapısı ve teşhis sürecindeki zorluklar nedeniyle erken tanı henüz yeterince gerçekleştirilememektedir. Gecikmiş tanı genellikle hastaların ileri hastalık evreleriyle gelmesine, tedavinin etkinliğinin azalmasına ve prognozun kötüleşmesine neden olmaktadır. Daha önce MM'nin erken teşhisi için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olsa da mevcut yaklaşımlar hastalığın farklı evrelerindeki risk sınıflandırmasını ve kişiselleştirilmiş tedavi planlamasını yeterince desteklememektedir.

Bu bağlamda, hastalığın öncül evresi kabul edilen belirsiz öneme sahip monoklonal gamopati (MGUS) üzerine yapılan çalışmalar, erken takip ve teşhisin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Erken teşhisin komplikasyonları azaltabileceği, potansiyel olarak yaşam kalitesini artırabileceği, ancak sağ kalım faydalarının daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyduğu vurgulanmaktadır [4]. Bunun yanında; çok sayıda çalışma, MM hastalarında hastalığın patogenezi ve ilerlemesiyle bağlantılı olan spesifik mikroRNA'ların (miRNA) anormal ekspresyonunu göstermiştir. Örneğin, miRNA-181a MM'de yukarı düzenlenir ve daha düşük sağkalım ve daha yüksek hastalık ilerlemesi riski ile ilişkilendirilirken, miRNA-373 aşağı düzenlenir ve her ikisi de hastalık evresi ve metastaz gibi klinik özellikler ile ilişkilidir [5] [6].

Ayrıca, geleneksel evreleme sistemlerinin ötesinde risk tabakalaşmasını iyileştiren ve hastaların önemli ölçüde farklı sağkalım sonuçlarına sahip ayrı risk gruplarına kategorize edilmesini sağlayan miRNA tabanlı sınıflandırıcılar geliştirilmiştir [7]. Örneğin, miR-17 ve miR-886-5p'nin ifade profilleri, prognostik doğruluğu artıran bir sonuç sınıflandırıcısı oluşturmak için kullanılmıştır. Bu ümit verici bulgulara rağmen, tespit teknolojilerindeki, örnek tiplerindeki ve hasta popülasyonlarındaki değişkenlik tutarsız sonuçlara yol açmış ve miRNA biyobelirteçlerini doğrulamak ve bunları klinik uygulamaya entegre etmek için daha büyük, çok merkezli çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır [6]. Bununla birlikte, artan kanıtlar, miRNA'ların MM tanısı ve risk sınıflandırmasındaki sınırlamaları ele almak için büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve daha kişiselleştirilmiş ve zamanında tedavi stratejilerinin önünü açtığını göstermektedir.

Ayrıca, biyobelirteç havuzu olarak özellikle eksozomal miRNA'ları seçmek; tanısal özgüllüğü ve analitik güvenilirliği artırmak adına stratejik bir tercihtir. Kan dolaşımında serbest halde

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

bulunan miRNA'lar endojen RNaz enzimleri tarafından hızla degradasyona uğrarken; eksozomların çift katlı lipit membran yapısı, taşıdıkları genetik materyali bu enzimatik yıkımdan koruyarak sıvı biyopsilerde yapısal stabilite sağlar. Dahası, eksozomlar apoptotik hücre yıkımının rastgele ürünleri değil; kanser hücreleri tarafından tümör mikroçevresini modüle etmek ve pre-metastatik niş oluşturmak amacıyla aktif olarak salgılanan haberci veziküllerdir. Malign hücrelerin belirgin şekilde daha fazla eksozom salgılaması, tümör spesifik miRNA'ların bu veziküller içerisinde yüksek oranda zenginleşmesiyle sonuçlanır.

Kanserin erken evrede tespit edilmesi, sağkalım oranlarını artırmada en kritik faktörlerden biri olup; bu süreçte biyobelirteçler, özellikle de onkojenik gen ağlarındaki anahtar rolleri ve sıvı biyopsilerdeki yapısal kararlılıkları ile miRNA'lar eşsiz bir tanısal potansiyel sunmaktadır. Bu çalışmada, miRNA ekspresyon profillerini kullanarak kanserin erken tanısına yönelik yenilikçi bir makine öğrenmesi prototipi geliştirilmiş olsa da, sürecin en belirgin kısıtlılığı literatürdeki yüksek kaliteli ve standartlaştırılmış veri setlerinin yetersizliği olmuştur.

Modelimizin mimarisi, miRNA'ların tanısal gücünü sınıflandırma konusunda umut verici bir kavram kanıtı sunmaktadır; ancak mevcut literatürdeki klinik veri eksikliği, bu tür algoritmaların tam potansiyeliyle eğitilmesini ve geniş çaplı validasyonunu zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak; makine öğrenmesinin biyobelirteç keşfi ve erken tanıdaki potansiyelinin, kapsamlı ve açık erişimli miRNA veri bankalarının oluşturulmasına bağlı olduğu değerlendirilmiştir [8] [9].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE UYGULAMALAR

2.1 MM'ye Özgün miRNA'ların Belirlenmesi ve Veri Setlerinin Elde Edilmesi

Bu aşamada, ilk olarak literatür taraması yapılmış, MM'ye özgü miRNA verileri NCBI-GEO (Gene Expression Omnibus) veri tabanında aranmış Zhang ve ark. (2019) elde etmiş olduğu GSE124489 GEO erişim numaralı veri seti, çalışmaya uygun veri seti olarak belirlenmiştir [10]. Bu veri setinin seçilme sebepleri; bulunan diğer veri setlerinden (GSE2658; GSE4452; GSE9782; GSE136324; GSE136337; GSE94564) farklı olarak miRNA ifadesine odaklanması, örneklem grubunun netliği ve kontrol grubu verisinin sağlanması, veri kalitesi ve örneklerin likit biyopsilerden alınmış olmasıdır.

2.2 Prototip Makine Öğrenmesi Modelinin Oluşturulması

Makine öğrenmesi modeli geliştirme sürecinde Random Forest ve Destek Vektör Makineleri (SVM - Support Vector Machine) gibi farklı makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmıştır. Modellerin sınıflandırma başarımları; doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall/sensitivity) ve F1 skoru metrikleri üzerinden değerlendirilmiş ve en yüksek performansı sergileyen algoritma prototip tanı modeli olarak seçilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.3 Power Analizinin Gerçekleştirilmesi

Çalışmada MM'ye özgü miRNA'ların varlığının etkisini ya da farkı yakalama olasılığını hesaplamak için literatürden alınan verilerle G*Power (v3.1) a priori güç analizi yapılmıştır [11].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Literatür Taraması Sonucu Belirlenen miRNA'lar

Literatür taraması kapsamında, MM hastalarında en sık bildirilen diferansiyel eksprese miRNA'ları sunan çalışmalar sistematik olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda, MM hastalarının serum kaynaklı eksozomlarında sağlıklı kontrol gruplarına kıyasla anlamlı düzeyde diferansiyel ekspresyon gösterdiği bildirilen miRNA'lar belirlenmiştir [10] [12] [13]. Literatürde en sık raporlanan ve tanısal biyobelirteç olma potansiyeli taşıyan bazı miRNA'lar ile MM'deki ekspresyon değişimleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Literatür taraması sonucunda MM serum eksozomlarında en sık bildirilen diferansiyel eksprese miRNA'lar

miRNA	MM'da Ekspresyon Düzeyi Değişimi	Örnek tipi
miR-20a-5p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-103a-3p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-4505	Aşağı regüle	Serum eksozomları
let-7c-5p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
let-7d-5p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-185-5p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-140-3p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-425-5p	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-4741	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-18a	Aşağı regüle	Serum eksozomları
miR-451	Aşağı regüle	Serum eksozomları

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3.2 Prototip Makine Öğrenmesi Modeli

GSE124489 veri seti kullanılarak yapılan bu çalışma, serum eksozomal miRNA ifade profilleri üzerinden Multiple Myeloma (MM) tanısına yönelik altı farklı makine öğrenmesi algoritmasının sınıflandırma performansları bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, veri setinin mevcut yapısında modeller arasında belirgin bir performans farkı olduğunu göstermektedir (Görsel 1).

Bu kapsamda Lojistik Regresyon (Logistic Regression) algoritması; %75.0 Doğruluk (Accuracy), %75.0 Kesinlik (Precision), %75.0 Duyarlılık (Recall) ve 0.750 F1-Skoru ile tüm metriklerde en dengeli ve en yüksek sınıflandırma başarısını sergilemiştir. Lineer bir model olan Lojistik Regresyon'un öne çıkması, eksozomal miRNA ifade düzeyleri ile hastalık durumu arasındaki ilişkinin yüksek boyutlu uzayda doğrusal bir ayrıştırılabilirliğe sahip olduğunu düşündürmektedir. Öte yandan KNN ve Naive Bayes algoritmaları %50.0 doğruluk oranı elde etmiş; Naive Bayes modeli %78.5 ile en yüksek kesinlik (Precision) değerini yakalamış olsa da 0.433 seviyesinde kalan F1-Skoru nedeniyle sınırlı bir genelleştirme kapasitesi göstermiştir. Random Forest, SVM ve Decision Tree algoritmaları ise %37.5 doğruluk oranında kalmıştır; yüksek boyutlu mikroarray/RNA profilleme verilerinde örneklem sayısının gen/miRNA sayısına oranla düşük olması, bu kompleks modellerin aşırı öğrenmeye (overfitting) yatkınlık göstermesine ve test setinde performans kaybı yaşamasına yol açmıştır.

	Model	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
2	Logistic Regression	0.750	0.750000	0.750	0.750000
3	KNN	0.500	0.500000	0.500	0.500000
4	Naive Bayes	0.500	0.785714	0.500	0.433333
0	Random Forest	0.375	0.437500	0.375	0.345238
1	SVM	0.375	0.140625	0.375	0.204545
5	Decision Tree	0.375	0.437500	0.375	0.345238

Görsel 1. Belirlenen makine öğrenmesi algoritmalarının öğretilen veriler doğrultusunda sonuçları

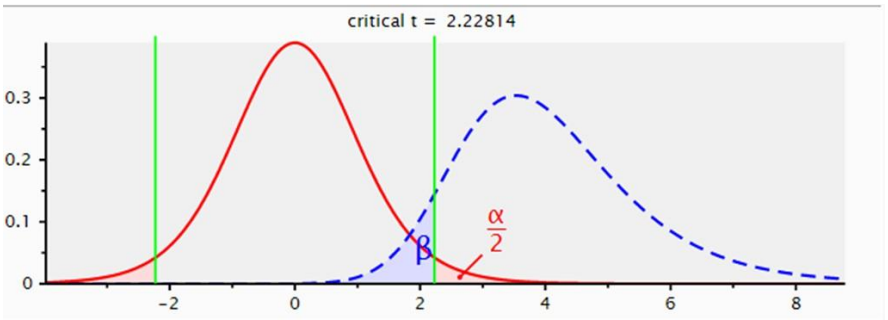
Elde edilen bulgular, çoklu eksozomal miRNA panellerinin Lojistik Regresyon gibi uygun istatistiksel ve makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla işlendiğinde tekil biyobelirteçlerin kısıtlamalarını aşarak hastalık tanısında güçlü bir potansiyel sunduğunu doğrulamaktadır.

Model başarısının ve klinik uygulanabilirliğin daha üst seviyelere çekilmesi amacıyla gelecek çalışmalarda; differentially expressed miRNA analizi veya LASSO gibi öznitelik seçim yöntemleriyle gürültülü verilerin elenmesi, çapraz doğrulama (cross-validation) ile modellerin yeniden eğitilmesi ve karmaşık modellerin hiperparametre optimizasyonuna tabi tutulması önerilmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3.3 miR-29a'nın Power Analizi Sonucu

Power analizi testi, belirtilen makaledeki (Seckinger vd., 2015) miR-29a seçilerek gerçekleştirilmiştir. Etki büyüklüğü Cohen's d=2.17, α=0.05 ve güç=0.90 kabul edildiğinde her grup için 6 örnek (toplam n=12) yeterli bulunmuştur. Bu koşullar altında testin gerçekleşen gücü %92.3'tür. Bu da makine öğrenmesi deneyi için kabul edilebilir bir sonuçtur [14] [15].



Görsel 2. miR-29a'nın power analizi testi sonucu

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, erken teşhisin hayati önem taşıdığı Multipl Miyelom (MM) hastalığının tespiti için eksozomal miRNA profilleri üzerinden makine öğrenmesi tabanlı yenilikçi bir tanı aracı prototipi geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

GSE124489 veri seti üzerinde test edilen altı farklı makine öğrenmesi algoritmasından Lojistik Regresyon; %75,0 doğruluk, %75,0 kesinlik, %75,0 duyarlılık ve 0.750 F1-Skoru ile en yüksek ve dengeli sınıflandırma başarısını sağlamıştır. Bu, eksozomal miRNA düzeyleri ile hastalık durumu arasında yüksek boyutlu uzayda doğrusal bir ayrışmanın mümkün olduğunu ortaya koyar. Random Forest, SVM ve Decision Tree gibi daha karmaşık algoritmalar %37,5 gibi düşük doğruluk seviyelerinde kalmıştır. Mikroarray/RNA profilleme verilerinde örnek sayısının (n=24) miRNA sayısına (~36.000) göre düşük olması, bu karmaşık modellerin aşırı öğrenmeye yatkın hale gelmesine yol açmış ve performans kaybına neden olmuştur. Ancak yapılan power analizinde testi gerçekleşen gücü %92,3 bulunmuş ve veri setinin makine öğrenmesi deneyleri için asgari koşulları karşıladığı doğrulanmıştır.

Bulgular, miRNA ekspresyon seviyelerinin serum ve serum eksozomları arasında her zaman aynı olmadığını göstermektedir. Çalışmada incelenen GSE124489 veri setinin de temelini oluşturan bulgulara göre, miRNA ekspresyon düzeyleri serum ve serum eksozomları arasında her zaman paralellik göstermemektedir. Örneğin, let-7c-5p ve miR-425-5p gibi biyobelirteçlerin serum içinde artış eğilimindeyken, eksozom keseciklerinde anlamlı düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, sadece serum analizinin yeterli olmayacağını, eksozomal yapıların taşıdığı genetik bilginin klinik özelliklerle (kreatinin, IL-6 ve kemik iliği plazma hücre yükü) daha güçlü bir korelasyona sahip olduğunu vurgulamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Modelin klinik uygulanabilirliğini geliştirmek için gelecekteki çalışmalarda diferansiyel ekspresyon analizi veya LASSO gibi öznitelik seçim yöntemleri ile veri gürültüsünü filtrelemek önerilmektedir. Modellerin çapraz doğrulama yöntemleri ile yeniden eğitilmesi ve karmaşık modellerin hiperparametre optimizasyonuna tabi tutulması, performansı artıracaktır.

Ayrıca, bu yaklaşımların tam potansiyelini ortaya koyabilmek adına çok merkezli ve açık erişimli miRNA veri bankalarının oluşturulması gereklidir. Mevcut literatürde karşılaşılan en büyük kısıtlılıklardan biri olan standartlaştırılmış klinik veri eksikliği, makine öğrenmesi algoritmalarının tam kapasiteyle eğitilmesini ve bağımsız kohortlarda geniş çaplı validasyonunu zorlaştırmaktadır. Farklı hasta popülasyonlarını kapsayan, yüksek kaliteli verilerin paylaşıldığı küresel ve açık erişimli veri havuzları, geliştirilen algoritmaların sapma (bias) oranlarını en aza indirerek genellenebilirlik kapasitesini artıracaktır. Ancak böylesi kapsamlı bir veri iş birliği sağlandığında, yapay zekâ destekli biyobelirteç modelleri umut verici bir kavram kanıtı olmaktan çıkıp, klinik pratiğe güvenle entegre edilebilecek tanı araçlarına dönüşebilir.

Sonuç olarak; eksozomal miRNA profillerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle kapsamlı bir panelde işlenmesi, tekil biyobelirteçlerin sınırlamalarını aşmaktadır. Önerilen modelin esnek yapısı ve yeni verilerle genişletilebilme kabiliyeti sayesinde sadece MM için değil, diğer kanser türleri için de invaziv olmayan, yüksek doğrulukta ve klinik karar süreçlerini destekleyici bir erken tanı aracı olma potansiyeli bulunmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KAYNAKÇA

[1] Sun, M., Qiu, S., Xiao, Q., Wang, T., Tian, X., Chen, C., ... & Chen, K. (2020). Synergistic effects of multiple myeloma cells and tumor-associated macrophages on vascular endothelial cells in vitro. *Medical Oncology*, *37*(11), 99.

[2] Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*, *71*(3), 209-249.

[3] Miaomiao, S., Xiaoqian, W., Yuwei, S., Chao, C., Chenbo, Y., Yinghao, L., ... & Kuisheng, C. (2023). Cancer-associated fibroblast-derived exosome microRNA-21 promotes angiogenesis in multiple myeloma. *Scientific reports*, *13*(1), 9671.

[4] Elsayed, A. G., Lebowicz, Y., & Adler, W. (2017). Multiple myeloma survival in a rural population. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, *1*(3), 579-585.

[5] Gao, S. S., Wang, Y. J., Zhang, G. X., & Zhang, W. T. (2020). Potential diagnostic value of circulating miRNA for multiple myeloma: a meta-analysis. *Journal of Bone Oncology*, *25*, 100327.

[6] Papadimitriou, M. A., Papanota, A. M., Adamopoulos, P. G., Pilala, K. M., Liacos, C. I., Malandrakis, P., ... & Scorilas, A. (2022). miRNA-seq and clinical evaluation in multiple myeloma: miR-181a overexpression predicts short-term disease progression and poor post-treatment outcome: Molecular Diagnostics. *British journal of cancer*, *126*(1), 79-90.

[7] Wu, P., Agnelli, L., Walker, B. A., Todoerti, K., Lionetti, M., Johnson, D. C., ... & Morgan, G. J. (2013). Improved risk stratification in myeloma using a micro RNA-based classifier. *British journal of haematology*, *162*(3), 348-359.

[8] Pourhanifeh, M. H., Mahjoubin-Tehran, M., Shafiee, A., Hajighadimi, S., Moradizarmehri, S., Mirzaei, H., & Asemi, Z. (2020). MicroRNAs and exosomes: Small molecules with big actions in multiple myeloma pathogenesis. *IUBMB life*, *72*(3), 314-333.

[9] Alipoor, S. D., & Chang, H. (2023). Exosomal miRNAs in the tumor microenvironment of multiple myeloma. *Cells*, *12*(7), 1030.

[10] Zhang, Z. Y., Li, Y. C., Geng, C. Y., Wang, H. J., & Chen, W. M. (2019). Potential relationship between clinical significance and serum exosomal miRNAs in patients with multiple myeloma. *BioMed Research International*, *2019*(1), 1575468.

[11] Seckinger, A., Meiner, T., Moreaux, J., Benes, V., Hillengass, J., Castoldi, M., ... & Hose, D. (2015). miRNAs in multiple myeloma–a survival relevant complex regulator of gene expression. *Oncotarget*, *6*(36), 39165.

[12] Manier, S., Liu, C. J., Avet-Loiseau, H., Park, J., Shi, J., Campigotto, F., ... & Ghobrial, I.

M. (2017). Prognostic role of circulating exosomal miRNAs in multiple myeloma. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, *129*(17), 2429-2436.

[13] Zhang, J., Luo, C., Long, H., Zhang, B., Shan, H., & Hou, B. (2024). Circulating exosomal miRNA-451 as an effective diagnostic biomarker and prognostic indicator for multiple myeloma. *The International Journal of Biological Markers*, *39*(4), 301-309.

[14] Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. routledge.

[15] Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, *39*(2), 175-191.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

THE ABILITY OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-TRAINED SOLAR WIND PARAMETERS TO GENERATE THE DST (nT) ZONAL INDEX THROUGHOUT DIFFERENT GEOMAGNETIC STORMS

Dr. Emre Eroglu

Independent Researcher, eroglumre@gmail.com – ORCID ID: 0000-0002-7465-7449

ABSTRACT

Discussion models the Dst (nT) zonal geomagnetic index of three different geomagnetic storms (weak, moderate, and intense) that occurred in 2024, employing an neural network via the solar wind parameters. The modeling is performed by rigorously obeying the causality principle. The inputs of the network are the solar parameters. The Dst index is produced as an output. While training the solar parameters, sufficient neurons are utilized to establish a connection between layers and data to avoid memorization. To minimalize the difference between the actual and estimated scores of the Dst index, backpropagation training iteration is preferred. The consistency of the outcome is discussed by employing the correlation coefficient and mean squared error scores. According to the models, for the Dst (nT) index, the correlation coefficients of the weak, moderate, and intense geomagnetic storms are 98.6%, 99.2%, and 98.9%, and the mean squared errors are 6.519 nT, 2.285 nT, and 8.562 nT, respectively. One can see that the model results agree with the literature. The zonal geomagnetic indices neural network modeling supports progress in space climate condition research.

Keywords: Artificial neural network (ANN), geomagnetic storm, solar wind parameters, Dst (nT) zonal geomagnetic index.

1. INTRODUCTION

Solar wind perturbations, coronal pulsations, and interplanetary electromagnetic fluctuations frequently interact with Earth's upper atmosphere, inducing severe geomagnetic disturbances. The most impactful of these occurrences are geomagnetic storms, which are triggered when high-energy charged particles from solar wind clouds penetrate the ionosphere-magnetosphere coupling system. The resulting magnetic reconnection processes (Fu et al. 2013; 2017) inevitably precipitate substantial magnetospheric instability. Primary manifestations include upper-atmospheric ionization and thermal expansion, signal degradation in GPS and radio communications, orbital decay of low-Earth satellites, and enhanced auroral activity. Morphologically, geomagnetic storms evolve through three sequential stages: initial/commencement, main, and recovery phases (Eroglu 2018; 2019; Basciftci 2021). The onset of a storm is often signaled by Coronal Mass Ejections (CMEs), characterized by abrupt surges in solar wind dynamic pressure and proton density accompanied by a decrease in solar wind velocity. During the main phase, the interplanetary magnetic field (B_z) vector rotates strongly southward (negative values), triggering a dramatic drop in the Dst (nT) index toward negative minima. Subsequently, the system enters the recovery phase as geomagnetic indicators gradually restore to baseline levels. This study presents an Artificial Neural Network (ANN) framework (Rumelhart et al. 1986; Basciftci 2021) to advance space weather forecasting

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

capabilities. By training on solar wind parameters, the proposed network models Dst (nT) index dynamics during weak, moderate, and severe geomagnetic storm events recorded on May 31, April 16, and March 3, 2024.

2. MATERIALS AND METHOD

In contemporary computational research, ANNs provide robust solutions for modeling complex non-linear physical systems. In space weather analytics, ANN architectures are increasingly leveraged to capture non-linear relationships among physical parameters such as interplanetary magnetic fields, electric fields, dynamic pressure, proton density, and bulk solar wind speed. The network topology deployed in this work comprises a three-tiered architecture: input, hidden, and output layers (Figure 1).

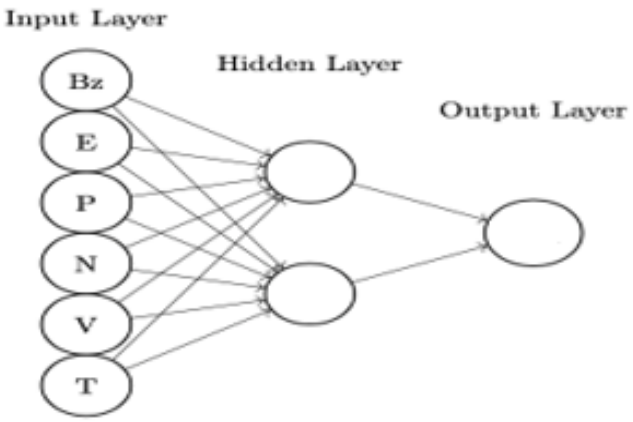


Figure 1. The ANN Frame.

The input sheet ingests six fundamental solar wind variables: the B_z (nT) part of the magnetic field, electric field E (mV/m), dynamic pressure P (nPa), proton density N (1/cc), solar wind velocity v (km/s), and temperature T (K). The network target is the planetary Dst (nT) index. The Disturbance Storm Time (Dst (nT)) index is a space weather forecasting tool that measures the magnitude of the annular current around Earth and the intensity of geomagnetic storms. It is obtained from ground stations near the equator. Negative values, measured in nanoTesla (nT), indicate a weakening of Earth's magnetic field during solar storms. It tracks the annular current surrounding Earth, which generates an opposing magnetic field. It is the utmost vital data point for global geomagnetic movement. It determines the effects and intensity of solar storms on Earth. Geomagnetic storms are considered mild below -50 nT, severe below -100 nT, and very severe below -250 nT. It is used to warn satellite communications, GPS systems, power grids, and pipelines about potential space storms. To map complex input-output interactions, an activation function according to Eq. (1) is applied across hidden layer nodes, introducing essential non-linearity into the network transformation.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

The study employs Eq. (1) as the activation signal for dealing out the weights of the neurons. The primary character of this signal is to set a nonlinear production by utilizing the weighted totality conventional from the inputs of a neuron of the ANN. This vital adjustment permits the ANN to learn not only linear patterns but also complicate actual and real data. The activation signal is,

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^{n} w_{kj} x_{ik} + b_j \tag{1}$$

in here *w*, *x*, *y*, and *b* are the *weight*, *input*, *output*, and *bias*, respectively. The transfer signal *f* as a logistic function is

$$f(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}. \tag{2}$$

The nonlinear adjustment guarantees that the output is measured by [0, 1].

The work operates *backpropagation* technique for the main education procedure. For the particular learning and training with the small error the *Scaled Conjugate Gradient* (trainscg) is utilized.

Hourly OMNI dataset (120 hours) using for weak, moderate, and intense storm is divided into three sections as 70% (84-hour), 15% (18-hour), and 15% (18-hour) for training, testing, and validation, respectively. 25 neurons are use in 31 May 2024 weak storm and 16 April moderate storm, and 27 neurons are used in 3 March intense storm for Dst (nT) prediction prototype sheet communication.

ANN performance is evaluated using the correlation coefficient (R) and the mean squared error (MSE). The R score measures the degree of linear relationship between the predicted and actual value This association is

$$R = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{Var[x]Var[y]}} \tag{3}$$

here, *cov* implies covariance and *var* implies variance.

The MSE is indicates by the Eq. (4):

$$MSE = \frac{1}{n}\sum(y_{observed} - y_{estimated})^2. \tag{4}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

The MSE score approves that the entire forecast errors are conserved correspondingly by negative and positive rates.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This unit proposes an examination of the significances of the ANN frame whose theoretical circumstantial is handled in the prior part. Figures 2-7 exhibit the outcomes for the Dst (nT) zonal geomagnetic index prediction ANN architype.

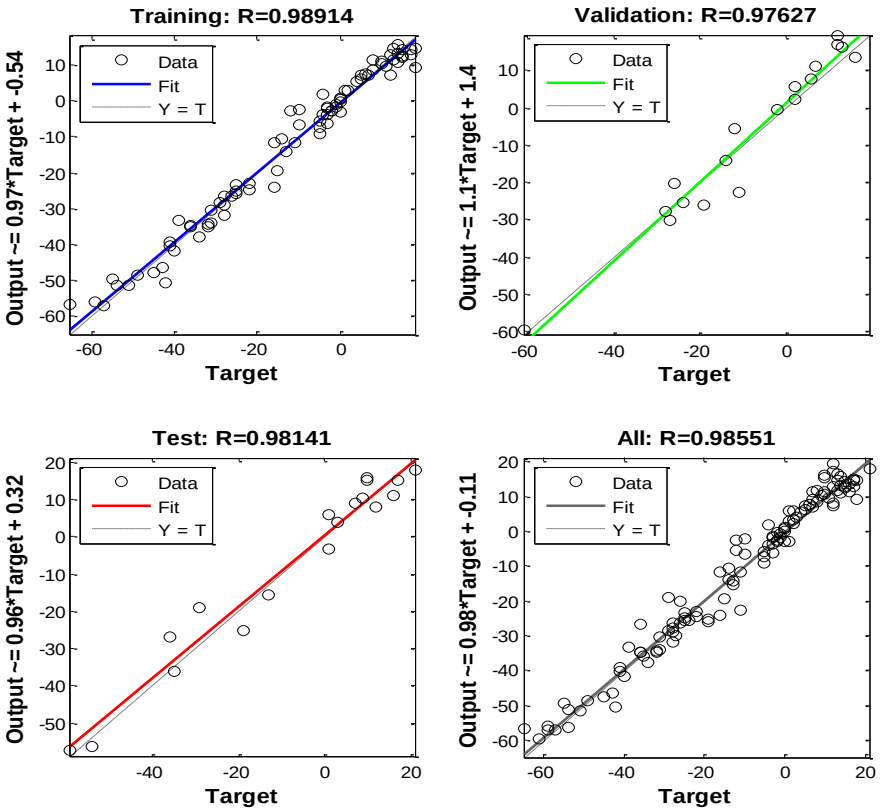


Figure 2. 31 May 2024 Weak Geomagnetic Storm Outcomes.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

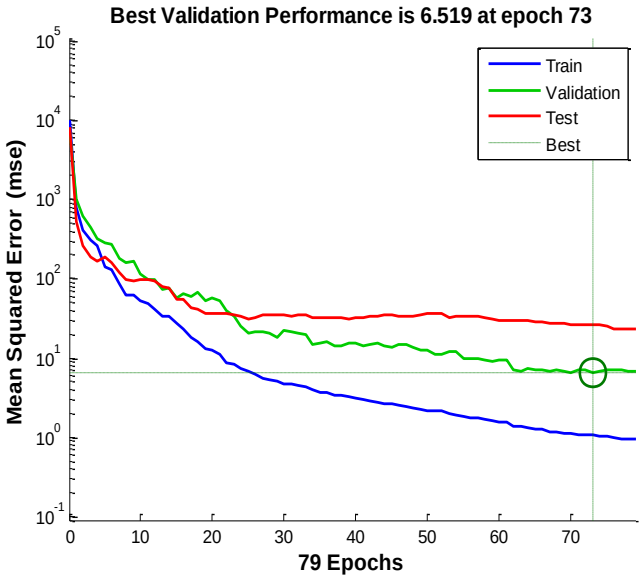


Figure 3. MSE Oscillation for the Weak Geomagnetic Storm.

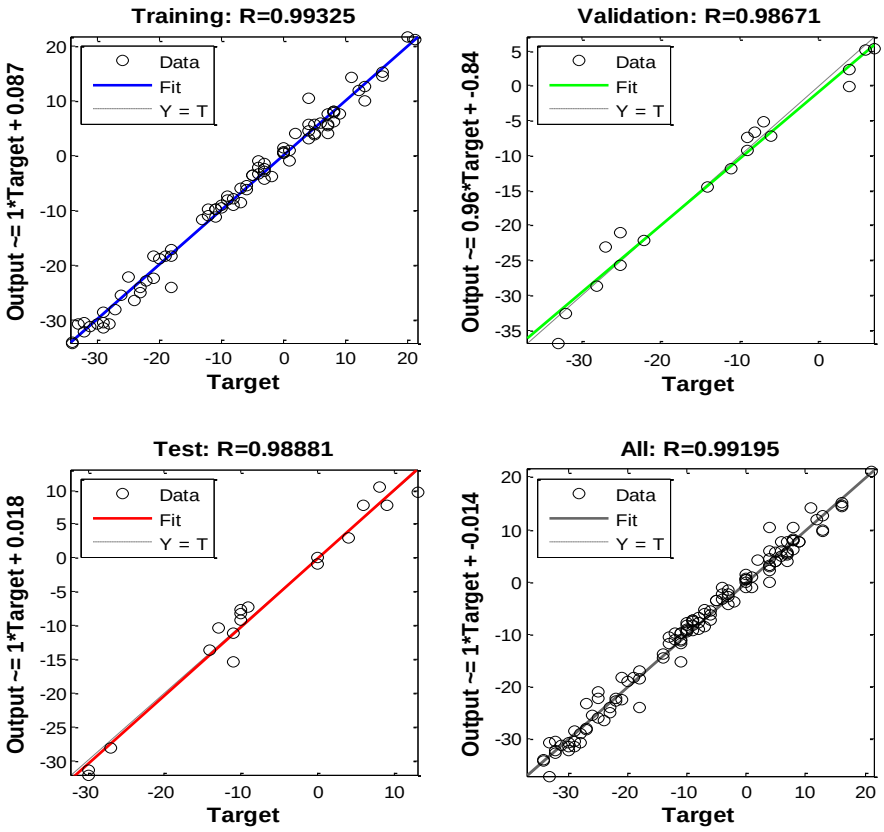


Figure 4. 16 April 2024 Moderate Geomagnetic Storm Outcomes.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

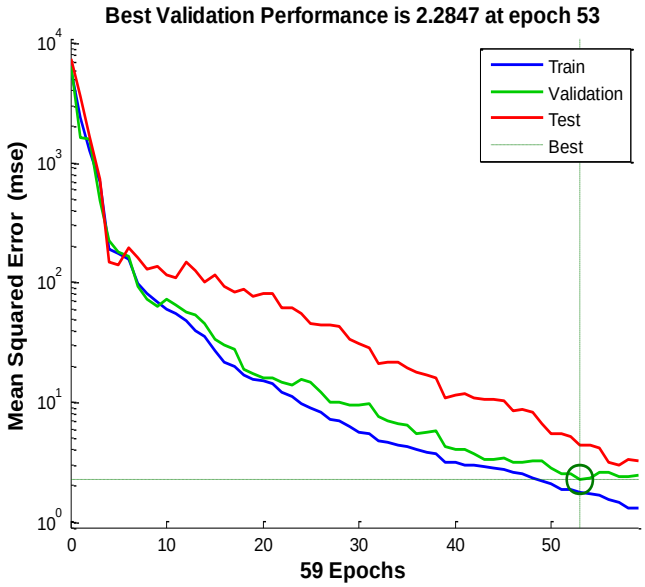


Figure 5. MSE Oscillation for the Moderate Geomagnetic Storm.

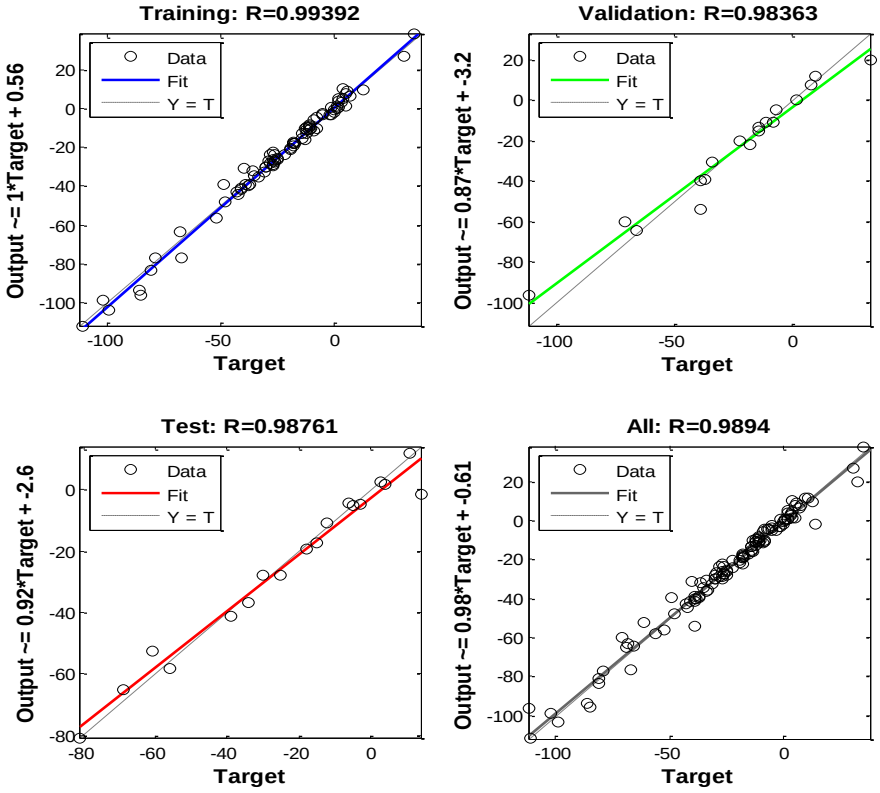


Figure 6. 3 March 2024 Intense Geomagnetic Storm Outcomes.

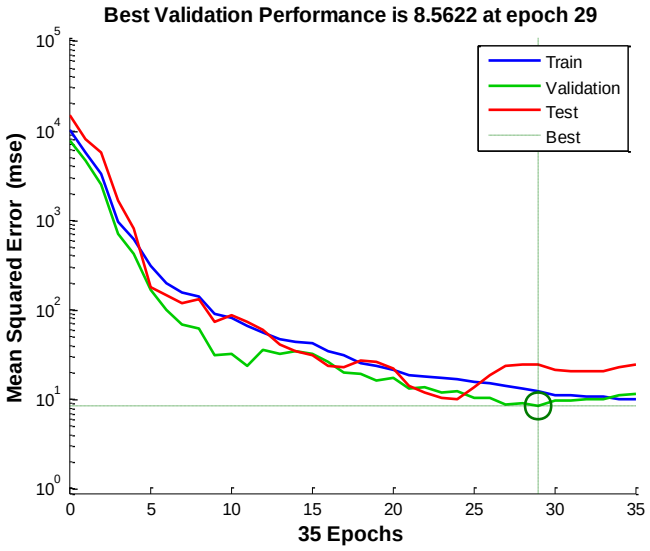


Figure 7. MSE Oscillation for the Intense Geomagnetic Storm.

4. CONCLUSION

The empirical outcomes of this investigation align strongly with existing literature, confirming the predictive validity of the neural network approach for Dst (nT) index modeling. By training the network with solar wind inputs under a causal framework, the model captures the underlying physical response across weak, moderate, and intense geomagnetic storm events. Quantitative performance analysis yields correlation coefficients (R) of 98.6%, 99.2%, and 98.9% alongside Mean Squared Error (MSE) values of 6.519 (nT), 2.285 (nT), and 8.562 (nT) for weak, moderate, and severe storm classes, respectively. These results underscore the promise of neural network architectures for real-time space weather diagnostics and regional geomagnetic index forecasting.

REFERENCES

1. Fu, H.S., Khotyaintsev, Y.V., Vaivads, A., Retinò, A., André, M. Energetic electron acceleration by unsteady magnetic reconnection. Nature Physics, 9, 426-430, 2013. https://doi.org/10.1038/nphys2664

2. Fu, H.S, Vaivads, A., Khotyaintsev, Y.V., André, M., Cao, J.B., Olshevsky, V.J., Eastwood, P., Retinò A. Intermittent energy dissipation by turbulent reconnection. Geophysical Research Letters, 44, 1, 37-43, 2017. https://doi.org/10.1002/2016GL071787

3. Eroglu, E. Mathematical modeling of the moderate storm on 28 February 2008. New Astronomy, 60, 33-41, 2018. https://doi.org/10.1016/j.newast.2017.10.002

4. Eroglu, E. Modeling the superstorm in the 24th solar cycle. Earth, Planets and Space, 71, 1, 26, 2019. https://doi.org/10.1186/s40623-019-1002-1

5. Basciftci, F. An analysis of the latest super geomagnetic storm of the 23RD solar cycle (May 15, 2005, Dst: –247 nT). Geomagnetism and Aeronomy, 61 (Suppl 1), S156–S166, 2021. https://doi.org/10.1134/S0016793222010029

6. Rumelhart, DE., Hinton, GE., Williams, RJ. Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 6088, 533–536, 1986. https://doi.org/10.1038/323533a0

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

CUBIC BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL OF COVID ACTIVE CASES OF JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA

Dr. Emre Eroglu

Independent Researcher, eroglumre@gmail.com – ORCID ID: 0000-0002-7465-7449

Nursena Eroglu

Beyoglu Anatolian High School, eroglunursena2008@gmail.com

ABSTRACT

The world has remembered the pandemic truth with COVID again. About ten years after H1N1, humanity has fought hard to survive. This discussion proposes a classical differential geometric model for COVID active case estimation of Japan, China, and South Korea. The model is governed by a Bézier curve. A 66-day data set estimation model covering February and March (2020) has a very low absolute percentage (less than 0.03%) and mean squared (0.16) error. The Bézier frame is a segmented, piece-wise continuous C^0 class *quadratic* and *cubic* curves. This model has a potential hybrid approach for neural network and related estimation models with its low-cost and relatively smooth prediction.

Keywords: Bézier curve, COVID active cases, mathematical estimation.

1. INTRODUCTION

Emerging in 2020, the COVID-19 pandemic unfolded rapidly on a global scale, leaving little opportunity for timely preventive interventions (Eroglu et al. 2020(a); 2020(b); Baysazan et al. 2023; Tan et al. 2025). Irrespective of a nation's socio-economic status, healthcare systems worldwide experienced profound structural disruptions. Intensive care facilities faced severe capacity crises, rendering them incapable of satisfying baseline medical demands and inflicting long-term damage on global health infrastructure. This crisis was particularly severe in developing economies, where early reliance on policy minimization quickly collapsed under the weight of exponential viral spread. Furthermore, acute shortages of diagnostic test kits significantly hindered containment efforts. On the macroeconomic front, international travel restrictions disrupted trade networks, while domestic lockdowns necessitated unprecedented government expenditure on social safety nets—the fiscal ramifications of which continue to affect developed economies today.

To model these epidemiological dynamics, this study introduces a quadratic and cubic *Bézier* parametric framework to estimate active COVID-19 case trajectories. The underlying empirical dataset encompasses a 66-day period during February and March 2020, tracking epidemiological trends across Japan, China, and South Korea. The mathematical reconstruction employs a piecewise continuous curve partitioned into 6-day intervals to maintain C^0 continuity. Each sub-segment relies on four control points; the terminal nodes are anchored directly to the trajectory, whereas the intermediate control points are determined using

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

arithmetic mean calculations. Model accuracy and goodness-of-fit are quantitatively evaluated using the *correlation coefficient* (R) and the *mean squared error* (MSE).

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Bézier Curve

In the 1970s, Pierre Bézier (Bézier 1972), an engineer at the Renault company, projected manipulative exteriors utilizing a parametric segmented continuous frame. The frame is employed currently in a varied application, from surface strategy-plan and explicit-implicit modeling to image processing and signal transferring. Figure 1 displays a few Bézier archetype.

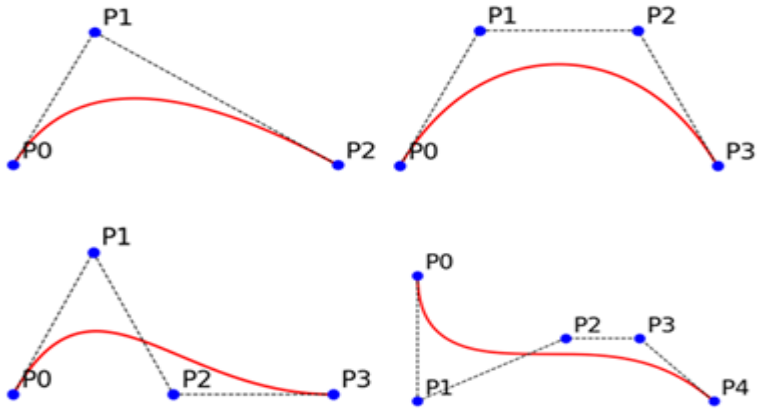


Figure 1. Selected Bézier Curve

Bézier frame of COVID (Eroglu 2025) active case dataset for the estimation is a parametric, segmented, and continuous curve architype. In each part, a following section commences directly after the section that ends. This implies that $B_j(1)=B_{j+1}(0)$, B is the curve and $j=0,1,2,\ldots$ Segmentation is organized through control points and is in the C^0 class. Control points for each segment are determined by the starting and ending points belonging to the curve. This continuity of the C^0 class provides elasticity and adaptability to the curve. Intermediate points are determined using methods such as least squares, mean, median, etc. In this study, intermediate control points are designed with the mean for each segment. Parametrization of the curve is managed through the closed interval [0, 1]. This management also eliminates the independent-dependent variable debate. That is, the curve acquires an identity shaped not by the independent variable, but by the parameter u, $u\in[0, 1]$. The control point of the curve is one degree greater than the degree of the curve. Eq. (1) (implicit) and (2) (explicit) express the Bézier curve using the Bernstein polynomial. On condition that that P_k are points (from actual dataset), $0\leq u\leq 1$, and $k = 0, 1, 2, \ldots, n$,

$$\mathfrak{B}(u) = \sum_{k=0}^{n} \binom{n}{k} (1-u)^{n-k}\, u^k P_k. \tag{1}$$

$$\mathfrak{B}(u) = \sum_{k=0}^{n} \frac{n!}{k!(n-k)!} u^k (1-u)^{n-k} P_k \tag{2}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.2. Quadratic Bézier

In this part the work uses for COVID dataset involved February and March 2020. The *quadratic* Bézier shapes all segments for estimation. The quadratic segmentation is the calmest formula for sets indefinite dataset. The second order (quadratic) Bézier is Eq. (3)

$$\mathfrak{B}(u) = P_0(1-u)^2 + 2P_1u(1-u) + P_2u^2 \tag{3}$$

in where *u* is a real parameter from closed interval [0,1].

Parting for the all pieces is shaped with 6-day COVID active case data. Mid control points from individually are stated by the average of the associated active case data.

2.3. Cubic Bézier

The *cubic* Bézier shapes all segments for estimation. The cubic segmentation is the traditional formula for sets indefinite dataset. The third order (cubic) Bézier is Eq. (4)

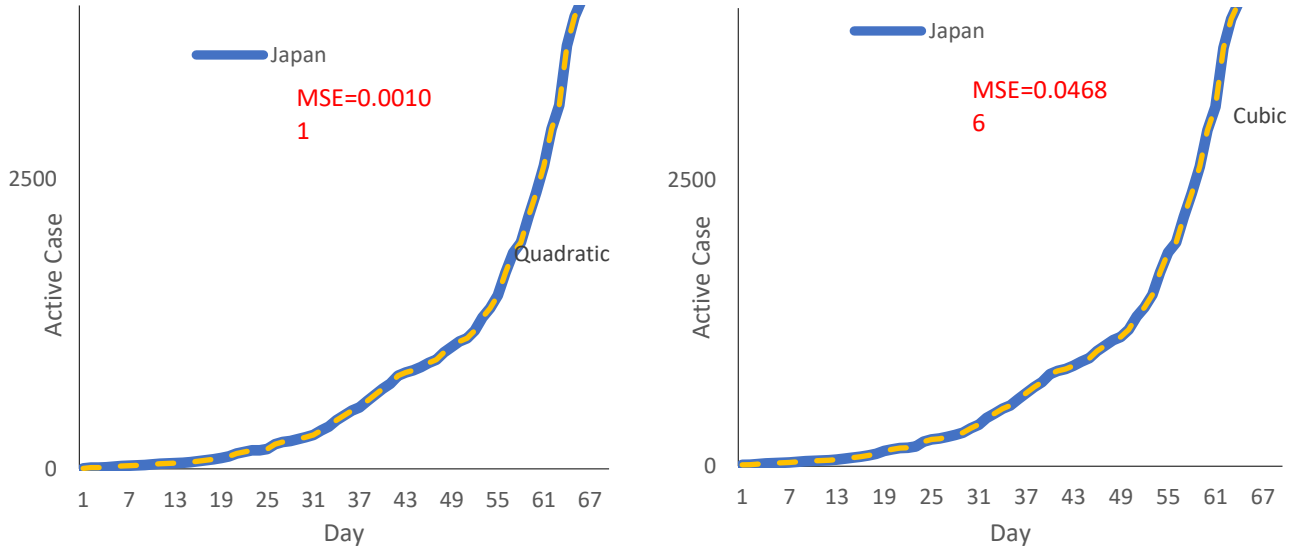
$$\mathfrak{B}(u) = P_0(1-u)^3 + 3P_1u(1-u)^2 + 3P_2u^2(1-u) + P_3u^3 \tag{4}$$

in where *u* is a real parameter from closed interval [0,1].

Parting for the all pieces is shaped with 6-day COVID active case data. Mid control points from individually are stated by the average of the associated active case data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Third part offers a relative examination of the consequences of the prototypes whose notional details are specified in the previous section. Figures 2-7 show the illustrations for the quadratic and cubic Bézier architypes.



ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Figure 2. Bézier Curve for Japan.

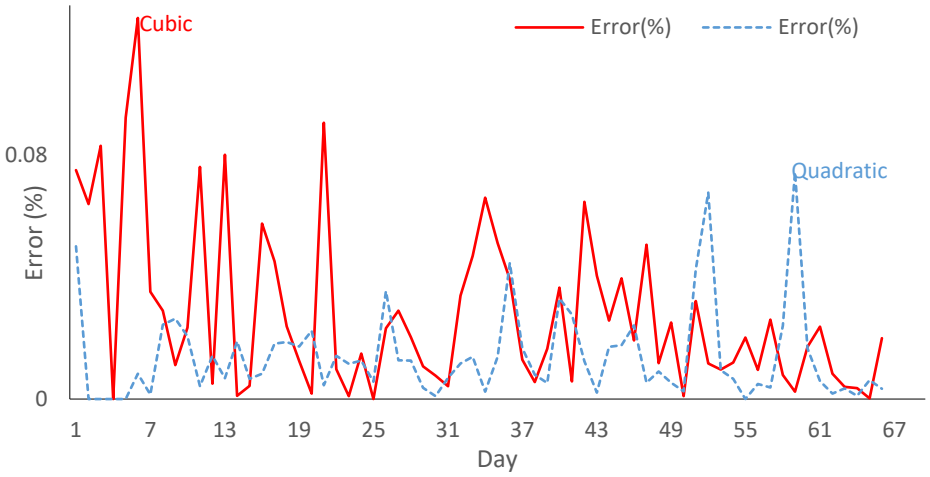


Figure 3. Error of Japan Case.

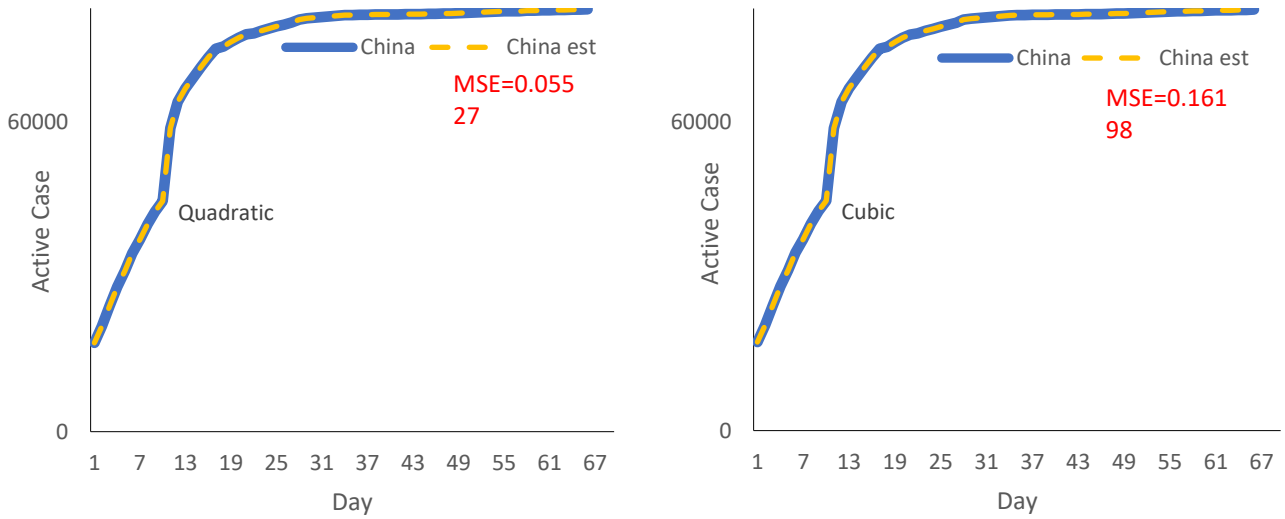


Figure 4. Bézier Curve for China.

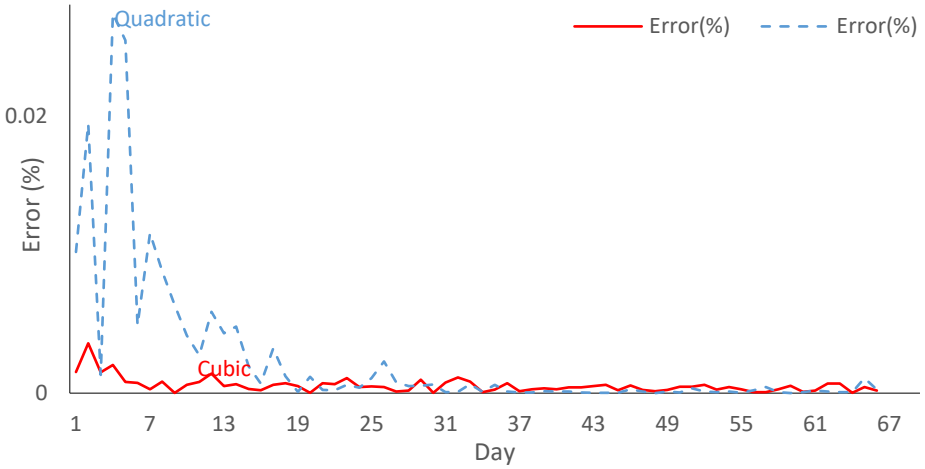


Figure 5. Error of China Case.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

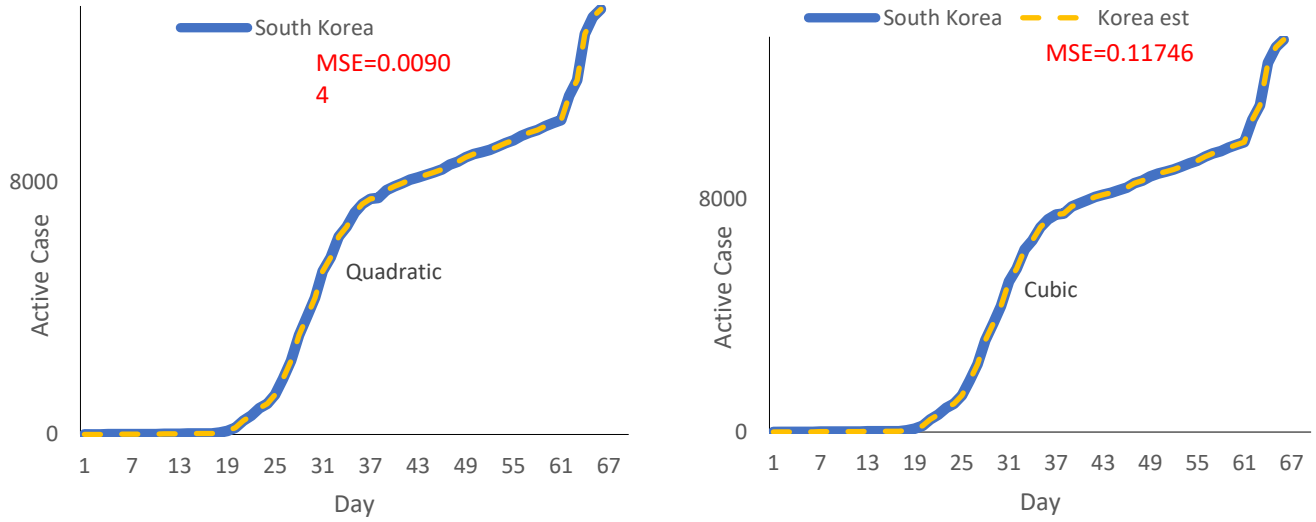


Figure 6. Bézier Curve for South Korea.

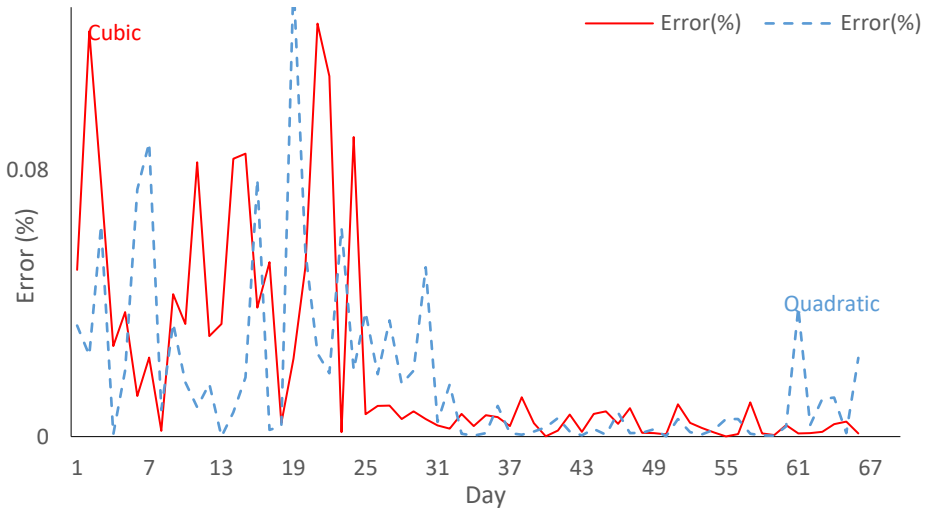


Figure 7. Error of South Korea Case.

As the reader can observe, the results are quite significant and have low error rates. This could pave the way for hybrid models that have the potential to support case studies in the literature. The authors, anticipating that the cubic structure would yield lower error rates than the quadratic structure when starting their estimation models, choose a u parameter with a decimal place value of one ten-thousandth when needed. Although this choice is used infrequently throughout the estimation process, as the results show, it forces the quadratic model to deliver relatively more successful estimation results. This highlights the need for further studies to address parameterization separately, making comparisons at tenths, hundredths, thousandths, etc.

4. CONCLUSION

This work models 66 days of the active COVID case dataset via February and March 2020. The dataset collects from Japan, China, and South Korea. Two different evaluations of the Bézier

display show that these approaches are fairly beneficial for forecasting. The curve fit for active case demonstrating with donating a small deviation. With an MSE value reaching 0.001, it demonstrates its suitability for potential hybrid models. The Bézier is modifiable and flexible for the approximation problems. These curves do not call complete, input, preprocessing, or training for the forecasting. The presented C^0 class and piece-wise frame method can adjust big quantities of dataset. The curve model has a fairly low cost for estimation. It can sustenance additional epidemic case forecasting discussions in the near future.

REFERENCES

1. Eroglu, E., Esenpinar, AA., Bozkurt, E., Tek, S. Mathematical modeling of COVID-19 phenomenon; the cases: Germany, Israel, and Canada, Fresenius Environmental Bulletin, 29, 10, 9063-9074, 2020.

2. Eroglu, E., Bozkurt, E., Esenpinar, AA, Tek, S. Mathematical analysis of Covid-19 phenomenon, Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 5, 2, 59-65, 2020.

3. Baysazan, E., Berker, AN., Mandal, H., Kaygusuz, H. COVID-19 modeling based on real geographic and population data, Turkish Journal of Medical Sciences, 53, 1, 333-339, 2023.

4. Tan, CY, Jang, ST, Lam, SM, An, AQ, Lo UK. Teaching and learning challenges due to the COVID-19 pandemic: A systematic review, Educational Research Review, May 1;47, 100667, 2025.

5. Eroglu, E. Accurate estimation of COVID-19 active cases using Bézier curve-based mathematical modeling, Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics, 12, 217-230, 2025.

6. Bézier, PE, *Numerical Control–Mathematics and Applications*, translated by A. R. Forrest and A. F. Pankhurst, John Wiley, England, 1972.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO CONTROL RABIES IN NORTH AFRICAN URBAN AREAS

Dr. Hassan Alaoui, Nadia El Fassi
Faculty of Veterinary Medicine, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

This study examines veterinary public health approaches to controlling rabies in North African urban areas, where dense human populations, stray animal movement, and gaps in prevention services create ongoing risk. Rabies remains a serious public health concern because it links animal disease control directly to human health protection. The paper explores how urban veterinary systems can contribute to prevention, surveillance, and community safety.

The research is based on veterinary public health and zoonotic disease control literature. It focuses on vaccination campaigns, stray animal management, public education, diagnostic support, and coordination between municipal and health authorities. The findings suggest that rabies control is most effective when it combines animal immunization with community awareness and rapid response to suspected cases. The study also notes that weak intersectoral cooperation can limit the effectiveness of prevention programs.

The paper argues that urban rabies control should be approached through a One Health perspective that connects veterinary medicine, public health, and local governance. In North African cities, sustainable prevention depends on long-term planning, public engagement, and consistent veterinary service delivery. The study concludes that rabies control can be significantly strengthened when authorities invest in integrated urban health systems and community-based prevention measures.

Key words: rabies control, veterinary public health, urban areas, North Africa, zoonotic prevention

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN EGYPTIAN POULTRY FARMS

Dr. Mahmoud Abdelrahman, Salma Hassan, Prof. Dr. Tarek El-Sayed
Faculty of Veterinary Medicine, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This study investigates molecular diagnostic approaches for avian influenza viruses in Egyptian poultry farms, where rapid disease detection is essential for protecting poultry health and limiting economic losses. Poultry production is an important agricultural sector in Egypt, and viral outbreaks can have serious consequences for food security, trade, and farm sustainability. The paper explores the value of molecular tools in improving diagnosis and outbreak response.

The study is grounded in veterinary virology and poultry health literature. It focuses on the use of molecular methods for identifying viral presence, supporting early detection, and distinguishing circulating strains. The findings suggest that molecular diagnosis offers greater precision and speed than conventional methods, making it highly useful for farm surveillance and outbreak management. The study also highlights the importance of laboratory capacity, sample handling, and veterinary coordination in ensuring reliable results.

The paper argues that molecular diagnostics should be integrated into broader poultry health management systems. Early identification of infection can help reduce transmission, support targeted intervention, and improve biosecurity planning. The study concludes that strengthening molecular diagnostic capacity is essential for effective avian influenza control in Egyptian poultry farms and for protecting the wider livestock sector.

Key words: avian influenza, molecular diagnosis, poultry farms, Egypt, veterinary virology

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

NUTRITIONAL MANAGEMENT AND GROWTH PERFORMANCE IN CAMELS UNDER ARID EGYPTIAN CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Hany Farouk, Omar Khalifa, Mona Fathy
Faculty of Veterinary Medicine, Suez Canal University, Egypt

ABSTRACT

This study examines nutritional management and growth performance in camels under arid Egyptian conditions, where harsh climate, scarce forage, and variable water access shape animal productivity. Camels are well adapted to desert environments, yet their growth and health still depend on appropriate feeding strategies and careful management. The paper explores how nutritional planning can support better performance in arid production systems.

The study is based on camel nutrition and arid livestock management literature. It considers feed quality, energy balance, water use, and the role of supplementation in supporting growth and body condition. The findings suggest that nutritional outcomes are strongly affected by forage availability, seasonal variation, and husbandry practices. The study also notes that balanced feeding can improve growth rates, resilience, and overall herd condition even in difficult environmental settings.

The paper argues that camel nutrition should be treated as a strategic component of arid livestock development. Effective management requires locally adapted feeding programs, better access to quality feed resources, and attention to seasonal stress. The study concludes that improved nutritional practices can strengthen camel productivity and support sustainable livestock systems in desert regions of Egypt.

Key words: camel nutrition, growth performance, arid conditions, Egypt, livestock management

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN DAIRY CATTLE PATHOGENS IN EGYPT

Dr. Rania Mostafa, Ahmed Nabil, Assis. Prof. Dr. Kareem Adel
Faculty of Veterinary Medicine, Alexandria University, Egypt

ABSTRACT

This paper investigates antimicrobial resistance patterns in dairy cattle pathogens in Egypt, where the treatment of infectious diseases is increasingly complicated by reduced drug effectiveness. Dairy cattle health is closely linked to milk productivity, animal welfare, and farm profitability, making resistance monitoring an important veterinary priority. The study examines how resistance emerges and what it means for disease control in dairy systems.

The research is based on veterinary microbiology and antimicrobial resistance literature. It focuses on pathogen diversity, treatment history, drug exposure, and the importance of routine surveillance in identifying resistance trends. The findings suggest that resistance patterns are influenced by antibiotic use practices, farm-level biosecurity, and the availability of diagnostic support. The study also highlights the need for responsible treatment strategies and improved veterinary oversight.

The paper argues that antimicrobial resistance in dairy cattle should be addressed through prevention, diagnosis, and stewardship rather than reliance on repeated treatment. Strengthening laboratory monitoring, guiding antibiotic selection, and promoting better herd hygiene are central to reducing risk. The study concludes that managing resistance is essential for protecting dairy cattle health and maintaining the sustainability of livestock production in Egypt.

Key words: antimicrobial resistance, dairy cattle, Egypt, veterinary pathogens, disease management

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DIAGNOSTIC IMAGING TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL VETERINARY PRACTICE IN UKRAINE

Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko, Iryna Kovalenko, Olha Tkachenko
Faculty of Veterinary Medicine, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This study explores diagnostic imaging techniques in small animal veterinary practice in Ukraine, where modern imaging has become an important tool for accurate diagnosis and treatment planning. Companion animal medicine increasingly depends on technologies that allow veterinarians to detect internal disorders, assess injury, and guide clinical decision-making. The paper examines the role of imaging in improving the quality of small animal care.

The study is based on veterinary diagnostic literature and clinical imaging research. It focuses on radiography, ultrasonography, and other imaging methods used in routine and specialized practice. The findings suggest that imaging improves diagnostic confidence, supports earlier intervention, and helps veterinarians evaluate treatment outcomes more effectively. The study also emphasizes the importance of technical training, equipment access, and interpretation skills in ensuring reliable use of imaging tools.

The paper argues that diagnostic imaging should be viewed as an essential part of contemporary veterinary practice rather than as an optional supplement. In Ukraine, strengthening access to imaging technology can improve animal welfare, clinical accuracy, and veterinary service quality. The study concludes that expanding imaging capacity and professional training is important for the advancement of small animal veterinary medicine.

Key words: diagnostic imaging, small animals, veterinary practice, Ukraine, clinical diagnosis

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-COMMUNIST ROMANIAN CITIES

Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sherif, Mona Hassan, Karim Abdelrahman
Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This study explores sustainable urban regeneration strategies in post-communist Romanian cities, where the transition from centrally planned urban development to market-oriented growth has produced fragmented urban fabrics, underused land, and uneven social development. Many cities in Romania continue to face the legacy of industrial decline, spatial polarization, and deteriorated public spaces, making regeneration a central issue in contemporary planning and urban policy. The paper examines how sustainable strategies can support physical renewal while also addressing social inclusion, cultural identity, and long-term environmental quality.

The study is based on a review of urban regeneration literature, planning policy documents, and comparative studies of post-socialist city transformation. It focuses on the relationship between adaptive urban renewal, heritage conservation, public space improvement, and community participation. The findings suggest that regeneration efforts are most effective when they combine spatial improvement with social and economic revitalization. Rather than relying only on large-scale redevelopment, successful strategies often build on local identity, mixed-use development, and the rehabilitation of existing urban assets.

The paper also emphasizes the importance of integrating sustainability into regeneration policy. In post-communist cities, this means addressing housing quality, mobility, green infrastructure, and the reuse of vacant or degraded land in ways that support both ecological balance and urban liveability. The study argues that urban regeneration should be understood as a long-term process of restructuring the city while preserving its historical continuity and responding to contemporary needs. It concludes that sustainable regeneration can help Romanian cities move beyond post-socialist transition toward more resilient, inclusive, and adaptable urban futures.

Key words: urban regeneration, post-communist cities, sustainability, Romania, urban transformation

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN BUCHAREST METROPOLITAN AREA

Dr. Youssef El Amrani, Fatima Zahra El Idrissi, Hassan Benali, Nadia Tazi
Faculty of Architecture, Polytechnic University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This study investigates the adaptive reuse of industrial heritage buildings in the Bucharest metropolitan area, where deindustrialization has left behind a large stock of obsolete factories, warehouses, and production spaces. These structures are increasingly recognized not only as remnants of the industrial past but also as valuable spatial resources that can support contemporary urban development. The research explores how adaptive reuse can contribute to heritage preservation, economic renewal, and urban sustainability.

The study draws on industrial heritage literature, regeneration theory, and architectural conservation research. It examines the potential of reuse strategies to preserve historic character while introducing new functions such as cultural venues, creative industries, education, housing, and commercial activity. The findings indicate that adaptive reuse can reduce demolition waste, extend building life cycles, and strengthen local identity when it is guided by context-sensitive design and regulatory support.

The paper also considers the challenges of reuse, including structural deterioration, ownership fragmentation, investment constraints, and the need to reconcile conservation goals with contemporary spatial demands. It argues that industrial heritage should be treated as an active component of the city rather than as a frozen relic of the past. In the Bucharest context, adaptive reuse can help reconnect neglected districts with the wider metropolitan fabric and generate new forms of urban vitality. The study concludes that industrial heritage reuse offers a sustainable and culturally meaningful approach to urban transformation in post-industrial cities.

Key words: adaptive reuse, industrial heritage, Bucharest, urban regeneration, heritage conservation

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

TRADITIONAL MOROCCAN COURTYARD ARCHITECTURE AND ITS CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN PRINCIPLES

Prof. Dr. Khalid Bouhaddou, Samira Lahlou
Faculty of Architecture and Landscape Design, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This paper examines traditional Moroccan courtyard architecture and the climate-responsive design principles embedded in its spatial organization. In hot and variable climates, courtyard houses have historically provided effective environmental comfort through natural ventilation, shading, thermal moderation, and protected private space. The study explores how these architectural traditions offer valuable lessons for contemporary sustainable design.

The research is grounded in architectural history, environmental design, and vernacular building studies. It focuses on key elements such as inward-oriented layouts, thick walls, water features, shaded circulation zones, and the use of local materials. The findings show that courtyard architecture creates microclimatic advantages by reducing heat gain and improving indoor comfort without reliance on mechanical systems. It also supports social life, privacy, and family interaction, making it both environmentally and culturally adaptive.

The paper further argues that traditional courtyard principles remain relevant in modern architecture, especially in regions facing heat stress and energy concerns. Rather than viewing vernacular design as outdated, the study presents it as a model of climate intelligence that can inform contemporary urban housing and public buildings. The paper concludes that Moroccan courtyard architecture represents a strong example of how heritage-based design can contribute to sustainable, culturally grounded, and climate-responsive environments.

Key words: courtyard architecture, Moroccan vernacular design, climate responsiveness, sustainable architecture, thermal comfort

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

URBAN MORPHOLOGY AND INFORMAL SETTLEMENT DEVELOPMENT IN CASABLANCA PERIPHERIES

Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu, Radu Georgescu
Faculty of Urban Studies, University of Casablanca, Morocco

ABSTRACT

This study explores the relationship between urban morphology and informal settlement development in the peripheries of Casablanca. Rapid urban growth, housing shortages, and uneven access to land have contributed to the expansion of informal neighborhoods at the city's edge. The research examines how spatial form, infrastructure gaps, and planning limitations shape the development of these settlements and influence broader patterns of metropolitan growth.

The study is based on urban morphology and informal urbanization literature. It focuses on the spatial logic of peripheral settlement formation, including plot fragmentation, incremental construction, road irregularity, and the limited presence of public services. The findings suggest that informal settlements are not simply disconnected spaces, but dynamic urban forms that respond to social need, economic constraint, and spatial exclusion. Their morphology reflects both adaptation and marginalization within the metropolitan system.

The paper argues that informal settlement development should be understood as part of the broader urban structure rather than as a separate phenomenon. In Casablanca, more inclusive planning approaches are needed to connect peripheral neighborhoods to infrastructure, public space, and mobility networks. The study concludes that better understanding of urban morphology can support more effective policy responses and contribute to more equitable urban development in the city's expanding peripheries.

Key words: urban morphology, informal settlements, Casablanca, peripheral development, urban planning

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE

Prof. Dr. Andrei Popa, Elena Ionescu, Mihai Dumitrescu
Faculty of Architecture, Alexandria University, Egypt

ABSTRACT

This study investigates passive cooling techniques in vernacular Egyptian desert architecture and their relevance for sustainable building design. In hot arid environments, traditional architecture developed a range of strategies for reducing heat gain and improving thermal comfort without mechanical systems. The paper examines these techniques as part of a broader environmental knowledge system shaped by climate, material availability, and local building practice.

The research draws on vernacular architecture, environmental design, and sustainable construction literature. It focuses on architectural features such as narrow openings, thick walls, shaded courtyards, wind capture, high ceilings, and the use of earth-based materials. The findings show that these design elements work together to create stable indoor conditions and reduce dependence on energy-intensive cooling systems. They also reflect a deep understanding of local climate behavior and settlement adaptation.

The paper further argues that passive cooling strategies from vernacular architecture should inform contemporary sustainable design in desert regions. Rather than relying exclusively on modern technologies, architects and planners can adapt proven traditional principles to current building needs. The study concludes that vernacular Egyptian desert architecture offers important lessons for climate-responsive design, energy efficiency, and the development of environmentally appropriate buildings in hot regions.

Key words: passive cooling, vernacular architecture, Egyptian desert, climate-responsive design, sustainable building

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SMART CITY IMPLEMENTATION AND HERITAGE CONSERVATION IN HISTORIC CAIRO DISTRICTS

Dr. Laila Naguib, Youssef Hamdy, Nour El-Din Farouk
Faculty of Urban and Regional Planning, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This paper examines the relationship between smart city implementation and heritage conservation in historic districts of Cairo. As digital governance, data-driven planning, and urban technology become central to contemporary city management, questions arise about how these tools interact with the preservation of historic urban fabric. The study explores whether smart city initiatives can support conservation goals while also improving urban services and management efficiency.

The research is based on smart city and heritage planning literature, with attention to the complex spatial, social, and administrative conditions of historic Cairo. It considers the potential of digital mapping, monitoring systems, mobility management, and public service coordination in areas where heritage assets and dense urban life coexist. The findings suggest that smart technologies can contribute positively to conservation when they are applied in ways that respect the character, scale, and social use of historic neighborhoods.

The paper also warns that overly technical approaches may weaken local identity or encourage interventions that privilege efficiency over cultural continuity. It argues that smart city planning in historic districts should be guided by conservation principles, community participation, and sensitivity to place. The study concludes that digital urban innovation and heritage protection are not opposing goals; rather, they can be mutually supportive when planning frameworks are carefully integrated.

Key words: smart city, heritage conservation, historic Cairo, digital planning, urban management

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

WATERFRONT URBAN DESIGN AND RESILIENCE STRATEGIES ALONG THE NILE RIVER IN EGYPT

Prof. Dr. Mahmoud El-Gohary, Salma Fathy
Faculty of Engineering, Ain Shams University, Egypt

ABSTRACT

This study explores waterfront urban design and resilience strategies along the Nile River in Egypt, where riverfront areas play an important role in urban life, landscape identity, and environmental regulation. As cities continue to expand along the river, waterfronts must address both public use and vulnerability to flooding, erosion, and ecological stress. The paper investigates how urban design can support resilience while enhancing the social and spatial quality of riverfront environments.

The research is based on waterfront planning, resilience theory, and landscape urbanism literature. It focuses on the design of public access, green corridors, flood-sensitive edges, mixed-use interfaces, and environmentally responsive open spaces. The findings suggest that resilient waterfronts should combine ecological protection with inclusive public realm design. In the Nile context, this means creating spaces that can adapt to water variation while offering recreational, cultural, and social value.

The study also emphasizes the importance of integrating riverfront development with broader urban and environmental planning. Rather than treating the waterfront as a disconnected linear project, the paper argues for a coordinated strategy that links mobility, public space, and ecological continuity. The study concludes that Nile waterfront design has the potential to strengthen urban resilience, support environmental stewardship, and improve the relationship between Egyptian cities and their river landscapes.

Key words: waterfront design, Nile River, urban resilience, public space, landscape planning

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

POST-WAR RECONSTRUCTION AND URBAN IDENTITY IN UKRAINIAN CITIES

Dr. Natalia Bondarenko, Andrii Melnyk
Faculty of Architecture and Urban Planning, National University of Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

This study examines post-war reconstruction and urban identity in Ukrainian cities, where large-scale destruction has created urgent planning, social, and cultural challenges. Reconstruction is not only a technical process of rebuilding damaged structures but also an opportunity to redefine urban identity, collective memory, and spatial continuity. The paper explores how cities can recover in ways that support both functional repair and symbolic renewal.

The study is based on literature concerning post-conflict reconstruction, urban identity, and resilient planning. It considers the importance of historical preservation, public space restoration, housing renewal, and community participation in post-war urban recovery. The findings suggest that reconstruction strategies are strongest when they recognize the emotional and cultural significance of places, rather than focusing solely on physical infrastructure. Built form, street patterns, and civic landmarks all play a role in shaping how residents reconnect with their cities.

The paper argues that post-war urban development must balance modernization with memory. In Ukrainian cities, reconstruction should aim to create safer, more inclusive, and more adaptable environments while also preserving meaningful traces of urban history. The study concludes that rebuilding after war offers an opportunity to strengthen urban identity and develop planning approaches rooted in resilience, dignity, and long-term social recovery.

Key words: post-war reconstruction, urban identity, Ukrainian cities, resilient planning, urban recovery

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

VERİ-ADAPTİF STANCU PARAMETRELİ BDS OPERATÖRÜNÜN FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNE UYGULANMASI

APPLICATION OF DATA-ADAPTIVE STANCU PARAMETERIZED BDS OPERATOR TO FINANCIAL TIME SERIES

Öğr. Gör. Betül ÖZTEL

İstanbul Esenyurt Üniversitesi, betuloztel@esenyurt.edu.tr – ORCID: 0000-0002-5973-9323

Öğr. Gör. Dr. Yağmur ÇETİNTAŞ PALABIYIKOĞLU

İstanbul Esenyurt Üniversitesi, yagmurcetintas@esenyurt.edu.tr – ORCID: 0009-0003-8589-1585

ÖZET

Bu çalışma, Baskakov–Durrmeyer–Stancu (BDS) operatörünün finansal zaman serilerinin örneklem içi düzgünleştirilmesinde kullanılması için matematiksel ve hesaplamalı bir protokol sunmaktadır. Durrmeyer bileşeni ayrık bir düğüm toplamıyla değil, Baskakov bazına göre gerçek integral ortalamasıyla tanımlanmıştır. Sonlu fiyat gözlemleri önce parçalı doğrusal bir fonksiyona dönüştürülmekte, zaman ve fiyat eksenleri ayrı ayrı [0, 1] aralığına ölçeklenmekte ve integralin [0, ∞) tanım kümesi için fonksiyon sabit sınır uzatmasıyla tamamlanmaktadır. İntegraller, $t = u/(1 - u)$ dönüşümünden sonra beta ağırlıklı sayısal kuadratürle; sonsuz toplam ise ihmal edilen Baskakov kütlesi önceden belirlenen toleransın altında kalacak biçimde hesaplanmaktadır. Stancu parametreleri $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 2$ kısıtını her adımda sağlayan bir parametreleme ile seçilmektedir. Klasik Baskakov, standart Baskakov–Durrmeyer ve eniyilenmiş BDS sonuçları MSE, MAE ve RMSE ile karşılaştırılacaktır. Önceki sürümde yer alan sayısal sonuçlar integral içermeyen bir hesaplama formuna dayandığı ve bazı parametre çiftleri kuramsal kısıtı ihlal ettiği için ampirik bulgu olarak kullanılmamış; yalnızca açıkça işaretlenmiş taslak grafikler biçiminde yöntemsel değerlendirme amacıyla korunmuştur. Doğrulanmış sonuçlar, ham veri ile birlikte gerçek integral algoritması yeniden çalıştırıldıktan sonra raporlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Baskakov-Durrmeyer-Stancu Operatörü, Pozitif Lineer Operatörler, Yaklaşım Teorisi, Finansal Zaman Serileri, BIST 30, Parametre Eniyilemesi

ABSTRACT

This study presents a mathematically consistent computational protocol for using the Baskakov–Durrmeyer–Stancu (BDS) operator to smooth financial time series in sample. The Durrmeyer component is defined by an actual integral average with respect to the Baskakov basis, rather than by a discrete nodal sum. Finite observations are converted into a piecewise-linear function; time and price axes are scaled separately to [0, 1]; and a constant boundary extension makes the function well defined on the operator's domain. After the transformation $t = u/(1 - u)$, the integrals are evaluated by beta-weighted numerical quadrature. The infinite series is truncated adaptively so that the omitted Baskakov mass is below a prescribed tolerance. Stancu parameters are selected using a parameterization that enforces $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 2$ throughout optimization. The classical Baskakov, standart Baskakov–Durrmeyer, and optimized BDS

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

operators are to be compared by MSE, MAE, and RMSE. Numerical claims from the previous version are not treated as empirical findings because they were based on a non-integral computational form and included parameter pairs violating the theoretical constraint; they are retained only as clearly marked draft graphics for methodological evaluation. Verified empirical results must therefore be regenerated from the raw data with the corrected integral algorithm before publication.

Keywords: Baskako-Durrmeyer-Stancu Operator, Positive Linear Operators, Approximation Theory, Financial Time Series, BIST 30, Parameter Optimization

1. GİRİŞ

Finansal zaman serilerinin modellenmesi hem akademik hem de uygulamalı finans literatüründe merkezi bir konudur. Hisse senedi fiyatları, döviz kurları ve endeks değerleri gibi finansal büyüklükler; oynaklık kümelenmesi, ağır kuyruklu dağılımlar, yapısal kırılmalar ve doğrusal olmayan bağımlılıklar gibi karmaşık istatistiksel özellikler sergiler (Tsay, 2005; Engle, 1982; Bollerslev, 1986). Bu özellikler, klasik doğrusal modellerin (örneğin ARIMA) (Box and Jenkins, 1970; Hamilton, 1994) açıklama gücünü sınırlarken, son yıllarda derin öğrenme temelli yaklaşımların (Fischer and Krauss, 2018; Sezer et al., 2020; Krauss et al., 2017) finansal tahminde giderek daha fazla ilgi görmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, bir zaman serisinin gürültüden arındırılmış düzgün eğilim (smooth trend) bileşeninin matematiksel olarak tutarlı ve teorik yakınsama garantileri bulunan bir çerçeveyle yaklaşıklanması, hâlâ önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

Yaklaşım teorisi (approximation theory), sürekli fonksiyonların cebirsel yapılarla temsili konusunda derin bir teorik altyapı sunar. Bu alanın temel taşlarından biri, Korovkin tarafından geliştirilen ve pozitif lineer operatörlerin yakınsamasını test fonksiyonları üzerinden belirleyen ölçüttür (Korovkin, 1953). Bu çerçevede Bernstein polinomları (Lorentz, 1986), Szász–Mirakyan operatörleri ve Baskakov operatörleri (Baskakov, 1957) gibi pozitif lineer operatörler, sürekli fonksiyonları düzgün biçimde yaklaşıklama yetenekleriyle öne çıkar. Baskakov operatörü, özellikle $[0, \infty)$ aralığında tanımlı fonksiyonların yaklaşıklanmasında Bernstein polinomlarının doğal bir uzantısı olarak kabul edilir.

Klasik operatörler yalnızca fonksiyonun ayrık noktalardaki değerlerini kullanır; bu da özellikle gürültülü verilerde yaklaşım kalitesini sınırlar. Durrmeyer (1967) tarafından önerilen integral modifikasyonu, operatörü bir integral ortalaması biçiminde yeniden tanımlayarak Lp uzaylarında yaklaşıklamayı mümkün kılmış ve gürültüye karşı dayanıklılığı artırmıştır. Stancu (1968) ise operatöre α ve β gibi ek şekil (shape) parametreleri ekleyerek yaklaşım davranışının veri özelliklerine göre ayarlanabildiği esnek bir aile tanımlamıştır. Bu iki modifikasyonun birleşimi olan Baskakov–Durrmeyer–Stancu (BDS) operatörü, hem integral yumuşatmasının hem de parametrik esnekliğin avantajlarını bir arada sunar.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, operatörün kuramsal integral tanımı ile finansal veri üzerindeki sayısal uygulamasını aynı tutmaktır. α ve β parametreleri keyfî seçilmek yerine, kuramsal $0 \leq \alpha \leq \beta$ koşulunu koruyan veri-adaptif bir sayısal eniyilemeyle belirlenecektir. Bu doğrultuda çalışma, kuramsal BDS tanımı ile sayısal olarak hesaplanan operatörü aynı integral formunda birleştirmektedir. Sonlu zaman serisinin parçalı doğrusal interpolasyonu, sınır

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

uzatması, integral kuadratürü ve sonsuz toplamın kesilmesi açık bir hesaplama akışı içinde tanımlanmakta; Stancu parametreleri ise $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 2$ koşulunu otomatik olarak koruyan kısıtlı bir eniyileme tasarımıyla seçilmektedir. Böylece hem yöntemin yeniden üretilebilirliği güçlendirilmekte hem de önceki sayısal çıktıların hangi koşullarda geçerli bir ampirik bulguya dönüştürülebileceği ortaya konmaktadır.

Makalenin geri kalanında literatür, matematiksel tanım, veri ve hesaplama protokolü ile doğrulama durumu sırasıyla sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Baskakov (1957), $[0, \infty)$ aralığında tanımlı fonksiyonların yaklaşıklanması için Bernstein ve Szász–Mirakyan yaklaşımlarını genişleten bir pozitif lineer operatör dizisi tanımlamıştır. Bu operatörlerin yakınsama davranışı; düzgünlük modülleri, ağırlıklı fonksiyon uzayları ve Korovkin tipi yaklaşım teoremleri çerçevesinde ayrıntılı biçimde incelenmiştir (DeVore and Lorentz, 1993; Ditzian and Totik, 1987; İspir, 2001; Altomare and Campiti, 1994). Farklı fonksiyon sınıfları için geliştirilen değiştirilmiş Baskakov operatörleri de yaklaşım hızı ile ağırlıklı uzaylardaki davranışı ele alan ayrı bir araştırma çizgisi oluşturmuştur (Gupta, 1994).

Pozitif lineer operatörlerde integral tipli yaklaşımın temel kaynaklarından biri, Durrmeyer'in Bernstein polinomları için geliştirdiği modifikasyondur (Durrmeyer, 1967). Bu yaklaşımda ayrık fonksiyon değerleri, baz fonksiyonlarıyla ağırlıklandırılmış integral ortalamalarıyla değiştirilmekte ve böylece operatör Lp türü fonksiyon uzaylarına genişletilebilmektedir. Aynı düşüncenin Baskakov bazına uygulanmasıyla oluşan Baskakov–Durrmeyer operatörlerinin türevlerle eşzamanlı yaklaşımı, ağırlıklı yaklaşım özellikleri ve yakınsama hızları Heilmann and Müller (1989) başta olmak üzere çeşitli çalışmalarda incelenmiş; konuya ilişkin genel yakınsama tahminleri daha sonra kapsamlı biçimde derlenmiştir (Gupta and Agarwal, 2014).

Operatörlere parametrik esneklik kazandıran bir diğer önemli yaklaşım, Stancu'nun düğüm noktalarını α ve β parametreleriyle kaydıran genelleştirmesidir (Stancu, 1968). Stancu tipi operatörlerin doğrudan yaklaşım özellikleri (Finta, 2005), q-tam sayı temelli Kantorovich biçimleri (Acu, 2015) ve Baskakov–Kantorovich operatörleriyle bağlantılı parametrik genellemeleri (Mohiuddine et al., 2021) literatürde ele alınmıştır. Benzer biçimde λ-Bernstein operatörleri (Cai et al., 2018), α-Bernstein operatörleri (Kajla and Acar, 2019), genelleştirilmiş Bernstein–Kantorovich ailelerinin sayısal karşılaştırmaları (Kadak and Özger, 2021) ve King tipi operatörler (Özarslan and Aktuğlu, 2013) parametre seçiminin yaklaşım davranışını değiştirebildiğini göstermektedir. Szász–Mirakyan ailesindeki parametrik asimptotik incelemeler de bu daha geniş araştırma yönünü desteklemektedir (Acar, 2015).

Finansal zaman serileri ise geleneksel olarak ARIMA ve GARCH sınıfı ekonometrik modellerle (Box and Jenkins, 1970; Engle, 1982; Bollerslev, 1986) ya da makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle (Fischer and Krauss, 2018; Sezer et al., 2020; Krauss et al., 2017) modellenmektedir. Pozitif lineer operatörlerin finansal veri analizindeki kullanımı bu yerleşik literatüre göre daha sınırlıdır. Bununla birlikte teorik yakınsama yapısı, az sayıda ayarlanabilir parametre ve elde edilen düzgün eğilimin doğrudan görselleştirilebilmesi, yaklaşım teorisi tabanlı operatörleri finansal zaman serilerinin örneklem içi düzgünleştirilmesi bakımından incelenmeye değer bir alternatif hâline getirmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. MATEMATİKSEL ARKA PLAN

3.1. Klasik Baskakov Operatörü

Tanım 1 (Baskakov Operatörü). f : [0, ∞) → R uygun büyüme koşullarını sağlayan sürekli bir fonksiyon olsun. n ∈ N için klasik Baskakov operatörü

$$B_n(f;\, x) \;=\; \sum_{k=0}^{\infty} p_{n,k}(x)\, f(k/n)\,,\; x \;\in\; [0,\infty), \tag{1}$$

biçiminde tanımlanır; burada Baskakov baz fonksiyonu

$$p_{n,k}(x) \;=\; \binom{n+k-1}{k} \cdot \frac{x^k}{(1+x)^{n+k}} \tag{2}$$

şeklindedir.

Baz fonksiyonları her x ≥ 0 için negatif değildir ve bir olasılık dağılımı oluşturur:

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_{n,k}(x) \;=\; 1,\; p_{n,k}(x) \;\geq\; 0. \tag{3}$$

Bu özellik, operatörün pozitif ve lineer olmasını garanti eder. Ayrıca B_n operatörü sabit fonksiyonları ve birinci dereceden momenti korur:

$$B_n(1;\, x) \;=\; 1,\; B_n(t;\, x) \;=\; x. \tag{4}$$

Teorem 1 (Korovkin Yakınsaması). f ∈ C[0, ∞) sınırlı ve sürekli ise, B_n(f; x) dizisi n → ∞ iken [0, b] ⊂ [0, ∞) kompakt aralıkları üzerinde f'ye düzgün olarak yakınsar:

$$\lim_{n\to\infty} \sup_{x\in[0,b]} |B_n(f;\, x) \;-\; f(x)| \;=\; 0. \tag{5}$$

Bu sonuç, {1, t, t^2} test fonksiyonları için yakınsamanın gösterilmesi ve Korovkin teoreminin (Korovkin, 1953) uygulanmasıyla elde edilir.

3.2. Durrmeyer Modifikasyonu

Klasik operatör yalnızca f'nin k/n noktalarındaki örnek değerlerine dayanır. Durrmeyer modifikasyonu (Durrmeyer, 1967) bu ayrık örnekleri, baz fonksiyonlarıyla ağırlıklandırılmış integral ortalamalarıyla değiştirir:

$$\tilde{B}_n(f;\, x) \;=\; (n-1)\, \sum_{k=0}^{\infty} p_{n,k}(x) \int_0^{\infty} p_{n,k}(t)\, f(t)\, dt. \tag{6}$$

Bu yapı, operatörün Lp[0, ∞) uzaylarında iyi tanımlı olmasını sağlar ve özellikle gürültü içeren verilerde yerel dalgalanmaları yumuşatarak daha kararlı bir yaklaşım üretir.

3.3. Stancu Parametreli BDS Operatörü

Stancu (1968) tarafından önerilen α, β parametreleri, integral içinde fonksiyonun değerlendirildiği konumu kaydırarak operatöre ek esneklik kazandırır. Bu çalışmada kullanılan Baskakov–Durrmeyer–Stancu operatörü

$$B_{n,\alpha,\beta}(f;\, x) \;=\; (n-1)\, \sum_{k=0}^{\infty} p_{n,k}(x) \int_0^{\infty} p_{n,k}(t)\, \overline{f}\left(\frac{nt+\alpha}{n+\beta}\right) dt, \tag{7}$$

biçiminde tanımlanır; burada n > 1, 0 ≤ α ≤ β ve $\bar{f}$ sonlu veri aralığı dışına uzatılmış fonksiyondur.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Not 1. α = β = 0 olduğunda eşitlik (7), standart Baskakov–Durrmeyer operatörüne indirgenir. İntegrali kaldırıp yalnızca f((k+α)/(n+β)) değerlerini kullanan toplam, Baskakov–Stancu tipinde ayrı bir operatördür; Durrmeyer operatörü değildir ve burada kullanılmaz.

t = u/(1 − u) dönüşümüyle her integral terimi

$$I_{n,k}^{\alpha,\beta}(f) = \left[\frac{1}{B(k+1,n-1)}\right] \int_0^1 u^k (1-u)^{n-2} \overline{f}\left(\frac{\frac{nu}{1-u}+\alpha}{n+\beta}\right) du \quad (8)$$

biçimine gelir. Dolayısıyla integral, β(k+1, n−1) dağılımına göre bir beklenen değerdir.

3.4. Yakınsama ve Hata Sınırları

BDS operatörünün yakınsama hızı fonksiyonun düzgünlüğüne ve operatörün merkezî momentlerine bağlıdır (Ditzian and Totik, 1987; DeVore and Lorentz, 1993). Bu çalışma, seçilen BDS varyantı için ayrıca kanıtlanmamış sabitli bir hata eşitsizliğini sonuç olarak kullanmaz. Ampirik hata değerleri yalnızca eşitlik (7)'nin sayısal çıktısından hesaplanır.

4. VERİ VE YÖNTEM

4.1. BIST 30 Veri Seti

Çalışmanın hedef veri evreni, veri kesim tarihinde BIST 30 için belirlenen 30 hisseye ait günlük kapanış serileridir. İncelenmesi planlanan semboller Çizelge 1'de listelenmiştir. Nihai uygulamada endeks bileşim tarihi, veri sağlayıcısı, her sembolün ilk ve son tarihi ile geçerli gözlem sayısı sonuç dosyasından otomatik olarak raporlanmalıdır; proje klasöründe ham veri bulunmadığı için bu sürümde doğrulanmamış kesin gün sayıları verilmemektedir.

Çizelge 1. BIST 30 kapsamında analiz edilen hisse senetleri

AEFES	AKBNK	ASELS	ASTOR	BIMAS	DSTKF
EKGYO	ENKAI	EREGL	FROTO	GARAN	GUBRF
ISCTR	KCHOL	KRDMD	MGROS	PETKM	PGSUS
SAHOL	SASA	SISE	TAVHL	TCELL	THYAO
TOASO	TRALT	TTKOM	TUPRS	ULKER	YKBNK

Girdi dosyalarında en az tarih ve kapanış fiyatı sütunları bulunmalı; analizde günlük kapanış fiyatı esas alınmalıdır.

4.2. Normalleştirme ve Ön İşleme

Ham fiyat serileri farklı ölçeklerde olduğundan, karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla aşağıdaki ön işleme adımları uygulanmıştır:

1. Eksik değer temizliği: Her hisse için tarih–kapanış fiyatı çiftleri eşleştirilmiş, eksik gözlemler çıkarılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2. Zaman ekseni: Seçilen gözlemlerin sırası $x_i = (i - 1)/(N - 1)$ ile [0, 1] aralığına taşınır.

3. Fiyat ekseni: Her kapanış serisi, min–maks dönüşümüyle ayrıca [0, 1] aralığına ölçeklenir (eşitlik 9).

4. Alt örnekleme: Hesaplama verimliliği için her seriden, ilk ve son gözlem dâhil, 100 eşit aralıklı indis seçilir.

5. Fonksiyonlaştırma: (x_i, y_i) noktaları arasında parçalı doğrusal f interpolantı kurulur.

$$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (9)$$

Operatörün [0, ∞) tanımı için $\bar{f}(z) = f(0)$ $(z < 0)$, $\bar{f}(z) = f(z)$ $(0 \le z \le 1)$ ve $\bar{f}(z) = f(1)$ $(z > 1)$ sabit sınır uzatması kullanılır.

4.3. Karşılaştırma Tasarımı

Aynı normalize seri üzerinde üç yaklaşım şeması karşılaştırılmıştır:

• Klasik Baskakov: Eşitlik (1), n = 50.

• Standart Baskakov–Durrmeyer (α = β = 0): Eşitlik (7), n = 50.

• Eniyilenmiş BDS: Eşitlik (7); α ve β her hisse için ayrı ayrı, fakat $0 \le \alpha \le \beta \le 2$ koşulu altında eniyilenir.

4.4. Gerçek İntegralin Sayısal Hesabı

Eşitlik (8), beta ağırlığına uyarlanmış Gauss–Jacobi kuadratürüyle hesaplanır. Sonsuz toplam için sabit bir K varsayılmaz. Bunun yerine, değerlendirme ızgarasındaki en büyük x için

$$1 - \sum_{k=0}^{K} p_{n,k}(x) < 10^{-10} \quad (10)$$

koşulunu sağlayan en küçük K seçilir. Her çalıştırmada kuadratür düğüm sayısı, elde edilen K ve tolerans kaydedilir.

4.5. Kısıtlı Parametre Eniyilemesi

α ve β parametrelerinin veri-adaptif seçiminde kısıt ihlalini engellemek için a, b ∈ [0, 1] yardımcı değişkenleri kullanılır:

$$\beta = 2b, \ \alpha = 2ab. \quad (11)$$

Bu parametreleme her denemede otomatik olarak $0 \le \alpha \le \beta \le 2$ verir. İki aşamalı prosedür şöyledir:

1. Kaba ızgara araması: $(a, b) \in [0, 1]^2$ üzerinde 9 × 9 ızgara taranır.

2. İnce eniyileme: En iyi ızgara noktasından başlayan sınırlı L-BFGS-B eniyilemesi uygulanır (Virtanen et al., 2020). Eniyilenmiş aday standart (α, β) = (0, 0) sonucundan daha kötüyse standart sonuç korunur.

Amaç fonksiyonu, yaklaşık seri ŷ ile gözlenen normalize seri y arasındaki Ortalama Kare Hata'dır:

$$\text{MSE}(\alpha, \beta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(y_i - \hat{y}_i(\alpha, \beta)\right)^2. \quad (12)$$

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Yaklaşım kalitesi üç metrikle ölçülmüştür:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2, \tag{13}$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|y_i - \hat{y}_i|, \tag{14}$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\mathrm{MSE}}. \tag{15}$$

Klasik operatöre göre yüzde iyileşme ise

$$\text{İyileşme}(\%) = \left(1 - \frac{\mathrm{MSE}_{\text{yöntem}}}{\mathrm{MSE}_{\text{klasik}}}\right) \times 100 \tag{16}$$

formülüyle hesaplanır. Ana karşılaştırmada n = 50 sabit tutulur; K eşitlik (10) ile belirlenir. Veri kaynağı, kesin tarih aralığı, gözlem sayısı, n, kuadratür derecesi, tolerans ve K kaydedilmeden bir sayısal bulgu doğrulanmış kabul edilmez.

5. BULGULAR

5.1. Doğrulama Durumu

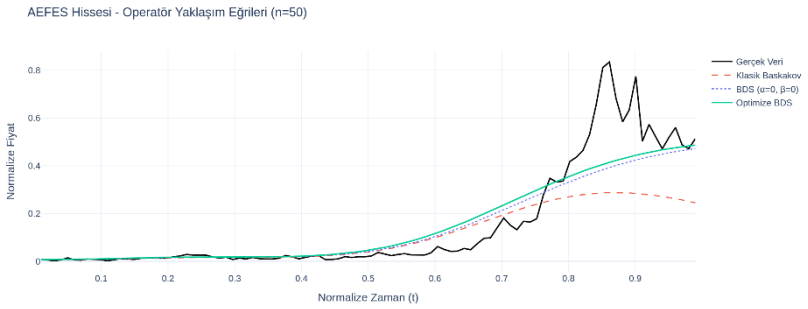
Bu revizyon sırasında proje klasöründe ham fiyat verileri veya eski sonuçları üreten hesaplama kodu bulunmamıştır. Mevcut tabloların integral içermeyen eşitlik (7) dışı bir forma dayandığı, bazı raporlanmış parametre çiftlerinin $\alpha \leq \beta$ koşulunu ihlal ettiği ve en az bir "eniyilenmiş" değerin standart değerden daha yüksek hata verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle eski tablolar ve şekiller gerçek BDS integralinin ampirik sonucu olarak sunulamaz.

Okuyucunun önceki analiz akışını ve yöntemler arasındaki görsel farkları izleyebilmesi amacıyla eski grafikler aşağıda yeniden sunulmuştur. Bununla birlikte bu görseller, ham veri ve onları üreten kod proje içinde bulunmadığından, doğrulanmış nihai sonuçlar değil taslak ön analizlerdir. Grafiklerdeki sayısal değerler gerçek Durrmeyer integraliyle yeniden hesaplanıncaya kadar yalnızca yöntemsel karşılaştırmayı ve doğrulama ihtiyacını göstermek amacıyla değerlendirilmelidir.

5.2. Taslak Yaklaşım Eğrileri

Görsel 1, AEFES serisi için gözlenen normalize fiyat ile klasik Baskakov, standart BDS ve eniyilenmiş BDS eğrilerini birlikte göstermektedir. Taslak grafikte operatörlerin kısa dönemli sıçramaları bastırarak daha düzgün bir eğilim oluşturduğu; BDS eğrilerinin özellikle serinin yükseliş bölümünde klasik Baskakov eğrisine göre gözlemleri daha yakından izlediği görülmektedir. Bununla birlikte tepe değerlerinin belirgin biçimde yumuşatılması, düzgünlük ile ani fiyat hareketlerini temsil etme gücü arasındaki ödünleşimi ortaya koymaktadır.

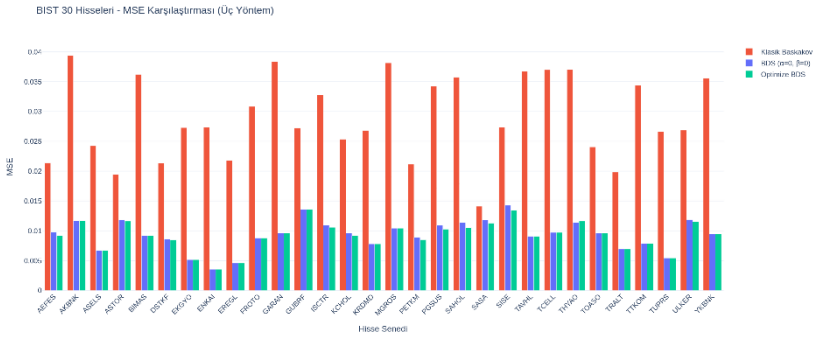
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



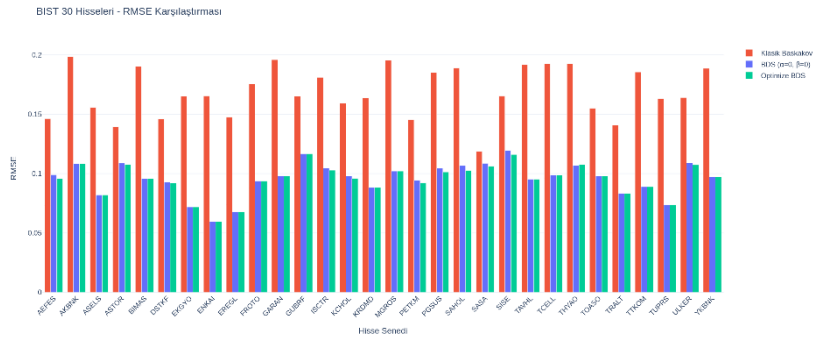
Görsel 1. AEFES hissesi için operatör yaklaşım eğrileri

5.3. Hata Ölçütlerinin Hisse Bazında Karşılaştırılması

Görsel 2 ve Görsel 3, üç yöntemin hisse bazındaki MSE ve RMSE değerlerini göstermektedir. Eski çıktılarda BDS sütunlarının bütün hisselerde klasik Baskakov sütunlarının altında kaldığı ve standart BDS ile eniyilenmiş BDS arasındaki farkın çoğu hissede daha sınırlı olduğu görülmektedir. Bu desen, hata azalmasının önemli bir bölümünün Durrmeyer tipi yumuşatma ile ilişkili olabileceğini düşündürse de mevcut grafiklerin integral içermeyen eski hesaplama formundan üretildiği unutulmamalıdır. Bu nedenle sütun yükseklikleri ve yöntem sıralamaları, düzeltilmiş algoritma çalıştırılmadan nicel sonuç olarak yorumlanmamalıdır.



Görsel 2. BIST 30 hisseleri için MSE karşılaştırması



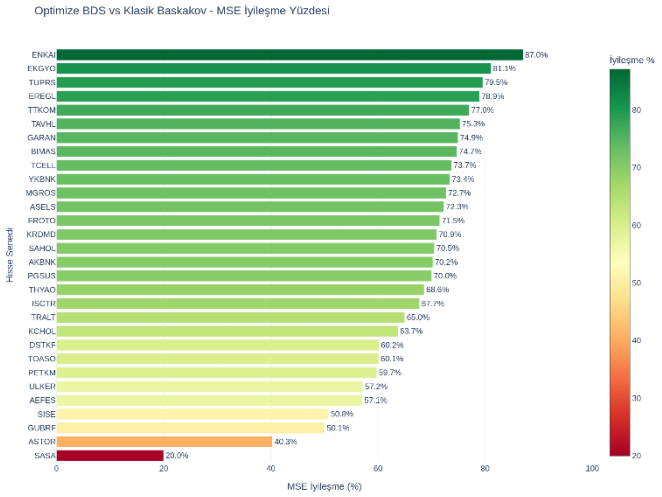
Görsel 3. BIST 30 hisseleri için RMSE karşılaştırması

5.4. Hata Azalma Yüzdesinin Dağılımı

Görsel 4, eski hesaplamada eniyilenmiş BDS yönteminin klasik Baskakov yöntemine göre MSE iyileşme yüzdesini sıralı olarak vermektedir. Taslak grafikte iyileşmenin hisseler arasında homojen olmadığı; en yüksek değerin ENKAI, en düşük değerin ise SASA için raporlandığı

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

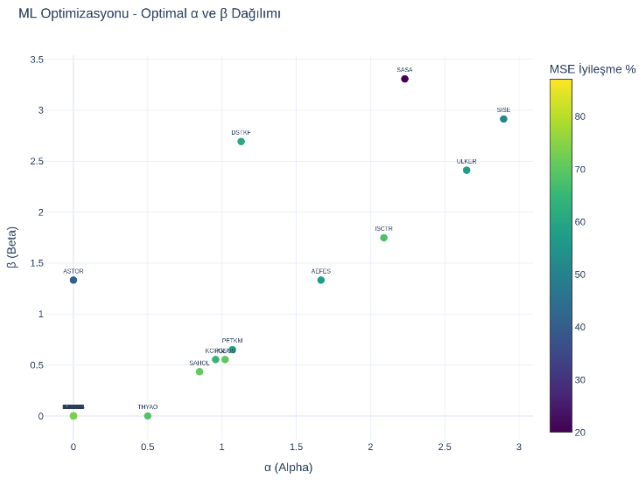
görülmektedir. Bu farklılaşma, seri yapısının ve fiyat hareketlerinin operatör performansını etkileyebileceğine işaret etmektedir. Ancak grafikteki yüzdeler doğrulanmış integral algoritmasından üretilmediği için kesin başarı oranları olarak kullanılmamalıdır.



Görsel 4. Klasik Baskakov yöntemine göre MSE iyileşme yüzdeleri

5.5. Stancu Parametrelerinin Dağılımı

Görsel 5, eski eniyilemede elde edilen α ve β parametrelerinin dağılımını göstermektedir. Noktaların tek bir bölgede toplanmaması, seri bazlı parametre uyarlamasının farklı çözümler ürettiğini göstermektedir. Bununla birlikte grafikte 2 üst sınırını aşan değerlerin bulunması, eski eniyilemenin bu çalışmada benimsenen $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 2$ kısıtıyla uyumlu olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu görsel bir başarı bulgusundan çok, kısıtlı parametrelemenin neden gerekli olduğunu gösteren bir kalite kontrol bulgusu olarak değerlendirilmelidir.



Görsel 5. Eski eniyilemede α ve β parametrelerinin dağılımı

5.6. Sonuçların Kabul Ölçütleri

Yeni sayısal sonuçlar ancak aşağıdaki kontrollerin tümü sağlandığında bu bölüme eklenmelidir:

1. Sabit fonksiyon testi sayısal tolerans içinde $B_{n,\alpha,\beta}(1; x) = 1$ vermelidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2. Kuadratür derecesi iki katına çıkarıldığında raporlanan metrikler seçilen basamak duyarlılığında değişmemelidir.

3. Kesilen Baskakov kütlesi eşitlik (10)'daki toleransı sağlamalıdır.

4. Her hisse için $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 2$ olmalı ve eniyilenmiş MSE standart BDS MSE'sinden büyük olmamalıdır.

5. Çizelge, görsel, özet, tartışma ve sunumdaki tüm sayılar aynı makinece üretilmiş sonuç dosyasından gelmelidir.

Eski taslak grafiklerde yüzde iyileşme ve hisse sıralamaları gösterilmiş olmakla birlikte, bu kontroller tamamlanmadan söz konusu değerler doğrulanmış bulgu olarak raporlanmamıştır.

6. TARTIŞMA

Bu revizyonun temel sonucu ampirik bir üstünlük iddiası değil, yöntemsel bir düzeltmedir. Durrmeyer etkisi hakkında yorum yapabilmek için integralin gerçekten hesaplanması gerekir. Ayrık Stancu toplamından elde edilen hata azalması, integral yumuşatmasına atfedilemez.

Sabit sınır uzatması, 100 noktaya alt örnekleme, $n = 50$ seçimi ve örneklem içi MSE ile parametre seçimi sonuçları etkileyebilecek tasarım kararlarıdır. Nihai uygulamada en azından kuadratür derecesi, kesme toleransı, n ve alt örnekleme sayısı için duyarlılık analizi verilmelidir. Parametrelerin ve hatanın aynı gözlemler üzerinde seçilip raporlanması iyimserlik yaratabileceğinden, veri-adaptif katkı için ayrı bir doğrulama ızgarası veya kayan pencere analizi de önerilir.

7. SONUÇ

Bu çalışmanın düzeltilmiş sürümünde BDS operatörü, gerçek Durrmeyer integrali temelinde tek ve tutarlı bir biçimde tanımlanmıştır. Sonlu finansal verinin operatöre nasıl girdiği, integralin nasıl hesaplandığı, sonsuz toplamın nasıl kesildiği ve Stancu kısıtının nasıl korunduğu açıkça belirtilmiştir.

Ham veri ve eski hesaplama kodu proje içinde bulunmadığı için önceki sayısal iddialar doğrulanamamış; eski grafikler yalnızca taslak yöntemsel değerlendirme olarak korunmuş ve nihai sonuç olarak kullanılmamıştır. Bilimsel olarak geçerli bir ampirik sonuç, aynı 30 serinin düzeltilmiş integral algoritmasıyla yeniden işlenmesi ve Bölüm 5'daki kabul kontrollerinin geçilmesiyle elde edilecektir.

Gelecek çalışma önerileri şu şekilde sıralanabilir:

• Operatörlerin örneklem dışı (out-of-sample) tahmin performansının kayan pencere yaklaşımıyla değerlendirilmesi.

• Kantorovich türevleri ve q-tam sayı temelli genellemeler gibi alternatif operatör ailelerinin karşılaştırılması.

• Oynaklık ve hacim bilgilerini içeren çok değişkenli yaklaşım şemalarının geliştirilmesi.

• α, β parametrelerinin seri özellikleriyle (oynaklık, otokorelasyon vb.) ilişkisinin incelenmesi.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

• Sabit, doğrusal ve yansıtmalı sınır uzatmalarının uç nokta yanlılığı bakımından karşılaştırılması.

Genel olarak bu revizyon, matematiksel ad ile hesaplama formunun aynı olmasını sağlamakta; ampirik iddiaları ise yeniden üretilebilir hesaplama tamamlanana kadar bilinçli olarak ertelemektedir.

KAYNAKÇA

[1] Tuncer Acar. Asymptotic formulas for generalized szász-mirakyan operators. Applied Mathematics and Computation, 263:233–239, 2015.

[2] Ana Maria Acu. Stancu–schurer–kantorovich operators based on q-integers. Applied Mathematics and Computation, 259:896–907, 2015.

[3] Francesco Altomare and Michele Campiti. Korovkin-type Approximation Theory and its Applications. Walter de Gruyter, Berlin, 1994.

[4] Vladimir A. Baskakov. An example of a sequence of linear positive operators in the space of continuous functions. Doklady Akademii Nauk SSSR, 113(2):249–251, 1957.

[5] Tim Bollerslev. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31(3):307–327, 1986.

[6] George E. P. Box and Gwilym M. Jenkins. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco, 1970.

[7] Qing-Bo Cai, Bo-Yong Lian, and Guorong Zhou. Approximation properties of λ-bernstein operators. Journal of Inequalities and Applications, 2018(61):1–11, 2018. doi: 10.1186/s13660-018-1653-7.

[8] Ronald A. DeVore and George G. Lorentz. Constructive Approximation. Springer-Verlag, Berlin, 1993.

[9] Zeev Ditzian and Vilmos Totik. Moduli of Smoothness, volume 9 of Springer Series in Computational Mathematics. Springer-Verlag, New York, 1987.

[10] Jean-Louis Durrmeyer. Une formule d'inversion de la transformée de Laplace: applications à la théorie des moments. Thèse de 3e cycle, Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 1967.

[11] Robert F. Engle. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of united kingdom inflation. Econometrica, 50(4):987–1007, 1982.

[12] Zoltán Finta. On approximation properties of stancu operators. Studia Universitatis Babeş-Bolyai Mathematica, 50(3):47–55, 2005.

[13] Thomas Fischer and Christopher Krauss. Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. European Journal of Operational Research, 270(2):654–669, 2018.

[14] Vijay Gupta. A note on modified baskakov type operators. Approximation Theory and its Applications, 10(3):74–78, 1994.

[15] Vijay Gupta and Ravi P. Agarwal. Convergence Estimates in Approximation Theory. Springer, Cham, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-02765-4.

[16] James D. Hamilton. Time Series Analysis. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1994.

[17] Margareta Heilmann and Manfred W. Müller. On simultaneous approximation by the method of baskakov–durrmeyer operators. Numerical Functional Analysis and Optimization, 10(1–2):127–138, 1989. doi: 10.1080/01630568908816295.

[18] Nurhayat İspir. On modified baskakov operators on weighted spaces. Turkish Journal of Mathematics, 25(3):355–365, 2001.

[19] Uğur Kadak and Faruk Özger. A numerical comparative study of generalized bernstein-kantorovich operators. Mathematical Foundations of Computing, 4(4):311–332, 2021. doi: 10.3934/mfc.2021021.

[20] Arun Kajla and Tuncer Acar. Modified α-bernstein operators with better approximation properties. Annals of Functional Analysis, 10(4):570–582, 2019.

[21] Pavel P. Korovkin. On convergence of linear positive operators in the space of continuous functions. Doklady Akademii Nauk SSSR, 90:961–964, 1953.

[22] Christopher Krauss, Xuan Anh Do, and Nicolas Huck. Deep neural networks, gradient-boosted trees, random forests: Statistical arbitrage on the s&p 500. European Journal of Operational Research, 259(2):689–702, 2017.

[23] George G. Lorentz. Bernstein Polynomials. Chelsea Publishing, New York, 2nd edition, 1986.

[24] Syed Abdul Mohiuddine, Naeem Ahmad, Faruk Özger, Abdullah Alotaibi, and Bipan Hazarika. Approximation by the parametric generalization of baskakov–kantorovich operators linking with stancu operators. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, 45(2):593–605, 2021. doi: 10.1007/s40995-020-01024-w.

[25] Mehmet Ali Özarslan and Hüseyin Aktuğlu. Local approximation properties for certain king type operators. Filomat, 27(1):173–181, 2013. doi: 10.2298/FIL1301173O.

[26] Omer Berat Sezer, Mehmet Ugur Gudelek, and Ahmet Murat Ozbayoglu. Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005–2019. Applied Soft Computing, 90:106181, 2020.

[27] Dimitrie D. Stancu. Approximation of functions by a new class of linear polynomial operators. Revue Roumaine de Mathématiques Pures et Appliquées, 13:1173–1194, 1968.

[28] Ruey S. Tsay. Analysis of Financial Time Series. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2 edition, 2005. doi: 10.1002/0471746193.

[29] Pauli Virtanen, Ralf Gommers, Travis E. Oliphant, et al. Scipy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in python. Nature Methods, 17:261–272, 2020. doi: 10.1038/s41592-019-0686-2.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SİVİL SAVUNMA VE İTFAİYECİLİK ÖĞRENCİLERİNDE KAN YOLUYLA BULAŞAN PATOJENLERE YÖNELİK BİLGİ, TUTUM VE KORUYUCU DAVRANIŞLAR: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA

Öğr. Gör. Cumali KARATUTLU Üniversitesi Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı Amasya cumali.karatutlu@amasya.edu.tr ORCID: 0000-0003-0605-8927

Öğr. Gör. Haluk AKTAY Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Altınyayla Mehmet Tuğrul Güvenlik Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Acil Durum ve Afet Yönetimi Programı Burdur haktay@mehmetakif.edu.tr ORCID: 0000-0001-5214-0089

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Erdem GÜNEY, Gazi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Pr. Ankara erdemguney@gazi.edu.tr ORCID: 0000 0002-8153-5239

Doç. Dr. İsmet ÇELEBİ, Gazi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, İlk ve Acil Yardım Pr. Ankara, ismetcelebi@gazi.edu.tr ORCID: 0000-0002-6494-2908

ÖZET

Amaç: Bu çalışma ile Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programına devam eden öğrencilerin kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklarla ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Tanımlayıcı tipte olan bu araştırmaya toplam 227 öğrenci katılmıştır. Sosyo demografik özellikler, kan ve vücut sıvılarına temas sonrası yapılacaklarla ilgili bilgi soruları ile kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşleri içeren üç bölümden oluşan veri toplama aracı kullanılmıştır.

Bulgular: Katılımcıların %54,6'sı kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bilgiye sahibi olduğunu, %58,1'i itfaiyeciliğin kan ve vücut sıvısı ile temas ihtimali bulunan riskli bir meslek gurubu olduğunu belirtmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin %84,1'i kan ve vücut sıvısı ile direk temasta bulunduğunda doktora başvuracağını belirtmiştir. Araştırmaya katılanların %56,4'ü kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili eğitim almak istediğini belirtmiştir. Katılımcıların %75,8'i Hepatit B markerlarına baktırmadığı, %68,7'si ise Hepatit B aşısı yaptırmadığı görülmektedir.

Sonuç: Katılımcıların %24,2'si HBV tetkiki, %20,3'ü HCV tetkiki, %13,7'si HIV tetkiki, %31,3'ü hepatit B aşısı yaptırdığı, kan ve vücut sıvısı ile ilgili bilgi sahibi olma durumu ile hepatit B aşısı yaptırma durumları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, Mesleki Maruziyet, Kan Yoluyla Bulaşan Patojenler, Biyolojik Risk Etmenleri, İtfaiyecilik Öğrencileri

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1.GİRİŞ

Bulaşıcı hastalıklar her yıl ortalama dört milyon insanın hayatını kaybetmesine neden olan ciddi bir halk sağlığı sorunudur (WHO, 2021). Bulaşıcı hastalıklar havayolu, sindirim yolu ve vektörlerle bulaşmakta olup viral, bakteriyel, parazitik ve fungal pek çok enfeksiyon etkeninin ise kan ve vücut sıvıları ile bulaştığı bilinmektedir (Savaşçı ve Avcı, 2016). Kan, kan ürünleri ve vücut sıvısı ile bulaşan enfeksiyon etkenleri genellikle perkütan yaralanmalar, bütünlüğü bozulmuş deri ile direkt temas, enfekte olan kan, kan ürünü veya vücut sıvılarının mukozalara sıçraması nedeniyle bulaşmaktadır (CDS, 2021). Bu sebeple özellikle yaralıların bulunduğu acil durumlara müdahale eden acil tıbbi servis ve itfaiye ekipleri bu konuda dikkatli davranmak zorundadır (Koçak, 2021).

İlk müdahale ekipleri olarak itfaiyeciler, yangın kontrolünün dışında çok çeşitli faaliyetlere katılırlar. Araştırmalar, ulusal çapta itfaiyecilerin zamanlarının ortalama %64'ünü tıbbi acil durumlara müdahale etmek için harcadıklarını göstermiştir (Barr ve ark. 2021). Bu sebeple itfaiyeciler tıpkı acil tıbbi servis personeli gibi özellikle kan yolu ile bulaşan enfeksiyonlara maruziyet potansiyeline sahiptirler (Boal ve ark. 2005; Contrera-Moreno ve ark. 2012).

İtfaiyeciler faaliyet alanları bakımından acil durum personeli arasında yer almasına rağmen uluslararası literatürde itfaiyecilerde kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar konusunda sınırlı sayıda kaynağın yer aldığı, Türkiye'de ise yapılan herhangi bir çalışmanın olmaması dikkat çekmektedir (Reed, 1993; Boal ve ark. 2005; Contera Moreno, 2012; Barr ve ark. 2021; IAFF, 2021). Özellikle itfaiyecilerin meslek hayatına atılmadan önce kan ve vücut sıvılarıyla bulaşan hastalıklar hakkında bilgi düzeylerinin yüksek olması ilerde bu tür hastalıklardan korunmalarını sağlayacaktır. Geleceğin yangın personeli arasında yer alacak olan Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı öğrencilerinin kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşlerinin değerlendirilmesi bu açıdan önem arz etmektedir.

Bu çalışma Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programına devam eden öğrencilerin kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşlerin değerlendirilmesi amacıyla planlanmıştır.

2.YÖNTEM

2.1.Araştırmanın Türü

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programına devam eden öğrencilerin kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşlerin değerlendirilmesi amacıyla planlanan bu çalışma tanımlayıcı tiptedir.

2.2.Evren ve Örneklem

Araştırma 2021-2022 eğitim öğretim yılında Amasya Üniversitesi ve Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesinde yapılmıştır. Amasya Üniversitesi ve Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programında öğrenim gören toplam 319 öğrenci araştırmanın evrenini oluşturmaktadır ve araştırmada tüm öğrencilere ulaşılması hedeflenmiştir. Bu sebeple örneklem seçim yöntemi kullanılmamıştır. Toplam 227 öğrenciye ulaşılmıştır (ulaşım oranı %71,2).

2.3.Veri Toplama Formu

Araştırmacılar tarafından oluşturulan veri toplama formu üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yaş, cinsiyet, eğitim gördüğü sınıf, mezun olunan lise türü, ailenin maddi durumu, annenin ve babanın mesleği gibi sosyo demografik özelliklerin bulunduğu sekiz sorudan oluşmaktadır. İkinci bölümde kan veya vücut sıvılarına temas sonrası öğrencilerin tutumunun ne olacağına dair sorular yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise toplam 25 sorudan oluşan kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşleri içeren sorular bulunmaktadır. Çalışmanın ön denemesi Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu Acil Durum ve Afet Yönetimi Programından 10 öğrenciye veri toplama formu uygulanarak yapılmıştır.

Veri toplama işlemi yüz yüze görüşme tekniği ile 25.10.2021-25.11.2021 tarihleri arasında toplanmıştır.

2.4.İstatistiksel Analiz

Veri seti IBM Statistics Package for Social Sciences (SPSS ver. 25.0) istatistiksel paket programı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmede kategorik veri sayı ve yüzde şeklinde belirtilmiştir. Kan ve vücut sıvısı ile ilgili bilgi sahibi olma durumu ile hepatit B aşısı yaptırma durumunun karşılaştırılmasında ki-kare analizi kullanılmıştır. Anlamlılık için $p<0,05$ kabul edilmiştir.

2.5.Etik

Amasya Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurulundan etik onay (06.05.2021 tarih ve 5 nolu toplantı) alınmıştır ve ilgili üniversite rektörlüklerinden izin alınmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.6.Sınırlılıklar

Bu çalışma tanımlayıcı tipte olup iki merkezde yürütüldüğü için sonuçları tüm itfaiye öğrencilerine genellenemez.

3.BULGULAR

Araştırmaya katılan öğrencilerin yaşları ortalama 20,73±1,63'tür. En küçük yaş 18, en büyük yaş ise 28'dir.

Tablo 1. Katılımcılara ait bazı sosyo-demografik özellikler

Öğrenim yeri		
Burdur Üniversitesi	63	27,8
Amasya Üniversitesi	164	72,2
Yaş	n	%
18-21	169	74,4
22-28	58	25,6
Cinsiyet		
Erkek	195	85,9
Kadın	32	14,1
Sınıf		
Birinci Sınıf	113	49,7
İkinci Sınıf	114	50,03
Ekonomik Durum		
Gelir<<Gider	73	32,2
Gelir=Gider	152	67,0
Gelir>>Gider	2	0,9
Bulaşıcı hastalıklar konusunda bilgim var		
Evet	124	54,6
Hayır	103	45,4
Bulaşıcı hastalıklar konusunda eğitim alma isteği		
Evet istiyorum	128	56,4
Hayır İstemiyorum	99	43,6
Hepatit B Marker yaptırma durumu		
Evet yaptırdım	55	24,2
Hayır yaptırmadım	172	75,8
Hepatit B Aşı yaptırma durumu		
Evet yaptırdım	71	31,3
Hayır yaptırmadım	156	68,7

Katılımcıların %14,1'i kadın, %72,2'si Amasya Üniversitesinde öğrenim görmekte, %74,4'ü 18-21 yaş aralığında, %54,6'sı (124 kişi) kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklar ile

ilgili bilgi sahibi olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların %24,2'si Hepatit B markerlarına baktırdığını ve % 31,3'ü Hepatit B aşısı yaptırdığını ifade etmiştir (Tablo 1).

Tablo 2. Katılımcıların kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bazı bilgi, tutum ve görüşler (n=227)

No	**Bilgi, Tutum ve Görüş**	**Evet**		**Hayır**		**Kararsızım**	
		%	n	%	n	%	n
1	Kan ve vücut sıvısı ile hastalık bulaşabilir mi?	89,9	204	0,9	2	9,3	21
2	İtfaiyecilik kan ve vücut sıvısı ile temas ihtimali bulunan riskli bir meslek midir?	58,1	132	9,3	21	32,6	74
3	Kurtarma yapılan kişilerden itfaiyecilere kan ve vücut sıvıları ile hastalık bulaşabilir mi?	67,8	154	7,9	18	24,2	55
4	İtfaiyecilerden, kurtarma yapılacak kişilere kan ve vücut sıvıları ile hastalık bulaşabilir mi?	54,2	123	15,0	34	30,8	70
5	İtfaiyeci müdahale alanında bir kişiden diğer bir kişiye kan ve vücut sıvısı ile hastalık bulaştırabilir mi?	53,7	122	8,8	20	37,4	85
6	İtfaiyeciler müdahale alanlarından veya iş yerlerinden, aile bireylerine kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalık taşıyabilir mi?	59,0	134	6,2	14	34,8	79
7	İtfaiyecilerin kan ile direk temasta bulunma durumları olur mu?	72,2	164	6,6	15	21,1	48
8	İtfaiyecilerin vücut sıvıları ile direk temasta bulunma durumları olur mu?	59,5	135	8,4	19	32,2	73
9	İtfaiyecilerin hastanın / yaralının cildindeki yaraya temasta bulunma durumları olur mu?	69,6	158	5,7	13	24,7	56
10	İtfaiyecilerin gözüne hastaya / yaralıya ait kan ve vücut sıvıları sıçrayabilir mi?	72,7	165	5,7	13	21,6	49
11	İtfaiyecilerin yüzüne hastaya / yaralıya ait kan ve vücut sıvıları sıçrayabilir mi?	71,4	162	6,2	14	22,5	51
12	Kan veya vücut sıvısı ile temas eden arama kurtarma araçları ile itfaiyeciler yaralanabilir mi?	50,7	115	10,1	23	39,2	89
13	Araç içerisinden hasta / yaralı taşıma sırasında hasta yaralının kan ve vücut sıvısı itfaiyeciye temas edebilir mi?	66,1	150	6,2	14	27,8	63
14	İlk yardım uygulanan kişilerden kan ve vücut sıvıları ile hastalık itfaiyeciye bulaşabilir mi?	64,8	147	6,2	14	29,1	66
15	Kişisel koruyucu donanımlar itfaiyecilere kan ve vücut sıvıları ile hastalık bulaşmasını engelleyebilir mi?	67,8	154	3,1	7	29,1	66
16	Arama kurtarma, müdahale ve ilk yardım yapıldıktan sonra kullanılan malzemeler başkalarına kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıkları bulaştırabilir mi?	62,6	142	3,5	8	33,9	77
17	Elde yara ve iz varsa yaralıların kan ve vücut sıvılarına temas etmekten kaçınılmalı mıdır?	76,7	174	4,0	9	19,4	44
18	Yaralı ve hastaları kurtarma ve ilk yardım yaparken kan ve vücut sıvısı ile temas edilecekse eldiven takılmalı mıdır?	86,3	196	1,3	3	12,3	28
19	Yaralı ve hastaları kurtarma ve ilk yardım yaparken kan ve vücut sıvısının sıçrama ihtimaline karşı koruyucu gözlük takılmalı mıdır?	86,3	196	1,3	3	12,3	28
20	Yaralı ve hastaları kurtarma ve ilk yardım yaparken kan ve vücut sıvısının sıçrama ihtimaline karşı maske takılmalı mıdır?	81,9	192	2,2	5	12,3	28
21*	Yaralının kan ve vücut sıvısına temas etmiş malzemeler ile yaralanma durumunda o bölgeye sıkı sargı ya da turnike uygulanmalı mıdır?	59,5	135	8,4	19	32,2	73

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

22*	Yaralının kan ve vücut sıvısına temas etmiş malzemeler ile yaralanma durumunda o bölge kanatılmalı mıdır?	28,6	65	24,2	55	47,1	107
23	Yaralının kan ve vücut sıvısına temas etmiş malzemeler ile yaralanma durumunda o bölge su ile yıkanmalı mıdır?	44,5	101	11,5	26	44,1	100
24	Yaralının kan ve vücut sıvısına temas etmiş malzemeler ile yaralanma durumunda o bölge alkol ile yıkanmalı mıdır?	53,7	122	8,8	20	37,4	85
25	Yaralının kan ve vücut sıvısına temas etmiş malzemeler ile yaralanma durumunda tetkik yaptırılmalı mıdır?	68,7	156	2,6	6	28,6	65

Katılımcıların %89,9'u hastalıkların kan ve vücut sıvısı ile bulaşabileceğini, %58,1'i itfaiyeciliğin kan ve vücut sıvısı ile temas ihtimali bulunan riskli bir meslek olduğunu, %67,8'i kurtarma yapılan kişilerden itfaiyecilere kan ve vücut sıvıları ile hastalık bulaşabileceğini belirtmiştir. Katılımcıların %54,2'si itfaiyecilerden, kurtarma yapılacak kişilere kan ve vücut sıvıları ile hastalık bulaşabileceğini, %53,7'si itfaiyecinin müdahale alanında bir kişiden diğer bir kişiye kan ve vücut sıvısı ile hastalık bulaştırabileceğini belirtmiştir (Tablo 2).

Tablo 3. Katılımcıların kan ve vücut sıvısı ile temas sonrası görüşleri

Kan ve vücut sıvısı ile temas durumunda ne yapılmalı	Evet		Hayır	
	n	%	n	%
Doktora başvurma	191	84,1	36	15,9
O bölgeyi antiseptik solüsyonla yıkama/silme	95	41,9	132	58,1
Hastada kanla bulaşan hastalık varlığını araştırırım / hasta / yaralıdan kan alınmasını sağlama.	88	38,8	139	61,2
O bölgeyi su ve sabunla yıkama.	85	37,4	142	62,6
Hasta/yaralıya Hepatit B'li olup olmadığını sorma.	79	34,8	148	65,2
Turnike yapma.	33	14,5	194	85,5
Orayı kanatma.	18	7,9	209	92,1

Not: Katılımcılar bu soruda birden fazla seçenek işaretlemişlerdir.

Araştırmaya katılan öğrencilere kan ve vücut sıvısı ile direk temasta bulunduğunda ne yapacağı sorulduğunda, öğrencilerin %84,1'i doktora başvuracağını, %41,9'u etkilenen bölgeyi antiseptik solüsyonla yıkayacağını, %38,8'i temas ettiği kişiden kan alınıp tetkik yapılmasını sağlayacağını belirtmiştir (Tablo 3).

Tablo 4. Bazı hastalıkların kan ve vücut sıvılarıyla bulaşmasına ilişkin katılımcı görüşleri

Kan ve Vücut Sıvısı ile bulaşan Hastalıklar	Evet		Hayır	
	n	%	n	%
Hepatit B	185	81,5	42	18,5
AIDS	160	70,5	67	29,5
Hepatit C	140	61,7	87	38,3
Kırım Kongo Kanamalı Ateşi	67	29,5	160	70,5
Kanser	20	8,8	207	91,2
KOAH	16	7,0	211	93,0
Gonore	14	6,2	213	93,8
Diyabet	6	2,6	221	97,4

Not: Katılımcılar bu soruda birden fazla seçenek işaretlemişlerdir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Araştırmaya katılan öğrencilerin %81,5'i Hepatit B'nin kan ve vücut sıvısı ile bulaşacağını, %70,5'i AIDS'in kan ve vücut sıvısı ile bulaşacağını, %61,7'si Hepatit C'nin kan ve vücut sıvısı ile bulaşacağını belirtmiştir (Tablo 4).

Tablo 5. Kan ve vücut sıvısı ile ilgili bilgi sahibi olma durumun ile hepatit B aşısı yaptırma durumlarının dağılımı

	Kan ve Vücut Sıvısı ile İlgili Bilgi Sahibi Olma Durumu			**x^2 değeri p değeri**
Hepatit B Aşısı Yaptırma Durumu	**Evet**	**Hayır**	**Toplam****	
Evet	64,8 (46)	35,2 (25)	68,7(156)	4,305
Hayır	50,0 (78)	50,0 (78)	31,3 (71)	0,03
Toplam	54,6 (124)	45,4 (103)	100,0 (227)	

Satır yüzdesi alınmıştır.
**Sütun yüzdesi olarak verilmiştir.

Araştırmaya katılan öğrencilerin kan ve vücut sıvısı ile ilgili bilgi sahibi olma durumu ile hepatit B aşısı yaptırma durumları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark vardır (x^2=4,305, p<0,05) (Tablo 5).

4.TARTIŞMA

Türkiye'de kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklara yönelik akademik çalışmalar genellikle sağlık çalışanları, sağlık hizmetlerinde görev yapacak öğrenciler veya sağlık hizmetlerinde staj yapan öğrenciler baz alınarak yapılmıştır (Türk ve ark. 2002; Çan, Topbaş ve Kapucu, 2003; Özçakır ve ark. 2011; Alpat ve ark. 2008; Çelik, 2006). Acil durum müdahale ekibinin bir parçası olan İtfaiyeciler genellikle kan ve vücut sıvılarına maruz kalma ihtimali yüksek olan meslek grubundadırlar (Williams, 2007). Nitekim Uluslararası İtfaiyeciler Birliği'nin (IAFF) yaptığı bir araştırmaya göre, her 50 itfaiyeciden birinin bulaşıcı bir hastalığa maruz kaldığı belirterek olayın ciddiyetine vurgu yapmıştır (IAFF, 2021). Türkiye'de bir ilk olan bu araştırmada riskin bu kadar yüksek olduğu bir melek için yetiştirilen öğrencilerin birçoğu kan ve vücut sıvıları ile ilgili bilgi sahibi olmadığını ve bu konuda eğitim almak istediğini belirtmiştir. Büyük ve arkadaşları tarafından (2016) ebelik öğrencileri ile yapılan araştırmada öğrencilerin yaralanma durumunda alınacak önlemler konusunda yeterli bilgiye sahip olmadıkları görülmüştür. Özçakır Tomruk tarafından (2011) diş hekimliği öğrencileri ile yapılan bir araştırmada öğrencilere HBV, kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklara yönelik eğitimler verilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Birçok araştırma sağlık hizmetlerinde görev yapacak olan öğrencilerin dahi bulaşıcı hastalıklara yönelik eğitim alması gerektiği

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

vurgulanmıştır (Ünsal ve ark. 2015; Büyük ve ark. 2016; Özçakır Tomruk ve ark. 2011; Yıldırım ve Özpulat, 2015; Marković-Denić ve ark. 2012; El-Houfey ve ark. 2013). Araştırmamız bu yönüyle literatürle uyumludur.

Bu araştırmada öğrencilerin çoğu HBV, AIDS ve HCV'nin kan ve vücut sıvısı ile bulaştığını belirtmiştir. Literatürde de kan ve vücut sıvıları ile bulaşan viral bulaşıcı hastalıkların önemli bir kısmını HIV-HCV-HBV viral enfeksiyonların (Akova, 1999) ve KKKA'nın (Akhan ve Kan, 2015) oluşturduğu belirtilmektedir. Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA) 2019'da hepatit, menenjit ve HIV gibi bulaşıcı hastalıklara 7.675 itfaiyecinin maruz kaldığını belirtmiştir (Campbell ve Evarts, 2021). Uluslararası İtfaiyeciler Derneği (IAFF) itfaiyecilerin %16,1'inin kan/vücut sıvılarına maruz kaldığını bildirmiştir (IAFF, 2021). Kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar açısından itfaiyecilerin de risk altında olduğu literatürde belirtilmekte ve ileride bu mesleği yapacak olan öğrencilerinde bu konuda bilgi sahibi olması gerekmektedir.

Bu araştırmada öğrencilerin birçoğu hepatit B aşısı ve tetkiki yaptırmadığını belirtmiştir. HBV bağışıklığının oluşması kan ve vücut sıvısı ile bulaşan HBV enfeksiyonunun önlenmesinde en önemli unsurlardan biridir (CFR-1991). Tıp fakültesi öğrencilerine yapılan araştırmada öğrencilerin %53,5'i hepatit B'ye karşı aşılandığını belirtmiştir (Alpat ve ark. 2008). Başka bir araştırmada ebelik öğrencilerin %95,4'ü hepatit B ye karşı aşılandığını belirtilmiştir (Büyük ve ark. 2016). Diş hekimliği öğrencileri üzerinde yapılan bir araştırmada öğrencilerin %79,3'ü hepatit B aşısı yaptırdığını belirtmiştir (Özçakır Tomruk, 2011). Brezilya da yapılan bir araştırmada itfaiyecilerin %66,5'inin hepatit B aşısı olduğu belirlenmiştir (Contrera-Moreno, 2012). Bu araştırma ile diğer araştırmalar arasında Hepatit B aşısı olma açısından farklı yüzdeler mevcuttur, bu farklılık bu araştırmaya katılan üniversitelerde Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programı müfredatında bulaşıcı hastalıklara yönelik derslerin bulunmaması ve bu açıdan bilgi eksikliği nedeniyle de aşılanma durumunun farklı olduğu kanaatindeyiz.

Bu araştırmaya katılan öğrencilerin çoğu HCV ve HIV için tetkik yaptırmadığını belirtmiştir. Uluslararası itfaiyeciler derneği (IAFF) Amerika'daki itfaiyecilerin %10,2'sinin HCV ile enfekte olduğunu belirtmiştir (IAFF, 2021). Sağlık çalışanları ve öğrencilerin kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ve enfeksiyon kontrol önlemleri hakkındaki bilgi düzeyi ve davranışlarının değerlendirilmesi ile ilgili araştırmada katılımcıların %49,8'i HCV ile ilgili tetkik yaptırdığını belirtmiştir (Çelik, 2006). Hemşireler üzerinde yapılan bir araştırmada

katılanların %84,7'si HCV tetkiki yaptırdığını belirtmiştir (Tasım, 2016). IAFF Amerika'daki itfaiyecilerin %8,6'sının HIV'e maruz kaldığını belirtmiştir (IAFF, 2021). Tıp uzmanlık öğrencilerinde yapılan araştırmada öğrencilerin %82,8'i HIV için tetkik yaptırdıklarını belirtmiştir. Bu araştırma ile diğer araştırmalar arasında HCV ve HIV tetkiki yaptırma durumunda farklı yüzdeler mevcuttur, bu farklılık bu araştırmaya katılan üniversitelerde Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programı müfredatında bulaşıcı hastalıklara yönelik derslerin bulunmaması ve bu açıdan bilgi eksikliği nedeniyle de tetkik yaptırma durumunun farklı olduğu kanaatindeyiz.

Bu araştırmada kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklara yönelik bilgi sahibi olan öğrenciler bilgi sahibi olmayanlara göre daha fazla hepatit B aşısı yaptırmıştır.

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Katılımcıların çoğu kan ve vücut sıvısı ile bulaşan hastalıklar ile ilgili bilgi sahibi olmadığını belirtmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin çoğu kan ve vücut sıvısı ile direk temasta bulunduğunda doktora başvuracağını belirtmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin birçoğu da etkilenen bölgeyi antiseptik solüsyonla, sabunla yıkanması gerekliliğini belirtmemiştir, birçoğu temas ettiği kişiden kan alınıp tetkik yapılmasını sağlaması ve kişiye hepatit B li olup olmadığını sorması gerekliliğini belirtmemiştir. Katılımcıların çoğu hepatit B, hepatit C ve HIV için tetkit yaptırmadığını belirtmiştir. Çalışmada kan ve vücut sıvısı ile bilgi sahibi olma durumunun hepatit B aşısı yaptırma durumunu etkilediği belirlenmiştir. Araştırmaya katılanların çoğu kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklar ile ilgili eğitim almak istediğini belirtmiştir.

Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programında kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklara yönelik dersler müfredata eklenmelidir. Bu bağlamda mesleklerini yaparken kan ve vücut sıvıları ile temasa yönelik ne yapmaları gerektiğinin eğitimleri de ayrıca verilmelidir. Öğrencilerin hepatit B aşısı yaptırmaları teşvik edilmeli ve kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklara yönelik gerekli tetkiklerin belirli periyotlarla yaptırılması sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

Akhan, S. & Kan, S. A. E. (2015). Diğer Vücut Sıvıları ile Bulaşan Enfeksiyonlar ve Korunma: HBV Infections Transmitted with Blood and Other Body Fluids and Prevention: HBV. Turkiye Klinikleri J Inf Dis-Special Topics, 8(1), 40-4.

Akova, M. (1999). Sağlık Personeline Kan Yoluyla Bulaşan Viral İnfeksiyonlar ve Korunmak İçin Alınacak Önlemler. Sağlık Çalışanlarının Sağlığı 1. Ulusal Kongresi 26-28 Kasım 1999, Ankara s. 48-54

Alpat, S. N., Özgüneş, İ., Nemli, S. A., Erben, N., Kartal, E. D. & Usluer, G. (2008). Tıp Fakültesi Öğrencilerinde Kan ve Vücut Sıvılarıyla Temasa Bağlı Mesleki İnfeksiyon Riski. Flora, 13(2), 88-92.

Alpat, S. N., Özgüneş, İ., Nemli, S. A., Kartal, E. D., Erben, N. & Usluer, G. (2008). Sağlık Çalışanlarında Kan ve Vücut Sıvılarıyla Temasa Bağlı Mesleki İnfeksiyon Riski. Flora, 13(1), 26-29.

Barr, K. L., Sturdivant, R. X., Williams, D. N. & Harris, D. (2021). Bacteria Associated with Healthcare-Associated Infections on Environmental Samples Obtained from Two Fire Departments. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(22), 11885.

Boal, W. L., Hales, T. & Ross, C. S. (2005). Blood-Borne Pathogens among Firefighters andEmergency Medical Technicians. Prehospital Emergency Care, 9(2), 236-247.

Büyük, E. T., Rizalar, S., Yüksel, P. & Yüksel, V. T. (2016). Öğrencilerin Delici Kesici Aletlerle Yaralanma Deneyimleri ve Bu Konuda Uygulama Alanında Yapilan Eğitimin Bilgi Düzeylerine Etkisi. Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi, 1(1), 167-178.

Campbell, R. B. & Evarts, B. (2021). United States firefighter injuries in 2020 (pp. 1-6). Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.

Communicable Diseases (CDS). (2021). World Health Organization. 01.04.2021. https://www.who.int/about/structure/organigram/htm/en/

Contrera-Moreno, L., de Andrade, S. M., Motta-Castro, A. R., Pinto, A. M., Salas, F. R., & Stief, A. C. (2012). Analysis of working conditions focusing on biological risk: firefighters in Campo Grande, MS, Brazil. *Work (Reading, Mass.), 41 Suppl 1,* 5468–5470. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0855-5468

Çan, G., Topbaş, M. & Kapucu, M. (2003). Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi öğrencilerinin kan ve infekte vücut sıvıları ile ilgili bilgi ve tutumları. Sağlık ve Toplum, 13(2), 91-95.

Çelik, Y. (2006). Sağlık Çalışanları ve Öğrencilerin Kan ve Vücut Sıvıları ile Bulaşan Hastalıklar ve İnfeksiyon Kontrol Önlemleri Hakkındaki Bilgi Düzeyi ve Davranışlarının Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR Part 1910.1030. Occupational exposure to bloodborne pathogens; final rule. Fed Regist 1991;56:64004-182.

El-Houfey, A. A., Sharkawey, S. A., & Hassan, A. K. (2013). Occupational exposure to blood and body fluids among nursing and dental students at internship year in Assiut City. Journal of American Science, 9(5), 466-475.

HIV and HBV, HCV. (2021). World Health Organization. 02.04.2021. https://www.who.int/health-topics/hepatitis#tab=tab_1

IAFF, International Association of Fire Fighters, Infectious Disease Erişim Tarihi: 13.12.2021. Erişim Adresi: https://www.iaff.org/infectious-disease/

Koçak H, Olay yeri yönetimi. Ed. Çelebi, İ. Paramedikler için hastane öncesi acil sağlık hizmetleri 2021

Marković-Denić, L., Oštrić, I., Pavlović, A. & Kalimanovska-Oštrić, D. (2012). Knowledge and occupational exposure to blood and body fluids among health care workers and medical students. Acta chirurgica iugoslavica, 59(1), 71-75.

Özçakir Tomruk, C., Özkurt, Z., Gürsoy, H. & Şençift, K. (2011). Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğrencilerinin, kan ve vücut sıvılarıyla bulaşan enfeksiyonlar, enfeksiyon kontrolü ve hepatit B enfeksiyonu ile ilgili bilgi düzeylerinin, tutumlarının ve hepatit B aşılanma ve serolojik durumlarının değerlendirilmesi. Cumhuriyet Dental Journal, 14(2), 78-91.

Reed E, Daya M R, Jui J, Grellman K, Gerber L, Loveless M O. Occupational infectious exposures in EMS personnel. J Emerg Med 1993; 1: 9–16

Savaşçı, Ü. ve Avcı, İ. Y. (2016). Kan ve Kan Bileşenleri ile Bulaşan Enfeksiyon Etkenleri ve Nükleik Asit Amplifikasyon Test (NAT) Yönteminin Önemi. İstanbul Kanuni Sultan Süleyman Tıp Dergisi, 8(3), 125-134.

Tasım F, Hemşirelerin kan ve vücut sıvıları ile ilgili bilgi tutum ve davranışları, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Kayseri 2016,

Türk, M., Altuğlu, İ., Çiçeklioğlu, M., Büke, Ç., Erensoy, S., Bilgiç, A. (2002). Hastane sağlık çalışanlarının kan ve vücut sıvıları ile bulaşan hastalıklardan korunma yolları konusunda eğitimi. Ege Tıp Dergisi, 41(4), 195-199.

Ünsal, G., Erbay, A., Demir, M. I., & Kader, Ç. (2015). Bozok Üniversitesi Hastanesi sağlık çalışanlarında kan ve vücut sıvılarıyla ilişkili maruziyetlerin değerlendirilmesi. Gazi Medical Journal, 26(4).

Williams, D. (2007). Communicable Disease and the Fire Service. Fire Engineering, 160(12), 85.

Yıldırım, A., & Özpulat, F. (2015). Sağlık meslek lisesi öğrencilerinin mesleki riskler konusunda bilgi ve farkındalık düzeyleri. Sted, 24(1), 18-25.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

APPLICATIONS OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE FOOD INDUSTRY

Assoc. Prof. Dr. CEYDA DADALI
Ege University, ceyda.dadali@ege.edu.tr - 0000-0003-2102-8582

ECE AYBÜKE ÖZDEMİR
Ege University, eceaybukeo@gmail.com - 0009-0008-5465-3011

ABSTRACT

Quality Function Deployment is a strategic methodology for product development and quality planning that was originally developed in Japan by Yoji Akao in the late 1960s and first implemented at the Mitsubishi Kobe Shipyard. The primary objective of this methodology is to translate the "Voice of the Customer" into quantitative and measurable engineering parameters. At the core of this methodology is the House of Quality matrix, which maps customer requirements ("WHATs") to technical specifications ("HOWs") while identifying potential engineering trade-offs. When adapted from traditional manufacturing to the food industry, Quality Function Deployment faces several industry-specific challenges including the inherent variability of biological raw materials, the need to use target ranges instead of fixed technical parameters, the dependence of product quality on the entire supply chain, and subjective sensory attributes such as aroma, flavor, and texture. To address these industry-specific challenges and the ambiguities in customer requirements, recent studies have extended Quality Function Deployment into hybrid models by integrating it with advanced analytical approaches, including the Kano Model, Quantitative Descriptive Analysis, Fuzzy Logic, Multi-Criteria Decision-Making techniques, and Graph Convolutional Networks. Furthermore, multi-stage Quality Function Deployment frameworks serve as effective decision-support tools for structuring operational processes and personnel training across a broad range of applications, including New Product Development, food safety traceability, halal assurance systems, and sustainable designs focused on organic agriculture and the circular economy. In conclusion, Quality Function Deployment has evolved into a strategic management framework that enhances consumer satisfaction, reduces research and development risks, and facilitates the implementation of sustainable quality objectives throughout the production process in food and related sectors.

Keywords: Quality Function Deployment, House of Quality, Voice of the Customer, New Product Development, Product Design.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

Quality Function Deployment (QFD) is a strategic product development and quality planning methodology originally formulated in Japan by Yoji Akao in the late 1960s (Benner et al., 2003). Akao initially implemented this approach at Mitsubishi's Kobe shipyards, successfully translating customer expectations into explicit engineering designs (Gunduz et al., 2021). The fundamental and primary objective of QFD is to maximize customer satisfaction by converting requested quality attributes commonly referred to as the "Voice of the Customer" into quantitative engineering specifications of a product (Bevilacqua et al., 2012). During the 1980s, the methodology expanded beyond Japan and gained widespread adoption among automotive, electronics, and heavy industrial enterprises across the United States and Europe (Benner et al., 2003). Organizations integrating QFD into their product development frameworks have achieved not only enhanced product quality but also substantially reduced time-to-market and development expenditure (Gunduz et al., 2021). At the core of QFD lies a system of matrices termed the "House of Quality", in which customer requirements ("WHATs") are systematically mapped onto technical descriptors ("HOWs") (Benner et al., 2003).

2. STRUCTURE OF THE HOUSE OF QUALITY MATRIX

The traditional House of Quality consists of six principal sections that establish systematic relationships between customer requirements and the technical specifications of a product (Gunduz et al., 2021). The first section comprises the "Customer Requirements" ("WHATs"), wherein consumers express their needs and expectations in their own words (Bevilacqua et al., 2012). These data are typically gathered through market research instruments such as focus groups, surveys, or in-depth interviews (Benner et al., 2003). The second section houses the "Relative Importance Weights" assigned to each customer requirement based on insights derived from market research (Bevilacqua et al., 2012). The third section, designated as "Technical Requirements" ("HOWs"), consists of quantifiable engineering specifications defined by design teams to satisfy customer expectations (Benner et al., 2003). The fourth section, the "Relationship Matrix," depicts whether the impact between each customer requirement and technical characteristic is weak, moderate, or strong, conventionally scored using values of 1, 3, and 9 (Benner et al., 2003). The fifth section the roof of the matrix, or the "Correlation Matrix" maps the positive or negative interrelationships among technical features, aiding in the identification of potential engineering trade-offs (Benner et al., 2003). Finally, the sixth section encompasses the competitive analysis phase, where benchmarking against competitors is conducted and target technical values ("HOW MUCH") are established (Gunduz et al., 2021).

3. APPLICATION CHALLENGES AND SYSTEM DYNAMICS OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE FOOD INDUSTRY

Although QFD has achieved remarkable success in the mechanical and electronic manufacturing, its adaptation to the food industry presents substantial challenges owing to the intrinsic and unique nature of food matrices (Benner et al., 2003). QFD was first introduced to the food industry in 1987. While physical components such as automotive parts can be manufactured to fixed, standardized dimensions, food ingredients are living, biologically active

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

raw materials characterized by inherent natural variability. During food processing, raw materials continuously undergo complex physical and chemical interactions with one another, directly and intricately governing final product quality. Owing to the complexity of these interactions, establishing discrete, definitive "target values" for technical descriptors in food-focused QFD as is conventional with mechanical engineering parts—is often unfeasible; instead, the utilization of "target intervals" becomes essential (Benner et al., 2003). Furthermore, the ultimate quality of a food product depends not solely on the raw material inputs, but on the entire continuum of processes across the supply chain, spanning from agricultural production to final packaging (de Fátima Cardoso et al., 2015). Consumer food choices, moreover, are not strictly driven by rational decision-making; they encompass sensory expectations such as aroma, taste, and texture that are inherently difficult to articulate linguistically. Consequently, QFD frameworks tailored for the food sector must imperatively be integrated with sensory evaluation techniques and supply chain parameters (Benner et al., 2003).

4. QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT APPLICATIONS IN THE FOOD AND AGRICULTURAL SECTORS

4.1. Hybrid Models Focused on Sensory Attributes, Consumer Perception, and Product Development

4.1.1. Enhancement of Quality Function Deployment for Brownie Design by Integrating the Kano Model and Sensory Profile Analysis into the House of Quality Matrix (Fauza et al., 2025)

To enhance the effectiveness of conventional QFD in food product development, Fauza et al. (2025) proposed an innovative analytical framework integrating the Kano Model and Quantitative Descriptive Analysis into the House of Quality matrix. The applicability of this hybrid approach was demonstrated through a brownie product development case study. The study evaluated a total of 12 quality attributes, encompassing intrinsic attributes such as taste, aroma, texture, and appearance, as well as extrinsic factors including packaging, labeling, and branding. The Kano model was used to classify customer expectations according to their potential effects on consumer satisfaction. Among the 12 evaluated attributes, eight were classified as one-dimensional requirements, two as attractive requirements, and two as indifferent requirements. The sensory profile of the developed product, mapped via Quantitative Descriptive Analysis, was benchmarked against three leading market competitors. Through the constructed House of Quality matrix, it was mathematically demonstrated that "ingredient composition (formulation)" (holding a relative weight of 9%) and "unique packaging design" (holding a relative weight of 11%) represented the most critical engineering priorities for maximizing consumer satisfaction. Unlike conventional QFD approach which strictly translates customer requirements into technical characteristics, this integrated model categorizes requirements based on their specific impact on consumer satisfaction and anchors them with measurable sensory attributes. Consequently, it provides product designers with a considerably more precise, targeted, and consumer-oriented decision-making mechanism (Fauza et al., 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

4.1.2. Analytical Kano- Quality Function Deployment Integration in Philippine Seaweed-Fortified Starch-Based Products (Cullano et al., 2025)

To enhance the nutritional value and functional properties of starch-based food matrices (fish crackers and fresh noodles), an Analytical Kano-QFD framework was employed during product design incorporating Philippine seaweeds to comprehensively address consumer expectations. In the cracker design phase, consumer surveys involving 172 participants categorized product texture, crunchiness, and flavor as the primary customer requirements. Based on the technical relationship matrix of QFD, the critical engineering descriptors identified to fulfill these expectations were frying duration, seaweed concentration, and the specific seaweed species utilized. A second application focused on the development of fresh noodles and involved 159 consumers. In this case, texture, smoothness, and natural flavor emerged as the most important customer requirements. The QFD analysis indicated that achieving these desirable attributes necessitated the rigorous optimization of seaweed inclusion levels and starch selection within the noodle formulation. Through the functional and dysfunctional questionnaire structure of the Kano model, seaweed addition was demonstrated to impart an umami taste profile, serving as an "attractive" quality attribute that confers a distinct competitive advantage from the consumer perspective (Cullano et al., 2025).

4.1.3. Utilization of Quality Function Deployment as a Strategy in Chocolate Beverage Design (Indraswari et al., 2024)

Indraswari et al. (2024) investigated the application of QFD as a strategic planning instrument to translate Voice of the Customer data into quantifiable and actionable engineering parameters during new chocolate beverage development. The Analytic Hierarchy Process was utilized to determine the relative importance weights of consumer expectations ("WHATs"), identifying appearance, viscosity, texture, aroma, and taste, respectively, as the most paramount quality attributes among consumers. To characterize the measurable technical specifications ("HOWs") of the product, Quantitative Descriptive Analysis was performed with 13 trained panelists, defining 15 distinct sensory and physical attributes of the chocolate beverage, including undissolved particles, color, sweetness, and bitterness. The complex interactions between customer requirements derived from market research and these expert-defined sensory attributes were integrated into the House of Quality matrix, enabling the mathematical computation of technical descriptor priorities. Competitive benchmarking analyses conducted between the novel university-developed formulation (Sample A) and four commercial market brands (Samples B, C, D, and E) designated Sample C as the benchmark target for best fulfilling market expectations. Matrix evaluations revealed that consumer expectations regarding "taste" exhibited a direct and strong correlation with the sweetness, bitterness, and cocoa aroma intensity of the beverage. Consequently, the study objectively demonstrates that to maximize consumer satisfaction and attain the sensory profile of Sample C the market leader subsequent formulation iterations should reduce bitterness and cocoa aroma levels while increasing the sweetness ratio of the chocolate beverage (Indraswari et al., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

4.1.4. Examination of Competitive Food Products Through Value Analysis and Quality Function Deployment (Onyedikachi & Emmanuel, 2020)

Onyedikachi and Emmanuel (2020) investigated the competitiveness of four primary food product categories beverages, tomato paste, seasonings/condiments, and yogurt operating under intense competition in the Nigerian market through Value Analysis and QFD methodologies, aiming to mitigate the risk of market share loss, preserve profitability, and identify optimization strategies to maximize customer satisfaction. In the methodological framework of the study, the structural ingredients and primary functions of selected competing product pairs (e.g., Beverage 1 and Beverage 2) were initially defined; subsequently, "Voice of the Customer" data gathered from 97 consumers via surveys were statistically analyzed. During the creative phase of value analysis, the QFD methodology was integrated, constructing distinct House of Quality matrices for each competing product pair to mathematically weight the degrees of relationship between consumer expectations and the technical requirements (product ingredients/formulations) physically designed to satisfy them. As a result of the generated House of Quality matrix analyses, it was established that in each evaluated food category, one brand held market dominance over the other in terms of consumer preference, leading to the formulation of specific strategies designed to enhance the performance of the disadvantaged products. For instance, it was objectively demonstrated that a brand seeking to elevate its competitiveness in the beverage category should increase the proportions of liquid glucose and sugar to impart greater energy and sweetness, while increasing the quantity of milk powder to ensure rapid solubility; in the tomato paste category, elevating the tomato solids content concurrently with soy fiber was shown to be necessary to improve both the viscosity and color profile of the disadvantaged product. Similarly, within the seasoning/condiment market, consumers were found to prioritize the inclusion of "flavor enhancer" components, indicating that manufacturers should reallocate resources toward this attribute, whereas formulation dynamics directly affecting consumer satisfaction were highlighted in yogurt product design. Overall, this study demonstrates that to achieve market success and competitiveness, design teams must concentrate on ingredients exhibiting the highest relative weights within the House of Quality matrix; furthermore, it underscores that food enterprises face a strategic imperative to periodically collect consumer expectations and execute data-driven value improvements that optimize the cost-benefit balance within product formulations (Onyedikachi & Emmanuel, 2020).

4.1.5. Kano- Quality Function Deployment Framework in Black Bean-Based Functional Foods (Kuo et al., 2014)

To precisely determine customer satisfaction dimensions in the design of a novel functional food emphasizing the health benefits of black bean, the Kano two-dimensional quality model was deployed in conjunction with QFD. Application of Kano analysis to the survey data revealed that consumers regarded attributes such as "verified product safety testing," "reasonable pricing," and "ease of acquisition" as "must-be" quality attributes, the absence of which engenders substantial dissatisfaction. While "all-natural ingredient composition" and "governmental certification" were classified as "one-dimensional" qualities, "product

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

palatability" was categorized as an "attractive" quality attribute that yields heightened satisfaction when present. Consumers were evaluated across three distinct consumption formats namely capsule, powder, and beverage; based on the resulting quality satisfaction rankings, the "beverage" format demonstrated the highest level of satisfaction, leading to the alignment of QFD matrices with this consumer preference (Kuo et al., 2014).

4.1.6. Glucosinolate Optimization in Ready-to-Eat Meals (Benner et al., 2003)

QFD was employed to enhance the health-promoting properties of a ready-to-eat meal comprising broccoli, potato gratin, and marinated salmon. The objective was to preserve the levels of glucosinolates endogenous compounds naturally present in broccoli demonstrated to confer protection against age-related pathologies. However, upon reaching the "HOW MUCH" (Target Values) phase of the House of Quality matrix, a major limitation intrinsic to food matrices emerged. Glucosinolate concentration was found to be simultaneously interrelated with distinct and conflicting customer expectations, including "flavor," "preparation time," "health promotion," and "non-toxicity." Whereas elevated glucosinolate levels were required to satisfy health-promoting claims, lower thresholds were demanded to optimize palatability and minimize potential toxicological risks. This demonstrated that owing to ingredient complexity in food product design, discrete target values cannot be assigned to technical characteristics, rendering trade-off analysis imperative (Benner et al., 2003).

4.2. Multi-Stage Supply Chain, Quality Assurance, and Sustainability-Oriented Quality Function Deployment Models

The fundamental strength of QFD lies in its capacity to cascade consumer expectations not merely into initial product planning, but down to operator training on the processing line. Consequently, QFD has evolved beyond a mere design tool into an expansive framework encompassing the entire supply chain and associated environmental impacts. Within food and agro-industrial processing, sustainability has established a novel paradigm for QFD through the mitigation of the ecological footprint and the integration of circular economy principles into product design (Santoso et al., 2024). These innovative, sustainability-driven designs facilitate waste minimization, enhanced energy efficiency, and the optimization of end-of-life product scenarios (Ocampo et al., 2020).

4.2.1. Implementation of Food Safety Traceability Systems in the Product Supply Chain Using Quality Function Deployment (Khumairo & Wahyuni, 2021)

The study conducted by Khumairo and Wahyuni (2021) presents an applied demonstration of the QFD methodology aimed at enhancing the food safety traceability system across the supply chain of a shrimp cracker manufacturer in Indonesia. Utilizing data gathered from 56 participants, customer requirements ("WHATs") were defined, and a House of Quality was constructed by correlating these expectations with technical requirements ("HOWs"). An analysis of the discrepancies between expected and perceived consumer satisfaction revealed that insufficient labelling information on packaging, rancid off-aromas, and taste profile

deficiencies generated the most pronounced negative gaps (dissatisfaction). Normalized analyses of the QFD matrix demonstrated that the immediate technical priorities required to elevate product quality comprised "ensuring consistency in packaging standards," "rendering packaging more informative," and "enhancing the color, taste, and aroma attributes of the product." To attain these optimization objectives, actionable measures were recommended to the enterprise, including enforcing strict compliance of personnel with Standard Operating Procedures, optimizing coding mechanisms across processing stages, and establishing a robust documentation framework to support food safety traceability (Khumairo & Wahyuni, 2021).

4.2.2. Prioritizing Business Quality Improvements via Open Innovation for Fresh Agri-Food Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) to Survive the Pandemic: A Quality Function Deployment -Based Model (Wicaksono et al., 2021)

Authored by Wicaksono et al. (2021), this study proposes a QFD-based business quality improvement model supported by an open innovation strategy to enable SMEs operating within the fresh agri-food sector to survive and maintain competitive advantage amid the uncertainties and crises induced by the COVID-19 pandemic. In a case study conducted with data collected from 268 consumers shopping at traditional markets in Budapest, Hungary, the relationships between customer requirements categorized across eight dimensions and operational business requirements needed to satisfy these expectations were quantitatively modeled using a House of Quality matrix. The analyses objectively demonstrated that to meet consumer expectations and preserve market share, enterprises should prioritize resource allocation across five fundamental action areas: enhancing control over product variety selection, reducing delivery lead times from suppliers, elevating product and market hygiene standards, ensuring temperature-regulated and shock-resistant storage conditions, and providing courteous/respectful customer service. Ultimately, the study proves from an academic perspective that an inbound open innovation approach wherein knowledge acquired from external sources (directly from consumers) is integrated into internal innovation processes combined with Quality Function Deployment -based analytical quality strategies serves as a strategic decision-support framework. This framework enables agri-food SMEs during crisis periods to deploy limited resources efficiently without waste, adapt to shifting consumer dynamics, and secure their long-term market sustainability (Wicaksono et al., 2021).

4.2.3. Multi-Stakeholder Sustainable Burger Patty Design (Ocampo et al., 2020)

In the multi-stakeholder sustainable product design study presented by Ocampo et al. (2020), QFD was expanded beyond its conventional single-stage structure and integrated with multi-attribute decision-making tools such as Fuzzy Analytic Hierarchy Process, DEMATEL, and ANP to establish a "Four-Phase Quality Function Deployment" framework for sustainable burger patty production at a manufacturing plant in the Philippines. Within this continuous planning mechanism, the core function of QFD is to capture the environmental, economic, and social sustainability expectations of all relevant stakeholders encompassing not only consumers but also regulatory bodies and suppliers in the initial phase (product planning) and translate them into explicit design requirements. Subsequently, through a chained sequence of matrices,

these outputs are cascaded into design characteristics such as patty ingredient formulation in the second phase (design deployment), process parameters such as precision weighing in the third phase (process planning), and ultimately down to day-to-day manufacturing operations, such as operator training, in the fourth phase (production planning). Consequently, Quality Function Deployment served as a mathematical bridge, facilitating the analytical and systematic translation of abstract sustainability objectives from the conceptual R&D phase directly to the factory floor without any loss of fidelity (Ocampo et al., 2020).

4.2.4. Multi-Phased Quality Function Deployment Model in Halal Chicken Processing Plants (Vanany et al., 2019)

The rapid expansion of the halal food industry has necessitated the stringent maintenance of hygiene, health, and religious quality standards across food production lines; to this end, a multi-phased QFD framework was implemented at a large-scale chicken processing facility in Indonesia. In the primary matrix, Halal Assurance System standards were correlated with the manufacturing stages of the plant, demonstrating that animal slaughter, meat processing, and product dispatch constituted the most critical operations within the facility. During the second matrix phase, production steps were mapped against critical risk factors capable of compromising halal integrity. In this context, slaughter equipment (e.g., knives), personnel training, and standardized written documentation were identified as the three most critical halal determinant factors. Finally, in the third matrix, continuous improvement programs were formulated to prevent potential halal non-conformities, concluding that organizational resources should be preferentially allocated toward enhancing employee capacity through comprehensive training, updating Standard Operating Procedures, and instituting a definitive corporate halal policy (Vanany et al., 2019).

4.2.5. Four-Phase Quality Function Deployment Model in Organic Fruit Jelly Development (de Fátima Cardoso et al., 2015)

Driven by the global surge in health and environmental consciousness, heightened demand for organic foods spurred the application of the QFD methodology in the design of organic fruit jelly. Moving beyond the conventional single-matrix structure, this research constructed a comprehensive four-matrix conceptual model encompassing the entire processing supply chain end-to-end. The primary matrix mapped consumer-demanded visual and environmental quality attributes against key supply chain stakeholders, specifically growers and manufacturing facilities. The second matrix evaluated the relationship between requested quality parameters and the sensory flavor and chemical characteristics of the final product. While the third matrix correlated processing operations with quality characteristics, the fourth matrix directly examined the impact of raw material inputs namely sugar, fruit, pectin, and acid on overall product quality. Empirical findings revealed that the fruit maturity stage represented the most critical technical variable in organic production, while respect for agro-ecology (socio-environmental responsibility) individually accounted for one-third of total consumer demand (de Fátima Cardoso et al., 2015).

4.3. Quality Function Deployment Models Integrated with Uncertainty Management and Multi-Criteria Decision-Making (MCDM/Fuzzy)

Within the food industry, the inherent biological nature and quality variability of food matrices have rendered the revision of conventional QFD methodologies through non-standard, advanced approaches imperative. To maximize the full potential of QFD, relying solely on the primary House of Quality matrix proves insufficient, necessitating the comprehensive, end-to-end engineering of the entire manufacturing process (Ocampo et al., 2020). Currently, QFD is increasingly hybridized with advanced multi-criteria decision-making tools and sensory evaluation techniques to eliminate ambiguities in customer expectations and secure a competitive advantage (Benner et al., 2003).

4.3.1. Mapping Customer Needs to Product Technical Specifications in Quality Function Deployment Using Graph Convolutional Networks (Li et al., 2025)

Conducted by Li et al. (2025), this study proposes an automated, intelligent QFD model based on Graph Convolutional Networks (GCN) to address the conventional Quality Function Deployment workflow, which is time-consuming, overly reliant on domain expertise, and limited in its capacity to interpret the linguistic ambiguities inherent in customer demands. The researchers formulated the translation of customer needs expressed in natural language into technical specifications as a text classification task; to overcome customer data scarcity, they leveraged rich online product reviews from e-commerce platforms (derived from the Amazon laptop marketplace) rather than relying on traditional survey instruments. Within the developed framework, a comprehensive text graph comprising review documents and constituent vocabulary was constructed, with structural relationships modeled using word co-occurrence metrics and Term Frequency-Inverse Document Frequency weighting schemes. Pre-trained on a large-scale product review corpus, the network model was subsequently fine-tuned using a limited set of genuine customer requirements, thereby successfully bridging the semantic gap between consumer expectations and engineering terminology. Experimental evaluations conducted on laptop specifications (e.g., CPU, RAM, display, storage) demonstrated that the proposed GCN-based model achieved statistically superior performance in mapping complex, interdependent classes compared to robust baseline architectures such as fastText, BiLSTM, and BERT, while confirming that fine-tuning significantly elevated the model's recall metrics. Consequently, this research delivers an innovative, data-driven artificial intelligence framework that automates the initial phase of QFD by eliminating subjective expert bias, directly translating complex customer expressions into manufacturing attributes, and aligning seamlessly with lean business strategies aimed at minimizing resource expenditure across modern industries (Li et al., 2025).

4.3.2. PF-AHP Integrated Quality Function Deployment Model for Hazelnut Cultivation in Turkey (Ayyıldız et al., 2023)

To preserve market competitiveness as the world's leading hazelnut producer in Turkey and adapt to shifting climatic conditions and market demands, QFD was hybridized with the

Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process (PF-AHP) to evaluate hazelnut cultivation workflows. The study initially synthesized data from farmers and industry experts to define key customer expectations including "price stability tied to state policies," "hazelnut cleanliness," "purity," and the "flawlessness of quality control protocols" which were subsequently prioritized via PF-AHP weighting. Owing to pronounced market volatility, analytical findings indicated that "price stability tied to state policies" decisively emerged as the paramount customer expectation. Upon establishing the technical engineering and cultivation strategies ("HOWs") designed to fulfill this requirement, "achieving low production costs" in farming operations and "state-provided financial incentives" were designated as the two most essential quality improvement strategies, thereby emphasizing the imperative to assist producers in transitioning from rudimentary practices to yield-maximizing modern technologies (Ayyıldız et al., 2023).

4.3.3. Modified Quality Function Deployment for the Food Industry: A Granola Bar Case Study (Wang et al., 2019)

The research conducted by Wang et al. (2019), specifically addressing granola bar development, introduces a novel 7-step modified QFD framework integrating competitive analysis and fuzzy logic to streamline the complexity of conventional QFD and overcome technical bottlenecks in its adaptation to the food sector. Based on market evaluations and consumer surveys conducted with the target demographic of female consumers, 19 customer requirements ("WHATs") and 31 technical/sensory attributes ("HOWs") were established, and the prototyped product was benchmarked against three distinct foreign competitor brands based on competitive priority ratings. Analytical evaluations of the constructed customer comparative matrices indicated that while "mild sweetness" exhibited the highest competitive priority, "visible dried fruit pieces" emerged as the most critical attribute demanding optimization, garnering the highest overall importance rating among consumers. In lieu of the conventional QFD convention of assigning absolute, deterministic numerical values to technical specifications, this modified 7-step structure utilizes relative priority rankings accommodated via fuzzy logic. It was demonstrated to yield superior, highly objective outcomes in capturing the priority and urgency of technical countermeasures, thereby proving to be an exceptionally pragmatic tool for new product development processes within the food industry (Wang et al., 2019).

4.3.4. Evaluation of Extra Virgin Olive Oil Quality via Fuzzy QFD (Bevilacqua et al., 2012)

An innovative methodology integrating Fuzzy Logic with QFD was employed to mathematically quantify consumer evaluation of extra virgin olive oil. In this study, market research was conducted with 100 consumers to identify key purchasing criteria, including clarity, color, taste, and density. Aligned with the intrinsic nature of food matrices, engineering characteristics were bifurcated into two distinct categories: sensory attributes such as aroma and taste, and technical characteristics encompassing acidity, polyphenol content, and viscosity. Because consumer requirements inherently incorporate vague and imprecise linguistic

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

expressions, these qualitative data were converted into quantitative scales utilizing triangular fuzzy numbers. Through the established Fuzzy- QFD framework, commercial olive oil brands were evaluated, and a Fuzzy Suitability Index was developed to rank the olive oils according to consumer preferences (Bevilacqua et al., 2012).

5. QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT APPLICATIONS: COSMETICS AND GREEN SUPPLY CHAIN EXAMPLES

5.1. Circular Economy-Oriented Cosmetic (Sunscreen) Design (Poponi et al., 2026)

Extending beyond the domain of food science, the application scope of QFD has been successfully utilized to integrate Circular Economy principles within the cosmetics industry. In the design of an innovative and sustainable lignin-based sunscreen formulation, the traditional six-room House of Quality matrix was expanded to construct a novel nine-room Quality Function Deployment - Circular Economy framework designed to systematically evaluate environmental factors. Consumer purchasing criteria such as anti-aging efficacy, natural active ingredients, and hypoallergenic properties were prioritized and weighted using the Analytic Hierarchy Process, categorizing these demands into innovation-driven and customer-driven targets. Regarding technical product evaluation, "active ingredient selection" and "formulation" were identified as the primary engineering interventions driving technical advancement (Poponi et al., 2026).

5.2.Green Supply Chain Management in the Energy Sector (Haiyun et al., 2021)

Driven by the rising awareness of sustainability within the energy industry, a hybrid QFD model integrated with Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy DEMATEL and IVIF MOORA methodologies was proposed to dimension innovation strategies for green supply chain management. Consumer expectations ("WHATs") regarding low emissions, non-polluting operations, and cost-effective energy were mapped against technical system specifications. Through the operational phases of the model, performance metrics for new product and service development were computed; ultimately, it was demonstrated that Customer Relationship Management systems represent the most paramount innovation strategy within the energy sector to enable enterprises to accurately interpret consumer expectations (Haiyun et al., 2021).

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

QFD has far transcended its traditional roots in mechanical engineering and software development, demonstrating exceptional adaptability in facilitating sustainable product design across the food, agricultural, cosmetics, and energy sectors. In food design contexts where the voice of the customer inherently exhibits a highly subjective, intricate, and qualitative linguistic structure researchers have hybridized conventional QFD matrices with multi-criteria decision-making (MCDM) techniques, such as Fuzzy Logic, the Kano Model, DEMATEL, and the Analytic Hierarchy Process / Analytic Network Process, thereby deriving mathematically more robust and precise outcomes (Bevilacqua et al., 2012). Furthermore, in sectors such as organic foods or halal meat processing where the supply chain directly dictates final product quality

QFD has operated as a holistic management instrument, extending beyond initial product planning to optimize end-to-end quality assurance processes (e.g., personnel training, SOP enhancement) through multi-matrix deployment frameworks. In conclusion QFD continues to serve as a cross-industrial strategic roadmap, empowering modern product design teams to foster consumer trust, achieve environmental and economic sustainability within market standards, and secure a sustainable competitive advantage.

REFERENCES

[1] Ayyildiz, E., Yildiz, A., Taskin, A., & Ozkan, C. (2023). An interval valued Pythagorean fuzzy AHP integrated quality function deployment methodology for hazelnut production in Turkey. Expert Systems With Applications, 231, 120708.

[2] Benner, M., Linnemann, A. R., Jongen, W. M. F., & Folstar, P. (2003). Quality function deployment (QFD)—can it be used to develop food products?. Food Quality and Preference, 14(4), 327–339.

[3] Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Marchetti, B. (2012). Development and test of a new fuzzy-QFD approach for characterizing customers rating of extra virgin olive oil. Food Quality and Preference, 24(1), 75–84.

[4] Cullano, R. A., Tiu, A. M., Evangelista, S. S., & Ocampo, L. (2025). Informing starch-based food product designs with seaweeds using an analytical Kano-QFD model. Journal of Texture Studies.

[5] de Fátima Cardoso, J., Casarotto Filho, N., & Cauchick Miguel, P. A. (2015). Application of quality function deployment for the development of an organic product. Food Quality and Preference, 40, 180–190.

[6] Fauza, G., Wimaryana, V. W., Prasetyo, H., Ariviani, S., Muhammad, D. R. A., & Affandi, D. R. (2025). Developing the quality function deployment method by integrating Kano model and sensory profile analysis into the house of quality matrix. *Teknotan*, *19*(3).

[7] Gunduz, M. A., Demir, S., & Paksoy, T. (2021). Matching functions of supply chain management with smart and sustainable tools: A novel hybrid BWM-QFD based method. Computers & Industrial Engineering, 162, 107676.

[8] Haiyun, C., Zhixiong, H., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2021). Analysis of the innovation strategies for green supply chain management in the energy industry using the QFD-based hybrid interval valued intuitionistic fuzzy decision approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, 110844.

[9] Indraswari, S. A., Fauza, G., Ariviani, S., Prasetyo, H., Muhammad, D. R. A., & Affandi, D. R. (2024). The quality function deployment (QFD) as a strategy for food product development: Case study in chocolate drinks. AIP Conference Proceedings, 2838(1), 020005. https://doi.org/10.1063/5.0179701.

[10] Khumairo, S. D., & Wahyuni, H. C. (2021). Implementation of food safety traceability systems in the product supply chain at PT. XYZ using quality function deployment (QFD). *Tibuana Jurnal Teknik Industri Terapan*, *4*(1), 36-43.

[11] Kuo, C. M., Yuo, S. H., & Lu, C. Y. (2014). Integration of the Kano and QFD model in health food development: Using black beans as examples. Quality & Quantity, 48(1), 225–242.

[12] Li, X., Wang, Y., Wu, C. H., & Mo, D. Y. (2025). Mapping customer needs to product technical specifications in quality function deployment using graphical convolutional networks. Enterprise Information Systems, 19(7-8), 2510346.

[13] Ocampo, L. A., Labrador, J. J. T., Jumao-as, A. M. B., & Rama, A. M. O. (2020). Integrated multiphase sustainable product design with a hybrid quality function deployment – multi-attribute decision-making (QFD-MADM) framework. Sustainable Production and Consumption, 24, 62–78.

[14] Onyedikachi, U. J., & Emmanuel, O. A. (2020). Value Analysis and Quality Function Deployment of Some Competing Food Products. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS & MANAGEMENT Учредители: International Journal of Innovative Research & Development (GlobeEdu), 8(12).

[15] Poponi, S., Ruggieri, R., Pacchera, F., & Piccinino, D. (2026). Designing sustainable sunscreens: A quality function deployment-based circular approach. Journal of Innovation & Knowledge, 15, 100987.

[16] Santoso, I., Rau, H., Choirun, A., Aprilianto, H. C., Lestari, K., A'yuniah, S., & Kusumaningtyas, O. W. (2024). Application of QFD in sustainable new product development in the agro-industrial sector: a systematic literature review. International Journal of Sustainable Engineering, 17(1), 926–944.

[17] Vanany, I., Maarif, G. A., & Soon, J. M. (2019). Application of multi-based quality function deployment (QFD) model to improve halal meat industry. Journal of Islamic Marketing, 10(1), 97–124.

[18] Wang, T.-Y., Hsiao, H.-I., & Sung, W.-C. (2019). Quality function deployment modified for the food industry: An example of a granola bar. *Food Science & Nutrition*, *7*(5), 1746–1753.

[19] Wicaksono, T., Hossain, M. B., & Illés, C. B. (2021). Prioritizing business quality improvement of fresh agri-food SMEs through open innovation to survive the pandemic: A QFD-based model. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7(2), 156.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

RISK-BASED QUALITY MANAGEMENT AND FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR FOOD TESTING LABORATORIES

ECE AYBÜKE ÖZDEMİR
Ege University, eceaybukeo@gmail.com - 0009-0008-5465-3011

Assoc. Prof. Dr. CEYDA DADALI
Ege University, ceyda.dadali@ege.edu.tr - 0000-0003-2102-8582

ABSTRACT

This study examines the strategic integration of Risk-Based Quality Management and Failure Mode and Effects Analysis to facilitate the transition from reactive quality control to proactive analytical design in food laboratories, thereby improving the reliability, consistency, and robustness of analytical processes. It also proposes a six-step holistic Risk-Based Quality Management life cycle comprising stages such as defining the analytical target profile, identifying critical quality attributes, method optimization, and continuous monitoring of analytical performance to ensure end-to-end reliability. Traditional 4 × 4 risk matrices are limited because they focus solely on the severity and probability of occurrence, whereas Failure Mode and Effects Analysis enhances the Hazard Analysis and Critical Control Points system by incorporating detectability as a third dimension of risk assessment. Furthermore, advanced models integrating Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Multi-Criteria Decision-Making tools, and Six Sigma metrics have been developed to address the limitations inherent in traditional Risk Priority Number calculations. **Case studies from dairy and citrus processing facilities** confirm that laboratory-derived deviations are predominantly concentrated in the pre-analytical stage, with the human factor identified as the primary risk element. Through systematic interventions based on Failure Mode and Effects Analysis, substantial reductions have been achieved in critical Risk Priority Number scores. In conclusion, modern Quality Management Systems centered on Risk-Based Quality Management and Failure Mode and Effects Analysis provide a proactive framework for identifying and eliminating latent errors at their source before analytical data are generated, thereby enhancing analytical accuracy, regulatory compliance, consumer confidence, and ultimately public health in food testing laboratories.

Keywords: Risk-Based Quality Management, Failure Mode and Effects Analysis, Food Testing Laboratories, Risk Priority Number, Proactive Quality Control.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

Traditional statistical quality control systems adopt a reactive approach within laboratory settings, intervening only after errors occur and attempting to resolve issues retrospectively (Dewi et al., 2022). In food testing laboratories, this conventional paradigm predominantly focused on the reanalyzing of nonconforming tests afer the occurrence of an error, may allow critical analytical errors and contamination-related risks to persist before corrective actions are implemented (Eberle et al., 2025). With the implementation of ISO/IEC 17025:2017 standard, the concept of risk-based thinking has been firmly established at the core of laboratory quality management systems (Lortkipanidze, 2025). These standards mandate that testing laboratories systematically identify, evaluate, and mitigate both internal and external operational risks through targeted risk-reduction strategies (Testik & Unlu, 2023).

Conversely, the philosophy of Risk-Based Quality Management (RBQM) and Analytical Quality by Design (AQbD) adopts a proactive prevention framework that anticipates potential failure modes during the design phase of instrumentation and analytical protocols, thereby driving operational excellence (Dewi et al., 2022). Integrated with modern international guidelines, this contemporary vision safeguards the complete lifecycle of analytical procedures end-to-end within food testing laboratories (Eberle et al., 2025). The synergistic convergence of existing laboratory quality management frameworks with modern risk management principles ensures that internal and external stakeholder expectations are met while systematically addressing threats that could compromise laboratory service quality right from the outset (Erkaboev et al., 2023).

Nevertheless, the successful deployment of systems such as RBQM and Failure Mode and Effects Analysis in laboratory settings relies not solely on procedural development but also on cultivating a comprehensive safety culture and proactive change management among all laboratory personnel. Supported by a robust Laboratory Quality Management System, this proactive approach can fortifies the integrity and reliability of analytical measurement data thereby contributing to the protection of public health while equipping laboratories with high operational agility and regulatory compliance (Pillai et al., 2022).

2. IMPLEMENTATION OF THE 6-STEP RISK-BASED QUALITY MANAGEMENT LIFECYCLE FOR FOOD LABORATORIES

The implementation of the RBQM framework in food testing laboratories is executed within a systematic, six-step lifecycle that defines analytical targets and operational quality boundaries (Dewi et al., 2022).

- **Definition of the Analytical Target Profile (ATP):** As the foundational step, defining the Analytical Target Profile serves as an indispensable benchmark that establishes a priori precisely what is to be measured, the target analyte quality criteria, method performance characteristics, and the designated analytical technology such as HPLC, GC, or Ion Chromatography (Dewi et al., 2022). By establishing a direct

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

linkage with the Quality Target Product Profile and product specifications, the Analytical Target Profile framework functions as an overarching reference throughout the entire lifecycle of the analytical method (Eberle et al., 2025).

- **Identification of Critical Quality Attributes and Risk Assessment:** In the second step, physical, chemical, or microbiological characteristics exerting the most significant impact on final data quality or analytical method performance are delineated (Dewi et al., 2022). For instance, during HPLC analysis, parameters such as mobile phase preparation, column oven temperature, pH value, stationary phase selection, and elution mode are recognized as Critical Quality Attributes that must be maintained within strictly defined limits to guarantee analytical quality (Dewi et al., 2022). Potential risks associated with these parameters are scientifically evaluated and prioritized using mathematical and statistical tools, such as Ishikawa (fishbone) diagrams or Failure Mode and Effects Analysis (Dewi et al., 2022). The laboratory Failure Mode and Effects Analysis process scores potential failure modes based on Severity (S), Occurrence (O), and Detectability (D) to calculate a Risk Priority Number (RPN = S x O x D), thereby enabling the laboratory to rapidly implement corrective actions for high-risk analytical steps (van Leeuwen et al., 2009).
- **Design of Experiments (DoE) and Method Optimization:** In the third step, method optimization is conducted using Design of Experiments methodology, enabling laboratory analysts to elucidate the critical independent experimental parameters that significantly govern dependent variables, such as chromatographic response (Dewi et al., 2022).
- **Establishment of the Method Operational Design Region (MODR):** Utilizing the outputs of DoE evaluations alongside quantitative risk metrics, tolerant and flexible operational ranges known as the Method Operational Design Region are constructed, wherein the analytical method consistently generates results meeting predefined Analytical Target Profile criteria (Dewi et al., 2022).
- **Formulation of the Control Strategy:** During the fifth step the control strategy phase advanced data verification tools and real-time operational controls, aligned with pharmaceutical-grade standards, are implemented to ensure that routine laboratory performance remains within the defined Method Operational Design Region boundaries (Dewi et al., 2022).
- **Continuous Method Monitoring (CMM):** In the final step, Continuous Method Monitoring phase, once the analytical method is integrated into routine testing, statistical quality control charts, system suitability metrics, and process trends are continuously monitored, allowing potential deviations to be proactively identified and mitigated at the analytical stage before non-conforming results arise (Dewi et al., 2022).

3. INTEGRATION OF THE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS SYSTEM AND RISK PRIORITY NUMBER CALCULATION IN FOOD ANALYSIS

Failure Mode and Effects Analysis is a robust, proactive quality framework that enables the identification of potential operational failures before they occur, systematically mapping their underlying root causes (Liu et al., 2015). Testing workflows within analytical laboratories fundamentally comprise three distinct phases: pre-analytical, analytical, and post-analytical. Comprehensive evaluations of error distribution indicate that most laboratory errors originate during the pre-analytical phase (Abou El Hassan et al., 2017). Failure Mode and Effects

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Analysis serves as a structured risk management methodology designed to identify prospective process failures, analyze their underlying causes and consequences, and systematically mitigate high-criticality operational risks (Lim et al., 2020). While conventional validation protocols primarily focus on instrument performance and technological precision, the Failure Mode and Effects Analysis approach evaluates operational vulnerability by placing the"human factor frequently the weakest link in food testing environments at the core of risk analysis (Oldenhof et al., 2011).

To ensure an unbiased and rigorous execution of Failure Mode and Effects Analysis, establishing a multidisciplinary team comprising method experts, senior analytical technicians, and a quality assurance specialist is imperative (van Leeuwen et al., 2009). The analytical assessment begins with comprehensive workflow mapping, wherein every operational task from sample intake to final report issuance is deconstructed into granular steps (van Leeuwen et al., 2009). Subsequent to this mapping, potential failure modes and their associated ramifications are identified through structured brainstorming by addressing the core question, *"What could go wrong at this step?"* across each operational phase (Lim et al., 2020).

Each identified failure mode is quantitatively appraised using a mathematical priority metric termed the Risk Priority Number (RPN) (Nasrallah et al., 2023). The Risk Priority Number is derived as the product of three distinct parameters (RPN} = S x O x D): Severity (S), denoting the gravity of the error's adverse impact on consumer health; Occurrence (O), representing the frequency of its manifestation within routine laboratory operations; and Detectability (D), indicating the efficacy of existing quality control mechanisms in identifying the error before downstream propagation (van Leeuwen et al., 2009). In brief, Failure Mode and Effects Analysis computes a Risk Priority Number by scoring the S, O and D parameters for each discrete risk factor (Testik & Unlu, 2023). For critical risks whose calculated Risk Priority Number values exceed predefined cut-off thresholds, Corrective and Preventive Actions are immediately instituted; Risk Priority Number scores are subsequently recalculated to empirically demonstrate and validate the degree of risk mitigation achieved (van Leeuwen et al., 2009).

In certain operational contexts, the traditional Risk Priority Number calculation methodology of Failure Mode and Effects Analysis exhibits notable limitations, particularly its implicit assumption that S, O and D risk factors carry equal weight. Furthermore, a high incidence of duplicate Risk Priority Number values across distinct risk profiles and the failure to account for indirect interdependencies among failure causes represent critical procedural constraints. To circumvent these limitations, Multi-Criteria Decision-Making tools such as DEMATEL have been employed to map the interrelationships among failure modes, with risk factors being calculated via fuzzy weighted averages (Chang et al., 2013). Similarly, Boral et al. (2020) determined the relative importance weights of risk factors within the Failure Mode and Effects Analysis framework using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process and prioritized failure modes via the Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis method. Such hybrid integrations

yield a substantially more robust Risk-Based Quality Management framework while simultaneously alleviating computational complexity (Boral et al., 2020).

Furthermore, integrating the Failure Mode and Effects Analysis methodology with MCDM techniques such as Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis and Evaluation Based on Distance from Average Solution enhances analytical precision by enabling a more objective determination of risk factor weights and establishing structural interactions among criteria (Ayyıldız et al., 2025). In addition, to benchmark the severity of analytical errors against international standards, Failure Mode and Effects Analysis outcomes can be harmonized with Six Sigma metrics. Within this integrated model, Defects Per Million Opportunities values are converted into an equivalent Sigma level (σFMEA); operational processes exhibiting a Sigma metric below 3 trigger mandatory root cause analysis and immediate corrective action (Guiñón et al., 2020). Ultimately, this integrated paradigm provides strategic guidance during risk-based method validation protocols through the incorporation of a Sentinel Testing strategy (Ilardo et al., 2024).

4. SUPERIORITY OF THE THREE-DIMENSIONAL 3D FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS METHODOLOGY OVER QUALITATIVE RISK MATRICES

Qualitative 4 x 4 risk matrices, which are widely utilized across the food industry and quality control frameworks, construct a static hazard profile by operating solely through the dual parameters of Severity and Occurrence. Although this conventional matrix approach can identify hazards of equivalent severity, it falls considerably short in capturing the in-process operational dynamics inherent to analytical testing laboratories.

In contrast, the 3D Failure Mode and Effects Analysis framework incorporates "detectability" as a pivotal third dimension, thereby evaluating the capability of existing laboratory controls to identify operational failure modes at their inception stage. This critical detectability dimension provided by Failure Mode and Effects Analysis elevates Hazard Analysis and Critical Control Point systems beyond static audit mechanisms, transforming them into a dynamic optimization ecosystem that captures analytical non-conformities in real time and continuously mitigates risks (Segovia Bravo et al., 2026).

5. STRATEGIC CASE STUDIES FROM FOOD TESTING LABORATORIES

5.1. UHT Analysis and Contamination Risk in Dairy Processing Facilities

The study entitled *"The Role of Failure Mode and Effects Analysis in Improving the Quality Performance of Dairy Laboratories"*, conducted by Abou El Hassan et al. (2017), was carried out in the testing facility of a major Egyptian dairy factory processing 400 tons of milk per day. The study aimed to address pre-analytical errors, which account for 32–75% of total laboratory errors. Focusing on the contamination of Ultra-High Temperature (UHT) milk samples as the most critical failure mode, an interdisciplinary FMEA team identified and mapped the root causes across five core areas: personnel, methods, materials, equipment, and the working environment, using an Ishikawa diagram. Each failure mode was rated on a 1–10 scale for

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Severity (S), Occurrence (O), and Detectability (D), and the Risk Priority Number (RPN) was subsequently calculated as RPN = S × O × D.

Pareto analysis identified the "Significant Few" risks, including human errors (RPN = 504), training deficiencies (RPN = 432), improper sample handling and transportation (RPN = 336), and inadequate tool sterilization (RPN = 192). To reduce these risks below the acceptable laboratory threshold, the team implemented comprehensive corrective and preventive actions (CAPA). Human errors were reduced to an RPN of 96 through the implementation of weekly quality circles, CCTV-based hygiene monitoring, personnel-job matching, and performance-based incentives. Training-related failures were reduced to an RPN of 64 by restructuring on-the-job training and introducing KPI-based evaluation sheets. Improper sample handling and transportation were reduced to an RPN of 96 through specialized transportation training, mandatory use of personal protective equipment (PPE), and a long-term factory re-layout plan designed to minimize sample transit distances. Finally, autoclave calibration and the implementation of step-by-step cleaning Standard Operating Procedures (SOPs) reduced sterilization-related failures to an RPN of 48. These proactive, process-oriented interventions successfully minimized pre-analytical errors, demonstrating the effectiveness of FMEA as a systematic risk-management tool in food testing environments.

5.2. Holistic Risk Mapping in Citrus Processing Facilities

This study by Segovia Bravo et al. (2026) compares a traditional 4 × 4 qualitative risk matrix with Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to evaluate operational risks within an edible-coated whole-orange processing line at a medium-sized facility in Spain. Although the 4 × 4 risk matrix successfully identifies physical, chemical, and biological hazards by assessing the interaction between probability and severity, its main limitation is its inability to evaluate the effectiveness of existing detection controls.

A comparative evaluation demonstrated that both methodologies identified the same significant hazards, resulting in the identification of equivalent Critical Control Points (CCPs) and Stricter Prerequisite Programs (PRPs). The CCPs identified by both approaches included:

- **Drencher Application:** Risk of overdosing with the fungicide imazalil during post-harvest washing.
- **Disinfection and Rinsing:** Risk of excessive residual chlorine levels or uncontrolled microbiological loads.
- **Sorting:** Risk of surface mold growth and the subsequent formation of mycotoxins.
- **Coating Preparation, Application, and Draining:** Risk of exceeding the legal limits for rosemary extract established under European Union regulations.

The primary advantage of the FMEA framework became evident during the **sorting phase**. While the 4 × 4 matrix evaluates risk solely based on probability and severity, FMEA additionally incorporates detectability into the risk assessment. This approach revealed a high likelihood of detection failure because the ultraviolet (UV) tunnel relies heavily on visual

inspection by operators, making the detection process susceptible to operator fatigue and distraction. Consequently, FMEA assigned this hazard the highest Criticality Index (CI = 30).

By incorporating the operational performance of detection mechanisms into risk assessment, FMEA provides a more proactive and systematic framework for evidence-based HACCP verification and regulatory compliance in accordance with Codex principles (Segovia Bravo et al., 2026).

6. CONCLUSION

Within the analytical workflows of food testing laboratories, operational errors that inherently tend to remain latent particularly human-induced measurement inaccuracies and calibration oversights are proactively identified prior to data generation through the Failure Mode and Effects Analysis framework. By intercepting these microscopic, latent non-conformities directly at their operational source, Failure Mode and Effects Analysis constructs a macroscopic strategic quality shield that safeguards and fortifies testing operations (van Leeuwen et al., 2009).

In a final appraisal, the systematic deployment of Risk-Based Quality Management frameworks in food testing laboratories ensures the continuous monitoring of quality tolerance boundaries, thereby safeguarding analytical precision, data integrity, and ultimately, public health (Powers, 2005). Underpinned by pertinent international guidelines, this holistic Laboratory Quality Management System philosophy permanently minimizes the recurrence frequency of operational errors while conferring enhanced operational agility upon testing facilities throughout product analysis and regulatory approval processes (Pillai et al., 2022).

REFERENCES

[1] Abou El Hassan, D. S., Elsherpieny, E. A., Kholif, A. M., & Khorshid, M. A. (2017). The role of failure mode and effects analysis in improving the quality performance of dairy laboratories. *Journal of Food Safety*, *37*, e12364. https://doi.org/10.1111/jfs.12364

[2] Ayyildiz, E., Seyhan, M., Kara, B., & Seyis, G. I. (2025). Investigation of risk factors in university Laboratories: An improved fuzzy based FMEA approach. *Safety Science*, *191*, 106933.

[3] Boral, S., Howard, I., Chaturvedi, S. K., McKee, K., & Naikan, V. N. A. (2020). An integrated approach for fuzzy failure modes and effects analysis using fuzzy AHP and fuzzy MAIRCA. *Engineering Failure Analysis*, *108*, 104195.

[4] Chang, K.-H., Chang, Y.-C., & Tsai, I.-T. (2013). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach. *Engineering Failure Analysis, 31*, 211–224.

[5] Dewi, M. K., Pratama, R., Arifka, M., & Chaerunisa, A. Y. (2022). Quality by design: Approach to analytical method validation. *Sciences of Pharmacy*, *1*(1), 33-40.

[6] Eberle, M., Wasylenko, J. T., Kostelac, D., Kiehna, S., Schellinger, A., Zhang, Z., & Ehrick, J. D. (2025). A modern framework for analytical procedure development and lifecycle management based on ICH Q14 principles. *Analytical Chemistry*, *97*(1), 12-21.

[7] Erkaboev, A., Obidov, J., Madmarova, U., & Alikhonov, E. (2023). Analysis of the ISO 9001 standard model of risk management in analytical testing laboratories. *E3S Web of Conferences*.

[8] Guiñón, L., Soler, A., Díaz, M. G., Fernández, R. M., Rico, N., Bedini, J. L., Mira, A., & Alvarez, L. (2020). Analytical performance assessment and improvement by means of the Failure mode and effect analysis (FMEA). *Biochemia Medica, 30*(2), 020703.

[9] Ilardo, C., Lamarti, C., Al Muhanna, B., Bastelica, M., & Benaily, N. (2024). Sentinel testing, analytical sigma metrics and a risk management approach as part of a simplified method verification/validation process. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, *84*(7-8), 569–576.

[10] International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC Standard No. 17025:2017). iso.org

[11] Lim, C. Y., Loh, T. P., & Badrick, T. (2020). Asking why: Moving beyond error detection to failure mode and effects analysis. *Journal of Laboratory and Precision Medicine, 5*, 29.

[12] Liu, H.-C., You, J.-X., Lin, Q.-L., & Li, H. (2015). Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 28*(7), 701-714. https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900865

[13] Lortkipanidze, N. (2025). Risk Analysis and Control of Information Systems in ISO/IEC 17025 Accredited Testing Laboratories. *Georgian Scientists, 7*(4).

[14] Nasrallah, I., Sabbah, I., Haddad, C., Ismaiil, L., Kotaich, J., Salameh, P., EL. Kak, A., Nasr, R., & Bawab, W. (2023). Evaluating the academic scientific laboratories' safety by applying failure mode and effect analysis (FMEA) at the public university in Lebanon. *Heliyon, 9*, e21145. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21145

[15] Oldenhof, M. T., van Leeuwen, J. F., Nauta, M. J., de Kaste, D., Odekerken-Rombouts, Y. M. C. F., Vredenbregt, M. J., Weda, M., & Barends, D. M. (2011). Consistency of FMEA used in the validation of analytical procedures. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *54*, 592-595.

[16] Pillai, S., Calvert, J., & Fox, E. (2022). Practical considerations for laboratories: Implementing a holistic quality management system. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*, 1040103. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1040103

[17] Powers, D. M. (2005). Laboratory quality control requirements should be based on risk management principles. *Laboratory Medicine*, *36*(10), 633-638.

[18] Segovia Bravo, K. A., Campanero Pintado, C., González Blanco, A., & Pérez-Santín, E. (2026). Comparative risk assessment of edible-coated orange processing: 4x4 qualitative risk matrix vs FMEA approaches. *Food Control*, *183*, 111925. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111925.

[19] Testik, O. M., & Unlu, E. T. (2023). Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories. *Quality and Reliability Engineering International*, *39*(2), 575–589.

[20] van Leeuwen, J. F., Nauta, M. J., de Kaste, D., Odekerken-Rombouts, Y. M. C. F., Oldenhof, M. T., Vredenbregt, M. J., & Barends, D. M. (2009). Risk analysis by FMEA as an element of analytical validation. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *50*, 1085-1087.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMINDA KİTAPLARIN YERİ

Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN

Ege Üniversitesi, Eğitim Fakültesi,

gamze.bilir.seyhan@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9888-8612

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kitapların okul öncesi eğitim programındaki yerini incelemektir. Erken çocukluk döneminde kitaplar; çocukların dil gelişimini, erken okuryazarlık becerilerini, hayal gücünü, estetik farkındalığını, sosyal-duygusal gelişimini ve dünyayı anlamlandırma süreçlerini destekleyen temel araçlar arasında yer almaktadır. Okul öncesi eğitim ortamlarında kitapların nasıl konumlandırıldığı, yalnızca sınıf içinde gerçekleştirilen kitap okuma etkinlikleriyle sınırlı değildir; kitaplar aynı zamanda öğrenme merkezlerinin düzenlenmesinde, aile katılımı çalışmalarında, değerler eğitiminde, farklı gelişim alanlarının desteklenmesinde ve çocukların günlük eğitim akışı içinde anlamlı deneyimler edinmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle okul öncesi eğitim programında kitaplara nasıl yer verildiğinin incelenmesi, programın erken okuryazarlık ve çocuk edebiyatı açısından sunduğu olanakları değerlendirmek bakımından önemlidir. Araştırma nitel araştırma yaklaşımı doğrultusunda doküman incelemesi yöntemiyle yürütülecektir/yürütülmüştür. Çalışmanın temel veri kaynağını Okul Öncesi Eğitim Programı oluşturmaktadır. Program dokümanı; kitap, çocuk kitabı, resimli kitap, hikâye, okuma, erken okuryazarlık, kütüphane, öğrenme merkezi, aile katılımı ve Türkçe etkinliği gibi kavramlar çerçevesinde incelenecektir. Veriler betimsel analiz yoluyla çözümlenecektir. Analiz sürecinde kitapların programda hangi gelişim alanları, kazanım ve göstergeler, etkinlik türleri, öğrenme merkezleri ve aile katılımı uygulamalarıyla ilişkilendirildiği değerlendirilecektir. Çalışmadan elde edilmesi beklenen bulguların, kitapların okul öncesi eğitim programında özellikle dil gelişimi, erken okuryazarlık, Türkçe etkinlikleri ve öğrenme merkezleri bağlamında görünür olduğunu; ancak kitapların sosyal-duygusal öğrenme, kapsayıcılık, kültürel çeşitlilik, çocuk hakları, eleştirel düşünme ve aile çeşitliliği gibi daha geniş pedagojik amaçlarla kullanımının programda daha sınırlı biçimde ele alınabileceğini göstermesi beklenmektedir. Araştırmanın, Okul Öncesi Eğitim Programının çocuk edebiyatı ve kitap temelli pedagojik uygulamalar açısından değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmanın, öğretmenlerin kitapları yalnızca dil gelişimini destekleyen materyaller olarak değil, bütüncül gelişimi ve nitelikli pedagojik etkileşimi destekleyen araçlar olarak kullanmalarına yönelik öneriler sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Okul öncesi eğitim programı, çocuk kitapları, erken okuryazarlık, çocuk edebiyatı, doküman incelemesi

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. GİRİŞ

Erken çocukluk döneminde kitaplar, çocukların dil gelişimini, erken okuryazarlık becerilerini, hayal gücünü, estetik farkındalığını, sosyal-duygusal gelişimini ve dünyayı anlamlandırma süreçlerini destekleyen temel araçlar arasında yer almaktadır. Resimli kitaplar; çocukların yaşına, ilgi ve gelişim düzeyine uygun biçimde hazırlandığında, onların duygu, düşünce ve davranış şekillenmesine katkı sağlamakta, aynı zamanda çocuğun kendi yaşantılarını fark etmesine, hoşgörü ve empati geliştirmesine aracılık etmektedir. Bu çok yönlü potansiyel, kitapların okul öncesi eğitim programında yalnızca bir materyal değil, çocuğun gelişiminin farklı boyutlarını destekleyen bütüncül bir pedagojik araç olarak ele alınmasını gerektirmektedir.

Kitapların bu işlevlerinden biri olan dil gelişimi ve erken okuryazarlık boyutu, alanyazında en sık incelenen ve en güçlü biçimde temellendirilen boyuttur. Erken okuryazarlık becerileri gelecekteki okuma yazma ve akademik başarıyı güçlü biçimde yordamış, bu nedenle okul öncesi dönemde sistematik olarak desteklenmesi gerektiği ortaya konmuştur (Ergül vd., 2014). Yetişkinlerin çocuklarla birlikte gerçekleştirdiği kitap okuma etkinlikleri, bu becerilerin desteklenmesinde en sık başvurulan yöntemlerden biri olmuştur. Yetişkinin aktif dinleyici konumunda olduğu, çocuğa sorular yönelttiği ve çocuğun yanıtlarını genişlettiği etkileşimli kitap okuma uygulamalarının, çocukların dil ve erken okuryazarlık becerileri üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuştur (Ergül vd., 2016).

Ancak kitapların okul öncesi eğitim programındaki yeri, yalnızca dil gelişimi ve erken okuryazarlıkla sınırlı kalmamıştır. Kitaplar aynı zamanda sınıf içi öğrenme merkezlerinin (örneğin kitap/okuma köşesi) düzenlenmesinde önemli bir materyal kaynağı oluşturmuş (Orcan Kaçan vd., 2021), aile katılımı çalışmalarında çocuk-aile etkileşimini destekleyen bir araç olarak kullanılmıştır (Gürşimşek, 2003). Bu bulgular, kitapların programda yalnızca bir dil etkinliği materyali olarak değil, öğrenme ortamının ve aile-okul iş birliğinin bütüncül bir bileşeni olarak da konumlandığını göstermektedir.

Kitapların sosyal-duygusal gelişim ve değerler eğitimi boyutundaki yeri ise, alanyazında dil gelişimi boyutuna kıyasla daha sınırlı biçimde ele alınmıştır. Bir çalışmada, 5-6 yaş resimli çocuk kitapları MEB Okul Öncesi Eğitim Programı'nın sosyal-duygusal alan kazanım ve göstergeleri açısından incelenmiş ve incelenen kitapların bazı kazanımlara (örneğin başkalarının duygularını açıklama) yoğun biçimde yer verirken bazı kazanımlara hiç yer verilmediği tespit edilmiştir (Düzyol vd., 2021). Bu bulgu, kitapların programla ilişkilendirilme biçiminin gelişim alanları arasında eşit dağılmadığına, bazı pedagojik amaçların kitap temelli uygulamalarda görünmez kalabileceğine işaret etmektedir.

Türkiye'de 2024 yılında yürürlüğe giren güncellenmiş Okul Öncesi Eğitim Programı, bu bağlamda önemli değişiklikler içermiştir. 2013 ve 2024 programlarını karşılaştırmalı olarak incelendiği bir çalışmada, dil gelişimi alanına yeni kazanımlar eklendiği, öğrenme merkezlerine okuma ve dinleme merkezi ile yazı farkındalığı merkezinin dahil edildiği ve etkinlik türlerine erken okuryazarlık etkinliğinin eklendiği belirlenmiştir (Serdaroğlu ve Bekir, 2024). Aynı

çalışmada, 2024 programına tüm çocuklar için farklılıkların dikkate alındığı "kapsayıcıdır" özelliğinin de eklendiği vurgulanmıştır. Bu güncellemeler, kitapların ve okuma temelli uygulamaların programda daha görünür hale geldiğine işaret etmekle birlikte, bu görünürlüğün kitapların hangi pedagojik amaçlarla, yalnızca dil/okuryazarlık ile mi, yoksa sosyal-duygusal gelişim, kapsayıcılık ve kültürel çeşitlilik gibi daha geniş amaçlarla mı, ilişkilendirildiğinin ayrıca incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Alanyazındaki bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kitapların okul öncesi eğitiminde dil gelişimi ve erken okuryazarlık işleviyle sıklıkla ele alındığı, ancak kitapların öğrenme merkezleri, aile katılımı, değerler eğitimi ve kapsayıcılık gibi programın diğer bileşenleriyle ne ölçüde ilişkilendirildiğinin doküman incelemesi yoluyla sistematik olarak ortaya konduğu çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Bu çalışma, bu ihtiyaçtan hareketle kitapların okul öncesi eğitim programındaki yerini incelemeyi; kitapların programda hangi gelişim alanları, kazanım ve göstergeler, etkinlik türleri, öğrenme merkezleri ve aile katılımı uygulamalarıyla ilişkilendirildiğini ortaya koymayı amaçlamıştır.

2. YÖNTEM

Bu nitel araştırma, kitapların okul öncesi eğitim programındaki yerini derinlemesine incelemeyi amaçlayan bir doküman incelemesi çalışması niteliği taşımıştır. Doküman incelemesi, araştırılması hedeflenen olgu ya da olgular hakkında bilgi içeren yazılı materyallerin analiz edilmesini kapsayan bir nitel araştırma yöntemidir; bu çalışmada resmî bir eğitim programı metninin sistematik biçimde çözümlenmesi amacıyla tercih edilmiştir.

Araştırmanın veri kaynağını, Millî Eğitim Bakanlığı tarafından 2024 yılında yürürlüğe konan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı oluşturmuştur (MEB, 2024). Program dokümanı; eğitimin genel amaç ve ilkeleri, gelişim alanları (bilişsel, dil, motor, öz bakım, sosyal-duygusal), kazanım ve göstergeler, öğrenme merkezleri, etkinlik türleri, günlük eğitim akışı ve aile katılımı standartlarını kapsayan bütüncül bir resmî belge niteliği taşımıştır. Bu doküman, ülke genelinde uygulanan okul öncesi eğitimin çerçevesini belirlemesi bakımından, kitapların programda ne şekilde konumlandırıldığını incelemek için en kapsamlı ve güncel veri kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Program dokümanı, kitap, çocuk kitabı, resimli kitap kavramları çerçevesinde satır satır taranmıştır. Bu kavramlardan herhangi birinin geçtiği her bölüm, cümle düzeyinde işaretlenerek analiz birimi olarak belirlenmiştir. Tarama sürecinde, dokümanın yalnızca doğrudan "kitap" ifadesinin geçtiği bölümleriyle sınırlı kalınmamış; kitapların dolaylı biçimde atıfta bulunulduğu (örneğin bir kazanımın göstergesinde "dinlediği/izlediği hikâyeyi anlatır" gibi) bölümler de kapsama dâhil edilmiştir.

Elde edilen veriler betimsel analiz yoluyla çözümlenmiştir. Çözümleme sürecinde doküman birçok kez okunmuş, kitaplara yapılan atıflar önceden belirlenen beş kategori altında kodlanmıştır: (1) gelişim alanları, (2) kazanım ve göstergeler, (3) etkinlik türleri, (4) öğrenme merkezleri ve (5) aile katılımı uygulamaları. Süreç, araştırmanın amacıyla doğrudan örtüşen bu

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

beş kategori temel alınarak tümdengelimsel bir yaklaşımla yürütülmüş; her kategori altında kitapların programla ilişkilendirilme biçimi ve yoğunluğu betimlenmiştir. Bulgular sunulurken program dokümanından doğrudan alıntılara (kazanım, gösterge ve açıklama ifadeleri) yer verilmiş, bu alıntıların hangi bölümden alındığı (gelişim alanı, öğrenme merkezi ya da etkinlik türü adıyla) belirtilerek aktarılmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde, 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı'nda kitaplara yapılan atıflardan elde edilen bulgular beş kategori altında sunulmaktadır.

3. 1. Gelişim Alanları

Gelişim alanlarına ilişkin bulgular Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Gelişim Alanları Tablosu

Boyut	**Açıklama**	**Programdaki Yeri**
3.1.1. Dil Gelişimi (Erken Okuryazarlık)	Kitap kullanımı bilgisinin doğrudan erken okuryazarlığın bir bileşeni olarak tanımlanması	*4.1.4. Erken Okuryazarlık*
3.1.2. Bilişsel Gelişim (Eleştirel ve Sosyolojik Düşünme)	Resimli çocuk kitaplarının kültürel farkındalık ve eleştirel düşünmeyle ilişkilendirilmesi	*4.4.10. Eleştirel ve Sosyolojik Düşünme*
3.1.3. Bilişsel Gelişim (Matematik Alan Becerisi)	Resimli kitaplarla etkileşimli okumanın matematik becerilerini desteklemede önerilmesi	*Matematik Alan Becerisi (MAB)*

Kitaplara yapılan atıfların büyük çoğunluğu Dil Gelişimi alanının "Erken Okuryazarlık" alt boyutunda yoğunlaşmıştır. Programda bu beceri türü şu şekilde tanımlanmıştır: "Bu beceriler çocukların kitaplarla, çevresinde karşılaştığı sembol ve yazılı materyallerle tanıştığı andan itibaren başlar." Ayrıca "Erken okuryazarlık bütünleşik becerisi... kitabın nasıl kullanılması gerektiğini bilmek... süreç bileşenlerinden oluşmaktadır" ifadesiyle, kitap kullanımı bilgisi doğrudan erken okuryazarlığın bir bileşeni olarak tanımlanmıştır. Kitaplara Dil Gelişimi dışında Bilişsel Gelişim alanının iki farklı alt bileşeninde de yer verildiği belirlenmiştir. "Eleştirel ve Sosyolojik Düşünme" bileşeninde, "çocukların sosyal medyada gördüğü, televizyonda izlediği, resimli çocuk kitaplarında rastladığı farklı kültürlere karşı farkındalık kazanmasını ve onların farklılıklarına saygı duymasını sağlamak önemlidir" ifadesiyle kitaplar kültürel farkındalık ve eleştirel düşünmeyle ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde "Matematik Alan Becerisi" kapsamında, sayı ve geometrik şekil karşılaştırma becerilerinin desteklenmesinde "resimli çocuk kitapları ile etkileşimli okumalar yapılabilir" önerisine yer verilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. 2. Kazanım ve Göstergeler

Kazanım ve göstergelere ilişkin bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Kazanım ve Göstergeler Tablosu

Boyut	**Açıklama**	**Programdaki Yeri**
3.2.1. Kitabın doğrudan öğrenme nesnesi olması	"Kitabın temel unsurlarını bilir", "Uygun okuma şeklini bilir" göstergeleri	*TAEOB.5. Okuma Öncesi Beceriler*
3.2.2. Kitabın örnek/araç materyal olması	Görsel okuryazarlık, yazı farkındalığı ve ses bilgisel farkındalık göstergelerinde örnek materyal	*TAOB, TAEOB.1, TAEOB.3*

Programda kitaplarla ilişkili göstergeler iki farklı işlevde kullanılmıştır. Birinci grup, kitabın kendisinin doğrudan öğrenme nesnesi olduğu göstergelerdir. TAEOB.5 "Okuma öncesi becerileri kazanabilme" alt boyutunda yer alan "Kitabın temel unsurlarını bilir" göstergesi şöyle açıklanmıştır: "Çocuklara kitapta emeği geçenler (yazar, çizer)in kim olduğu, kapakta hangi bilgilerin yer aldığı, sırt ve arka kapağın işlevi gibi hususların açıklanması gerekir." Aynı boyuttaki "Uygun okuma şeklini bilir" göstergesi "çocuklara kitabın nasıl tutulacağı, okumaya nereden başlanacağı, hangi yönde okunacağı"nı kazanım olarak tanımlamıştır.

İkinci grup ise kitabın örnek/araç materyal olarak kullanıldığı göstergelerdir. Görsel okuryazarlık göstergelerinde çocukların "resimli öykü kitapları, dijital araçlar, afişler, broşürler" arasından seçim yapması, bunları incelemesi ve günlük yaşamla ilişkilendirmesi beklenmiştir. Yazı farkındalığı göstergelerinde ise "çocukların resimli kitap, dergi, gazete, afiş, broşür gibi yazılı materyaller aracılığıyla yazının nereden başladığı, hangi yöne doğru gittiğini... fark etmeleri" hedeflenmiştir. Ses bilgisel farkındalık becerilerinde de "şiir, şarkı ve kitaplarda yer alan uyakları dikkatlice dinlemeleri" örnek etkinlik olarak sunulmuştur.

3. 3. Etkinlik Türleri

Etkinlik türlerine ilişkin bulgular Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Etkinlik Türleri Tablosu

Boyut	**Açıklama**	**Programdaki Yeri**
3.3.1. Matematik etkinliği	Sayı/geometrik şekil karşılaştırmada resimli kitaplarla etkileşimli okuma önerisi	*Matematik Alan Becerisi uygulama önerisi*

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Boyut	Açıklama	Programdaki Yeri
3.3.2. Belirli gün ve haftalar	Kütüphane Haftası ve Dünya Kitap Günü'nün ayrı kalemler olarak yer alması	*Belirli Gün ve Haftalar listesi*

Kitaplar, doğrudan bir "Türkçe etkinliği" bağlamının ötesinde farklı etkinlik türleriyle de ilişkilendirilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi resimli çocuk kitapları matematik etkinliklerinde "etkileşimli okuma" materyali olarak önerilmiştir. Ayrıca programın "Belirli Gün ve Haftalar" listesinde Kütüphane Haftası (Mart ayının son pazartesi gününü içeren hafta) ve Dünya Kitap Günü (23 Nisan'ı içine alan hafta) ayrı kalemler olarak yer almış; bu haftalar kitap ve okumaya yönelik özel etkinlik planlaması için bir çerçeve sunmuştur. Bu anlamda, kitaplara ilişkin belirli gün ve haftalara özellikle ver yerildiği görülmüştür.

3. 4. Öğrenme Merkezleri

Öğrenme merkezlerine ilişkin bulgular Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Öğrenme Merkezleri Tablosu

Boyut	Açıklama	Programdaki Yeri
3.4.1. Kitap Merkezi	Amacı, fiziksel düzeni ve içeriği ayrıntılı biçimde tanımlanan özel bir öğrenme merkezi	*Öğrenme Merkezleri bölümü*
3.4.2. Erken Okuryazarlık Merkezi	Kitap Merkezi ile yakından ilişkili, kısmen birleştirilebilir ikinci merkez	*Öğrenme Merkezleri bölümü*
3.4.3. Diğer merkezler (Sanat, Fen)	Alana özgü kitap türlerinin (sanat kitapları, bilim kitapları) önerilmesi	*Sanat Merkezi, Fen Merkezi*

Kitaplara ilişkin en kapsamlı ve sistematik atıflar, Kitap Merkezi başlığı altında yer almıştır. Program, bu merkezi "çocuklarda basılı ve görsel materyallerle deneyimde bulunmayı; kitaplara ve okumaya karşı olumlu bir tutum geliştirerek erken okuryazarlık, dil ve iletişim becerilerini desteklemeyi amaçlayan öğrenme merkezi" olarak tanımlamıştır. Merkezin fiziksel düzenlemesine (rahat, aydınlık, sessiz bir mekân; blok ve müzik merkezinden uzak konumlandırma) ve içeriğine (resimli öyküler, üç boyutlu resimli kitaplar, kumaş kitaplar, şiir kitapları, bilmece ve kavram kitapları) dair ayrıntılı yönlendirmeler de sunulduğu görülmüştür.

Kitap Merkezi ile yakından ilişkili bir diğer merkez olan Erken Okuryazarlık Merkezinde de kitaplara sıklıkla atıfta bulunulmuş; program bu iki merkezin "sınıf büyüklüğüne göre... birleştirilerek kullanılabileceğini" ve araçlarının "çoğunun benzer" olduğunu belirtmiştir. Bu merkezde resimli kitaplar, ansiklopediler, alfabe kitapları ve uyaklı kitaplar gibi çeşitli

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

materyaller önerilmiştir. Buna ek olarak, Sanat Merkezi'nde "sanat kitapları, sergi afişleri ve kataloglar", Fen Merkezi'nde ise "bilim kitapları" gibi alana özgü kitap türlerinin bulundurulması önerilerek, kitapların yalnızca dil temelli merkezlerle sınırlı kalmadığı görülmüştür.

3. 5. Aile Katılımı Uygulamaları

Aile katılımı uygulamalarına ilişkin bulgular Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Aile Katılımı Uygulamaları Tablosu

Boyut	**Açıklama**	**Programdaki Yeri**
3.5.1. İletişim araçları	Kitapçık, broşür ve bültenlerin aile iletişim aracı olarak kullanılması	*Aile İletişim Çalışmaları*
3.5.2. Sınıf içi katılım	"Kitap okuma" ve "öykü anlatma"nın aile katılım seçenekleri arasında yer alması	*Ek-12: Aile Katılımı Tercih Formu*
3.5.3. Aile eğitimi konusu	"Okul Öncesi Eğitimde Çocuk Kitapları" başlığının aile eğitim konuları arasında yer alması	*Ek-11: Aile Eğitimi İhtiyaç Belirleme Formu*

Kitaplar, aile katılımı boyutunda üç farklı biçimde programa dâhil edilmiştir. İlk olarak, aile iletişim araçları arasında "kitapçıklar, broşür ve afişler" yer almış; aylık planlama sürecinde "hazırlanan kitapçıklar, bültenler... aylık planda belirtilir" ifadesiyle kitapçık hazırlama düzenli bir aile katılımı uygulaması olarak tanımlanmıştır. İkinci olarak, ailelerin sınıf içi etkinliklere katılım biçimleri arasında "çocuklarla birlikte oyun oynama ya da kitap okuma" doğrudan bir seçenek olarak sunulmuş; Ek-12 "Aile Katılımı Tercih Formu"nda ailelerin işaretleyebileceği seçenekler arasında "Öykü anlatabilirim" maddesi yer almıştır. Üçüncü olarak, Ek-11 "Aile Eğitimi İhtiyaç Belirleme Formu"nda ailelere sunulan eğitim konusu seçenekleri arasında "Okul Öncesi Eğitimde Çocuk Kitapları" doğrudan bir başlık olarak yer almış; bu, kitapların yalnızca çocuklara yönelik değil, ailelere yönelik bir farkındalık/eğitim konusu olarak da programa dâhil edildiğini göstermiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı'nda kitapların yeri; gelişim alanları, kazanım ve göstergeler, etkinlik türleri, öğrenme merkezleri ve aile katılımı uygulamaları boyutlarında incelenmiştir. Bulgular, kitapların programda beklenenden daha çok boyutlu bir biçimde konumlandığını, ancak bu konumlanmanın gelişim alanları arasında dengeli dağılmadığını göstermiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Kitapların Dil Gelişimi alanının erken okuryazarlık boyutunda yoğun biçimde yer alması, alanyazındaki güçlü ve tutarlı bir bulguyla örtüşmektedir. Literatürdeki, erken okuryazarlık becerilerinin akademik başarıyı güçlü biçimde yordadığı yönündeki bulgu, programın bu beceriyi neden bu denli merkezi bir yere yerleştirdiğini açıklamaktadır (Ergül vd., 2014). Kitabın kendisinin bir öğrenme nesnesi olarak ele alındığı göstergelerin (örneğin "kitabın temel unsurlarını bilir") varlığı da literatürdeki etkileşimli kitap okuma uygulamalarının çocuk-kitap etkileşiminin niteliğine dayandığı vurgusuyla tutarlı bir görünüm sunmaktadır (Ergül vd., 2016); program, çocuğun yalnızca dinleyici değil, kitabı tanıyan ve kullanan aktif bir katılımcı olmasını hedeflemektedir.

Kitap Merkezi'nin ayrıntılı biçimde tanımlanmış olması, Orcan Kaçan ve diğerleri (2021) tarafından yapılmış çalışmanın öğrenme merkezlerinin okul öncesi sınıflarındaki düzenleyici ve pedagojik işlevine ilişkin vurgusuyla örtüşmektedir. Bununla birlikte bu çalışmanın bulguları, kitapların yalnızca Kitap Merkezi ve Erken Okuryazarlık Merkezi ile sınırlı kalmadığını, Sanat ve Fen merkezlerinde de alana özgü kitap türleriyle (sanat kitapları, bilim kitapları) temsil edildiğini ortaya koyarak, kitapların öğrenme ortamı düzenlemesindeki rolünün önceki alanyazında vurgulanandan daha geniş olabileceğine işaret etmektedir.

Aile katılımı boyutundaki bulgular, Gürşimşek'in (2003) aile katılımının çocukların gelişimini destekleyen önemli bir süreç olduğu yönündeki bulgusuyla tutarlıdır; ancak bu çalışma, kitapların aile katılımına yalnızca "birlikte okuma" düzeyinde değil, "Okul Öncesi Eğitimde Çocuk Kitapları" başlığıyla doğrudan bir aile eğitimi konusu olarak da dâhil edildiğini göstermesi bakımından alanyazına özgün bir bulgu eklemektedir. Bu durum, programın kitapları yalnızca çocuğa yönelik değil, aileyi bilgilendirmeye yönelik bir araç olarak da konumlandırdığını düşündürmektedir.

Serdaroğlu ve Bekir'in (2024) 2013 ve 2024 programlarını karşılaştırdığı çalışmasında belirlediği güncellemeler, öğrenme merkezlerine okuma ve dinleme merkezi ile yazı farkındalığı merkezinin eklenmesi, erken okuryazarlık etkinliğinin etkinlik türlerine dâhil edilmesi, bu çalışmanın bulgularıyla doğrudan örtüşmekte ve kitapların 2024 programında önceki programa kıyasla daha görünür hale geldiğini doğrulamaktadır. Bununla birlikte, kitapların sosyal-duygusal gelişim alanıyla doğrudan ilişkilendirildiği herhangi bir kazanım ya da göstergeye rastlanmamıştır. Bu bulgu, Düzyol ve diğerlerinin (2021) resimli çocuk kitaplarını sosyal-duygusal alan kazanımları açısından incelediği çalışmasında bazı kazanımların kitaplarda hiç temsil edilmediğini bulmasıyla tutarlıdır; ancak bu çalışma, sorunun tersine de işaret etmektedir; kitaplar sosyal-duygusal gelişimle ilişkilendirilmese de programın kendisi kitapları bu alanla açıkça ilişkilendirmemiştir. Bu, kitap-program ilişkisindeki sınırlılığın yalnızca yayınlanan kitapların içeriğinden değil, programın kitapları hangi gelişim alanlarıyla ilişkilendirdiğinden de kaynaklanabileceğini göstermektedir.

Öte yandan, kitapların "eleştirel ve sosyolojik düşünme" bileşeninde kültürel farkındalık ve farklılıklara saygıyla açıkça ilişkilendirilmiş olması olumlu bir bulgu olarak dikkat çekmektedir. Bu bulgu, kitapların kapsayıcılık ve çeşitlilik gibi geniş pedagojik amaçlarla

tamamen ilişkisiz olmadığını, ancak bu ilişkinin sistematik ve kapsamlı olmaktan çok, tek bir kazanım göstergesiyle sınırlı, nokta atışı bir referans niteliği taşıdığını göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma kitapların 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı'nda dil gelişimi ve erken okuryazarlık ekseninde güçlü, öğrenme merkezleri ve aile katılımı ekseninde beklenenden daha çok boyutlu, ancak sosyal-duygusal gelişim ekseninde görünmez kaldığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, öğretmenlerin kitapları yalnızca dil gelişimini destekleyen materyaller olarak değil, bütüncül gelişimi destekleyen araçlar olarak kullanabilmeleri için programın sunduğu olanakların yanı sıra kendi pedagojik tercihleriyle bu sınırlılığı telafi etmeleri gerektiğine işaret etmektedir. Bu çalışma doğrultusunda, bazı öneriler getirilmiştir. Program güncellemelerinde kitapların sosyal-duygusal gelişim alanına yönelik kazanım ve göstergelerle açıkça ilişkilendirilmesi düşünülebilir. Öğretmen eğitiminde, kitapların yalnızca dil/okuryazarlık değil, sosyal-duygusal gelişim, değerler ve çeşitlilik farkındalığı için de kullanılabileceğine dair örnek uygulamalara yer verilmesi önerilebilir. Gelecek araştırmalarda, bu programla uyumlu yayımlanmış çocuk kitaplarının sosyal-duygusal ve kapsayıcılık kazanımları açısından ayrıca incelenmesi, program-kitap ilişkisinin iki yönlü olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışma yalnızca 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli program dokümanını kapsamıştır; ayrıca yalnızca “kitap”, “çocuk kitabı” ve “resimli kitap” kavramları taranmış, “hikâye” ve “öykü” gibi ilişkili ama ayrı kavramlar sistematik taramaya dâhil edilmemiştir.

KAYNAKÇA

Düzyol, E., Gülüm, Z., Korkmaz, Ö., Ün, Ş. I. ve Yıldırım, G. (2021). 5-6 yaş resimli çocuk kitaplarındaki resim ve içerik ögelerinin MEB okul öncesi eğitim programı sosyal-duygusal alan kazanım ve göstergeler açısından incelenmesi. *Türk Kütüphaneciliği, 35*(2), 249-273. https://doi.org/10.24146/tk.907572

Ergül, C., Karaman, G., Akoğlu, G., Tufan, M., Sarıca, A. D. ve Kudret, Z. B. (2014). Okul öncesi öğretmenlerinin "Erken Okuryazarlık" kavramına ilişkin bilgi düzeyleri ve sınıf uygulamaları. *İlköğretim Online, 13*(4), 1449-1472. https://doi.org/10.17051/io.2014.71858

Ergül, C., Sarıca, A. D. ve Akoğlu, G. (2016). Etkileşimli kitap okuma: Dil ve erken okuryazarlık becerilerinin geliştirilmesinde etkili bir yöntem. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi, 17*(2), 193-206. https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.246307

Gürşimşek, I. (2003). Okulöncesi eğitime aile katılımı ve psiko-sosyal gelişim. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri Dergisi, 3*(1), 125-144.

Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli okul öncesi eğitim programı*. T.C. MEB Temel Eğitim Genel Müdürlüğü. https://tegm.meb.gov.tr/dosya/okuloncesi/guncellenenokuloncesiegitimprogrami.pdf

Orcan Kaçan, M., Dedeoğlu Aktuğ, N., Karaçelik, S. ve Kimzan, İ. (2021). Okul öncesi sınıflarda öğrenme merkezlerinin incelenmesi. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 8*(2), 436-451. https://doi.org/10.21666/muefd.761825

Serdaroğlu, H. U. ve Bekir, H. (2024). Okul öncesi eğitim programında güncellemeler. *Birey ve Toplum Sosyal Bilimler Dergisi, 14*(1), 1-29. https://doi.org/10.20493/birtop.1489551

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

RESİMLİ ÇOCUK KİTAPLARININ SOSYAL ADALET ARACI OLARAK KULLANILMASINA YÖNELİK OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ GÖRÜŞLERİ

Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN

Ege Üniversitesi, Eğitim Fakültesi,

gamze.bilir.seyhan@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9888-8612

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanılmasına ilişkin görüşlerini incelemektir. Erken çocukluk dönemi, çocukların farklılıkları fark etmeye, toplumsal yaşamı anlamlandırmaya ve adalet, eşitlik, hak, ayrımcılık, kapsayıcılık gibi kavramlara ilişkin ilk düşüncelerini oluşturmaya başladıkları kritik bir dönemdir. Bu süreçte resimli çocuk kitapları, çocukların yalnızca dil ve bilişsel gelişimlerini destekleyen materyaller değil; aynı zamanda farklı yaşam deneyimlerini, aile yapılarını, kültürel kimlikleri, toplumsal rolleri ve eşitsizlikleri görünür kılan pedagojik araçlar olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarını sosyal adalet perspektifiyle nasıl değerlendirdiklerinin incelenmesi önem taşımaktadır. Araştırma nitel araştırma yaklaşımıyla desenlenmiştir. Çalışmanın verileri, okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanımına ilişkin görüşlerini ortaya koymaya yönelik açık uçlu sorulardan oluşan yazılı görüş formları aracılığıyla toplanmıştır. Veriler içerik analizi yoluyla çözümlenmiştir. Analiz sürecinde öğretmen adaylarının sosyal adalet kavramını nasıl anlamlandırdıkları, resimli çocuk kitaplarının hangi sosyal adalet temalarını ele almaya uygun olduğunu düşündükleri, bu kitapların sınıf içi kullanımına ilişkin pedagojik gerekçeleri ve olası sınırlılıklara yönelik görüşleri incelenecektir. Çalışmadan elde edilmesi beklenen bulguların, öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarını çocuklarla toplumsal eşitlik, farklılıklara saygı, hak temelli yaklaşım, kapsayıcılık ve ayrımcılıkla mücadele gibi konuları konuşmak için önemli bir araç olarak gördüklerini ortaya koyması beklenmektedir. Bununla birlikte öğretmen adaylarının yaşa uygunluk, kitabın dili, görsel temsil biçimleri, öğretmenin rehberlik rolü ve ailelerle iletişim gibi konularda çeşitli çekinceler ifade edebilecekleri öngörülmektedir. Araştırmanın, okul öncesi öğretmen eğitiminde çocuk edebiyatının sosyal adalet ve kapsayıcı pedagoji bağlamında ele alınmasına katkı sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Resimli çocuk kitapları, sosyal adalet, okul öncesi öğretmen adayları, kapsayıcı eğitim, çocuk edebiyatı

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. GİRİŞ

Erken çocukluk dönemi, çocukların farklılıkları fark etmeye, toplumsal yaşamı anlamlandırmaya ve adalet, eşitlik, hak, ayrımcılık, kapsayıcılık gibi kavramlara ilişkin ilk düşüncelerini oluşturmaya başladıkları kritik bir dönemdir. Derman-Sparks ve diğerlerinin (2020) kapsamlı çerçevesinde ifade ettiği gibi, çocuklar çok küçük yaşlardan itibaren kendi kimliklerini ve etraflarındaki farklılıkları fark etmeye başlamakta; erken çocukluk eğitimi bu farkındalığın önyargı ve ayrımcılığa değil, adalet ve eşitliğe yönelmesini destekleyecek bir zemin sunma sorumluluğu taşımaktadır.

Bu bağlamda resimli çocuk kitapları, çocukların yalnızca dil ve bilişsel gelişimlerini destekleyen materyaller olmanın ötesinde, farklı yaşam deneyimlerini, aile yapılarını, kültürel kimlikleri ve toplumsal eşitsizlikleri görünür kılan pedagojik araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bishop'ın (1990) çocuk edebiyatı alanında klasikleşmiş “aynalar, pencereler ve kayar camlı kapılar” (mirrors, windows, and sliding glass doors) metaforu, bu işlevi güçlü biçimde açıklamaktadır; kitaplar bir çocuğun kendi yaşamını ve kimliğini yansıtan bir “ayna”, başka yaşamlara açılan bir “pencere” ya da okuyucunun o farklı dünyaya adım atmasını sağlayan bir “kayar camlı kapı” olabilir. Bishop'a (1990) göre, çocukların yalnızca kendilerini yansıtan kitaplarla değil, farklı kimlik ve deneyimlere açılan kitaplarla da karşılaşması, adil ve kapsayıcı bir okuma kültürünün temelini oluşturmaktadır.

Uluslararası alanyazında bu kuramsal çerçevenin sınıf uygulamalarına yansıması da incelenmiştir. Nguyen'in (2022) bir anaokulu sınıfında yürüttüğü nitel durum çalışmasında, önyargı karşıtı (anti-bias) resimli kitaplarla yapılan etkileşimli okumaların, çocukların ırk ve toplumsal cinsiyete ilişkin karmaşık konuları tartışabildiğini; ancak çocukların adaletsizliğe karşı harekete geçme (aktivizm) konusunda yetişkin desteğine önemli ölçüde ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, resimli kitapların sosyal adalet farkındalığı yaratmada güçlü bir araç olduğunu, ancak bu farkındalığın davranışa dönüşmesinde öğretmenin rehberlik rolünün belirleyici olduğunu göstermektedir.

Türkiye'deki alanyazında da resimli çocuk kitaplarının kapsayıcılık boyutu giderek daha fazla ilgi görmektedir. Eroğlu'nun (2022) derlemesinde, erken çocukluk döneminde kullanılan kapsayıcı resimli çocuk kitaplarının özel gereksinimli çocuklar, farklı kültürlerden gelen çocuklar ve toplumsal cinsiyet eşitliği bağlamlarında ele alındığı; bu kitapların çocukların bireysel farklılıklara ilişkin ilk algılarının oluşmasında eğitim ortamlarındaki en önemli faktörlerden biri olarak değerlendirildiği belirtilmiştir.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet, kapsayıcılık ve farklılıklara saygı gibi kavramları çocuklarla konuşmak için güçlü bir potansiyel taşıdığı, ancak bu potansiyelin sınıf uygulamasına aktarılmasının öğretmenin/öğretmen adayının bilgi, tutum ve rehberlik becerisine bağlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'de okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarını özellikle bir “sosyal adalet aracı” olarak nasıl kavramsallaştırdıklarını, bu kitapların hangi sosyal adalet temalarını ele almaya uygun bulduklarını ve bu kullanıma ilişkin ne tür pedagojik çekinceler taşıdıklarını sistematik biçimde

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

inceleyen çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışma, bu ihtiyaçtan hareketle okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanılmasına ilişkin görüşlerini incelemeyi amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu nitel araştırma, okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanılmasına ilişkin görüşlerinin derinlemesine incelenmesini amaçlamıştır. Araştırmanın çalışma grubunu, bir devlet üniversitesinin Okul Öncesi Öğretmenliği Lisans Programı'nda Öğretmenlik Uygulaması dersini alan 9 öğretmen adayı oluşturmuştur. Çalışma grubu, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniğiyle belirlenmiştir; katılımcıların Öğretmenlik Uygulaması dersini almış olmaları, hem çocuk edebiyatına ilişkin kuramsal bilgiye hem de sınıf ortamında çocuklarla doğrudan etkileşim deneyimine sahip olmaları bakımından araştırmanın amacına en uygun bilgi kaynağını oluşturmaları ölçüt olarak alınmıştır.

Araştırmanın verileri, öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanımına ilişkin görüşlerini ortaya koymaya yönelik açık uçlu sorulardan oluşan yazılı bir görüş formu aracılığıyla toplanmıştır. Görüş formu genel sorulardan (resimli çocuk kitabı kullanım sıklığı, kitap seçim ölçütleri, sosyal adalet eğitimi kavramının tanımı) başlayarak, sosyal adalet temasının somut ve odaklanmış bir örneği olarak evlat edinme, kayıp ve aidiyet temalarını ele alan resimli çocuk kitaplarına ilişkin bir dizi soruya yönelmiştir. Bu yapı, öğretmen adaylarının sosyal adalet kavramını genel düzeyde nasıl anlamlandırdıklarını ortaya koymanın yanı sıra, bu kavramı somut ve duygusal açıdan hassas bir tema üzerinden ne ölçüde derinlemesine düşünebildiklerini de incelemeyi mümkün kılmıştır. Görüş formunda öğretmen adaylarına ayrıca; bu temaları içeren kitapların hangi yaşta ve nasıl ele alınabileceği, bu konuları çocuklarla ele almanın öğretmen açısından ne tür zorluk ve hassasiyetler barındırdığı, bu temaların çocuklarda hangi değerlerin (empati, saygı, kapsayıcılık) gelişimine katkı sağlayabileceği, öğretmen rolünün nasıl tanımlandığı ve öğretmen adaylarının bu konularda kendilerini yeterli hissetmeleri için ne tür destek ve eğitime ihtiyaç duydukları sorulmuştur.

Elde edilen veriler içerik analizi yoluyla çözümlenmiştir. Çözümleme sürecinde öğretmen adaylarının yanıtları birçok kez okunmuş, anlam taşıyan ifade birimleri kodlanmış ve birbirine yakın kodlar bir araya getirilerek ortak temalara ulaşılmıştır. Süreç tümevarımsal bir yaklaşımla yürütülmüş; temalar, araştırmanın veri toplama sorularıyla ilişkili dört ana eksen (sosyal adalet kavramının anlamlandırılması, ele alınabilecek temalar, pedagojik gerekçeler, sınırlılıklar) çerçevesinde, ancak doğrudan öğretmen adaylarının ifadelerinden hareketle oluşturulmuştur. Bulgular sunulurken adayların görüş formlarından doğrudan alıntılara yer verilmiş, katılımcı gizliliğinin korunması amacıyla bu alıntılar kodlanarak aktarılmıştır (Örn. ÖA1, ÖA2, … ÖA9).

3. BULGULAR

Bu bölümde, öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanılmasına ilişkin görüşlerinden elde edilen bulgular; sosyal adalet kavramının

anlamlandırılması, ele alınabilecek temalar, pedagojik gerekçeler ve sınırlılıklar olmak üzere dört ana eksen altında sunulmaktadır. Bulgular sunulurken katılımcı gizliliğini korumak amacıyla görüş formları ÖA1'den ÖA9'a kadar kodlanmıştır.

3. 1. Sosyal Adalet Kavramının Anlamlandırılması

Sosyal adalet kavramının adlandırılmasına ilişkin bulgular Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sosyal Adalet Kavramının Adlandırılmasına İlişkin Bulgular

Alt Tema	**Açıklama**	**Katılımcı**
3.1.1. Hak temelli eşitlik ve kapsayıcılık tanımı	"Hak temelli eşitlikçi ve kapsayıcı bir toplum bilinci geliştirmeyi amaçlayan bir süreç"	*ÖA1*
3.1.2. Fırsat eşitliği ve adaletsizlik farkındalığı	"Fırsat eşitliği sağlama ve adaletsizlikleri fark etme bilinci kazandırma süreci"	*ÖA2*
3.1.3. Ayrımcılığı azaltma ve adil toplum oluşturma	"Tüm bireylerin eşit haklara, fırsatlara ve saygıya sahip olduğunu öğreten; ayrımcılığı azaltmayı... amaçlayan eğitim anlayışı"	*ÖA8, ÖA9*

Öğretmen adaylarının büyük çoğunluğu sosyal adalet eğitimini hak, eşitlik ve kapsayıcılık kavramları etrafında, birbirine yakın biçimde tanımlamıştır. ÖA1 koldu öğretmen adayı, kavramı "hak temelli eşitlikçi ve kapsayıcı bir toplum bilinci geliştirmeyi amaçlayan bir süreç" olarak tanımlarken; ÖA2 kodlu öğretmen adayı ise "fırsat eşitliği sağlama ve adaletsizlikleri fark etme bilinci kazandırma süreci" ifadesini kullanmıştır. ÖA9 kodlu öğretmen adayı tanımı ayrımcılık boyutuyla genişletmiş, sosyal adalet eğitimini "tüm bireylerin eşit haklara, fırsatlara ve saygıya sahip olduğunu öğreten; ayrımcılığı azaltmayı ve adil bir toplum oluşturmayı amaçlayan eğitim anlayışı" olarak ifade etmiştir. ÖA8 ise kavramı daha sistemik bir çerçevede ele alarak "öğrencilerin toplumdaki eşitsizlikleri (ayrımcılık, fırsat eşitsizliği, kayırma vb.) anlamlandırmalarını... hedefleyen bir kavram" olarak tanımlamıştır.

Bu tanımların birbirine yakınlığı, öğretmen adaylarının sosyal adalet kavramına ilişkin ortak ve tutarlı bir kavramsal çerçeveye sahip olduğunu göstermekte ve konuya ilişkin farkındalıkları olduğunu ortaya koymaktadır.

3. 2. Resimli Kitapların Ele Alabileceği Sosyal Adalet Temaları

Resimli kitapları ele alabileceği sosyal adalet temalarına ilişkin bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Resimli Kitapların Ele Alabileceği Sosyal Adalet Temalarına İlişkin Bulgular

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Alt Tema	Açıklama	Katılımcı
3.2.1. Aile çeşitliliği, aidiyet ve duygusal bağ	Kitapların "farklı aile yapılarının da doğal ve değerli olduğunu" anlamaya yardımcı olması	*ÖA3, ÖA4*
3.2.2. Somut kitap örnekleri	"Kırmızı Balon Ailesi", "Uğurböceği Kapınızı Çalarsa" gibi kitapların doğrudan anımsanması	*ÖA1, ÖA4*
3.2.3. Günlük sınıf etkileşiminde ortaya çıkan anlar	"Ten rengi" kalemi örneği: farklı ten tonlarını göstererek adalet/eşitlik mesajı verme	*ÖA5*

Öğretmen adaylarının önemli bir kısmı, evlat edinme, kayıp ve aidiyet temalarını içeren resimli kitaplarla karşılaştıklarını ve bu kitapların somut örneklerini verebildiklerini belirtmiştir. ÖA1, "Kırmızı Balon Ailesi. Yani kalben ailemizin hikâyesi" adlı kitabı örnek gösterirken, ÖA4 "Uğurböceği Kapınızı Çalarsa, Kırmızı Balon Ailesi gibi kitaplarla karşılaştım" ifadesiyle benzer bir deneyim paylaşmıştır. ÖA3, bu kitapların "çocukların farklı aile yapılarının da doğal ve değerli olduğunu anlamalarına yardımcı olduğunu" belirtmiştir. Katılımcıların çoğunluğu, bu temaların 4-6 yaş aralığında, "somut, sade ve samimi bir anlatım" (ÖA2) ile ele alınabileceği konusunda görüş birliği sergilemiştir.

Katılımcılardan ÖA5'in paylaştığı somut bir sınıf deneyimi, sosyal adalet temasının kitap dışında da nasıl ortaya çıkabileceğini göstermesi bakımından dikkat çekicidir: bir çocuğun "ten rengi" kalemini istemesi üzerine öğretmen adayının kutudaki farklı ten tonlarını göstererek "dünyadaki herkesin ten rengi birbirinden farklıdır, tek bir ten rengi yoktur" mesajını verdiğini aktarmış ve bunu "adalet, adillik, eşitlik kavramlarına denk gelebilir" diye yorumlamıştır. Bu örnek, öğretmen adaylarının sosyal adalet farkındalığını yalnızca kitap temelli değil, günlük sınıf etkileşimlerinde de fark edebildiğini göstermektedir.

3. 3. Pedagojik Gerekçeler

Pedagojik gerekçelere ilişkin bulgular Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Pedagojik Gerekçelere İlişkin Bulgular

Alt Tema	Açıklama	Katılımcı
3.3.1. Soyut kavramları somutlaştırma gücü	"Soyut kavramların somutlaştırılmasını sağlayan güçlü pedagojik araçlar"	*ÖA3, ÖA5*
3.3.2. Güvenli alan / empati aracı olma	"Kitaptaki bir karakterin deneyimleri üzerinden kendi duygularını yansıtma şansı"	*ÖA1, ÖA5*
3.3.3. Öğretmenin rehber/kolaylaştırıcı rolü	Öğretmen "rehber", "kolaylaştırıcı", "güvenli alan oluşturucu" olarak tanımlanmıştır	*ÖA1, ÖA2, ÖA3, ÖA4*

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Öğretmen adayları, resimli kitapların gücünü büyük ölçüde soyut kavramları somutlaştırma işleviyle açıklamıştır. ÖA3, kitapları "soyut kavramların somutlaştırılmasını sağlayan güçlü pedagojik araçlar" olarak tanımlarken, ÖA5 bu işlevi daha ayrıntılı biçimde açıklamıştır: "Çocuklar, doğrudan kendi hayatlarına veya bir başkasına dair hassas bir konuyu konuşmanın getirebileceği kaygıyı hissetmeden, kitaptaki bir karakterin deneyimleri üzerinden kendi duygularını yansıtma şansı bulurlar." ÖA1 ise kitapların işlevini duygusal bir dille özetlemiştir; "bazen konuşamadıklarımıza kitaplar ses olur."

Öğretmenin rolüne ilişkin görüşler de büyük ölçüde örtüşmüştür; katılımcılar öğretmeni sıklıkla "rehber", "kolaylaştırıcı" ve "güvenli alan oluşturucu" olarak tanımlamıştır. ÖA5 bu rolü "güvenli alan yaratıcısı ve duygusal rehber" ifadesiyle genişletmiş; öğretmenin "çocukların zor sorularına dürüst, sade ve yaşa uygun yanıtlar veren... şefkatli bir köprü" olması gerektiğini belirtmiştir. Uygulama deneyimi olan ÖA3 ve ÖA4, süreci somut biçimde tarif etmiştir: ÖA4, "önce çocuklarla tema hakkında sohbet ettim, daha sonra kitabı okudum ve kitap hakkında sohbet ederek temayı pekiştirdim" diyerek yapılandırılmış bir uygulama sırası izlediğini belirtmiştir.

3. 4. Sınırlılıklar ve Çekinceler

Sınırlılıklar ve çekincelere ilişkin bulgular Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Sınırlılıklar ve Çekincelere İlişkin Bulgular

Alt Tema	**Açıklama**	**Katılımcı**
3.4.1. Beklenmedik sorular ve damgalanma riski	"Yanlış bir kelime seçimiyle istemeden damgalanma yaratma korkusu"; kırıcı akran soruları riski	*ÖA5*
3.4.2. Aile hassasiyeti ve anlatıya ters düşme endişesi	Öğretmenin "ailenin kendi anlatısına ters düşmekten çekinebileceği"	*ÖA1, ÖA5*
3.4.3. Teori-uygulama boşluğu	Katılımcıların çoğunluğu bu temaları içeren bir kitabı uygulamada henüz kullanmamıştır	*ÖA1, ÖA2, ÖA4, ÖA6, ÖA9*

Öğretmen adaylarının en sık dile getirdiği çekince, çocuklardan gelebilecek beklenmedik sorulara ve olası "damgalanma" riskine ilişkindir. ÖA5, bu kaygıyı ayrıntılı biçimde ifade etmiştir: "Öğretmenler, çocuklardan gelecek beklenmedik ve derin sorulara pedagojik olarak doğru cevabı verememe, yanlış bir kelime seçimiyle istemeden damgalanma yaratma korkusu barındırabilir" ve diğer çocukların "Senin gerçek annen nerede?" gibi kırıcı sorular sorabileceğine dikkat çekmiştir. Aile hassasiyeti de tekrarlayan bir tema olarak öne çıkmıştır; ÖA5, öğretmenlerin "ailenin kendi anlatısına ters düşmekten çekinebileceğini" belirtirken, ÖA1 sınıfında evlat edinilmiş bir çocuk bulunması durumunda öğretmenin "biraz panik yaşamasına sebep olabileceğini" ifade etmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Bulgular arasında en dikkat çekici olanı, kavramsal ve pedagojik gerekçelendirme düzeyindeki güçlü tutarlılığa karşın, katılımcıların çoğunluğunun bu temaları içeren bir kitabı uygulamada henüz kullanmamış olmasıdır. ÖA9 bunun gerekçesini "sınıfımın hazır olduğunu düşünmediğim için kullanmadım" şeklinde açıklarken, ÖA5 kendi yeterliğini şöyle sorgulamıştır; "Bu eğitim içeriği ile yorum yapabilecek kapasitede... kendimi görmüyorum... Deneyimle alakalı olduğunu düşünüyorum." Bu bulgu, öğretmen adaylarının sosyal adalet temalı kitapları savunmaya yönelik güçlü bir söyleme sahip olmakla birlikte, bunu sınıf uygulamasına aktarma konusunda bir güven/deneyim boşluğu yaşadıklarını göstermektedir. Son olarak ÖA1, bu konuda ders almayan öğretmen adaylarında "çocuk koruma sistemleri, ebeveyn ve evlat edinilme konusunda ciddi bir eksiklik" olduğunu belirterek, eğitim programındaki içerik farklılığının bir sınırlılık kaynağı olabileceğine işaret etmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarının sosyal adalet aracı olarak kullanılmasına ilişkin görüşleri; sosyal adalet kavramının anlamlandırılması, ele alınabilecek temalar, pedagojik gerekçeler ve sınırlılıklar olmak üzere dört eksende incelenmiştir. Bulgular, öğretmen adaylarının sosyal adalet kavramına ilişkin güçlü ve tutarlı bir kavramsal çerçeveye sahip olduklarını, ancak bu kavramsal netliğin sınıf uygulamasına aktarılmasında belirgin bir boşluk yaşandığını ortaya koymuştur.

Öğretmen adaylarının sosyal adalet eğitimini hak, eşitlik, kapsayıcılık ve ayrımcılıkla mücadele kavramları etrafında tanımlaması, Derman-Sparks ve diğerlerinin (2020) önyargı karşıtı eğitim çerçevesinde tanımladığı dört temel hedefle (kimlik gelişimi, çeşitliliği kucaklama, adaleti tanıma, harekete geçme) örtüşmektedir. Ancak katılımcıların tanımlarının büyük ölçüde "eşitlik" ve "kapsayıcılık" gibi kavramlarda yoğunlaşması, Derman-Sparks ve diğerlerinin vurguladığı dördüncü hedef olan "harekete geçme/aktivizm" boyutuna neredeyse hiç değinilmemesiyle birlikte değerlendirildiğinde, öğretmen adaylarının sosyal adaleti daha çok bir farkındalık ve tutum kazandırma süreci olarak kavramsallaştırdığı, çocukların adaletsizliğe karşı aktif tepki geliştirmesini destekleyen bir boyutu ise henüz gündemlerine almadıkları söylenebilir.

Öğretmen adaylarının resimli kitapların pedagojik gücünü "soyut kavramları somutlaştırma" ve "güvenli bir alan sunma" işlevleriyle açıklaması, Bishop'ın (1990) kitapları birer "ayna" ve "pencere" olarak tanımlayan metaforuyla doğrudan örtüşmektedir; katılımcıların ifadeleri, kitapların çocuklara kendi deneyimlerini (ayna) ya da başkalarının deneyimlerini (pencere) güvenli bir mesafeden keşfetme imkânı sunduğu yönündeki kuramsal öngörüyü sınıf pratiğiyle doğrulamaktadır. Öğretmenin "rehber" ve "güvenli alan oluşturucu" olarak tanımlanması da Nguyen'in (2022) önyargı karşıtı resimli kitap okumalarında öğretmenin çocukları harekete geçirmede kritik bir destekleyici rol üstlendiği bulgusuyla tutarlıdır.

Bununla birlikte, bu çalışmanın en dikkat çekici bulgusu, katılımcıların büyük çoğunluğunun sosyal adalet temalı kitapları güçlü bir söylemle savunmasına karşın, bu kitapları sınıf uygulamasında henüz kullanmamış olmasıdır. Bu bulgu, Nguyen'in (2022) bulgularıyla ilginç

bir biçimde tamamlayıcı bir okuma sunmaktadır: Nguyen'in çalışmasında çocuklar önyargı karşıtı kitap okumalarına aktif katılım gösterse de harekete geçme konusunda yetişkin desteğine ihtiyaç duyarken, bu çalışmada tespit edilen boşluk bir önceki aşamada, yani öğretmen adayının kendisinin bu kitapları kullanma konusunda ilk adımı atmakta tereddüt etmesinde ortaya çıkmaktadır. Bu durum, sosyal adalet temalı çocuk edebiyatının sınıfa taşınmasındaki darboğazın yalnızca çocuk düzeyinde değil, öğretmen adayının kendi hazırbulunuşluk algısı düzeyinde de yaşandığını göstermektedir.

Öğretmen adaylarının dile getirdiği sınırlılıklar, beklenmedik sorulara doğru yanıt verememe kaygısı, aile anlatısına ters düşme endişesi, damgalanma riski, bu tereddüdün kaynağına dair önemli ipuçları sunmaktadır. Bu bulgular, Eroğlu'nun (2022) kapsayıcı resimli çocuk kitaplarının eğitim ortamlarında etkili kullanımının, yalnızca nitelikli kitapların varlığına değil, öğretmenlerin bu kitapları kullanma konusundaki bilgi ve becerisine de bağlı olduğu yönündeki vurgusuyla örtüşmektedir. Bir katılımcının (ÖA5) kendi yeterliğini "bu eğitim içeriği ile yorum yapabilecek kapasitede... kendimi görmüyorum" şeklinde ifade etmesi, sosyal adalet temalı çocuk edebiyatının öğretmen eğitimi programlarında kuramsal düzeyde değil, uygulamalı ve deneyim temelli biçimde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma okul öncesi öğretmen adaylarının resimli çocuk kitaplarını sosyal adalet aracı olarak görme konusunda güçlü bir kavramsal ve tutumsal hazırlığa sahip olduğunu, ancak bu hazırlığın sınıf uygulamasına aktarılmasında bir güven ve deneyim boşluğu yaşadığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, öğretmen adaylarının sosyal adalet temalı çocuk edebiyatını "neden kullanmalıyım" sorusuna değil, "nasıl kullanmalıyım" sorusuna yanıt arayan bir destek ihtiyacı içinde olduğunu düşündürmektedir. Bu doğrultuda, şu öneriler getirilmiştir. Öğretmen eğitimi programlarında sosyal adalet temalı çocuk edebiyatının kullanımına yönelik uygulamalı atölyeler, örnek ders planları ve mikro-öğretim deneyimlerine yer verilmesi önerilebilir. Öğretmen adaylarının aile anlatısına ters düşme ve damgalanma kaygılarını azaltmaya yönelik, aile iletişimi stratejilerini de içeren rehber materyaller geliştirilmesi faydalı olabilir.

KAYNAKÇA

Bishop, R. S. (1990). Mirrors, windows, and sliding glass doors. *Perspectives: Choosing and Using Books for the Classroom, 6*(3), ix-xi.

Derman-Sparks, L., Edwards, J. O., & Goins, C. M. (2020). *Anti-bias education for young children and ourselves* (2nd ed.). National Association for the Education of Young Children (NAEYC).

Eroğlu, E. (2022). Kapsayıcı resimli çocuk kitaplarının okul öncesi eğitimde kullanılması. *Temel Eğitim Araştırmaları Dergisi, 2*(1), 60-73. https://doi.org/10.55008/te-ad.1086885

Nguyen, A. (2022). "Children have the fairest things to say": Young children's engagement with anti-bias picture books. *Early Childhood Education Journal, 50*(5), 743-759. https://doi.org/10.1007/s10643-021-01186-1

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

RELATIONSHIP BETWEEN ANKLE DORSIFLEXION RANGE OF MOTION AND LOWER EXTREMITY PERFORMANCE IN FOOTBALL PLAYERS

BETÜL SATILMIŞ, PT, MSc

Sivas Cumhuriyet University, satlmsbetul87@gmail.com - 0000-0002-0901-0921

Asst. Prof. Dr. GAMZE ÇOBANOĞLU

Gazi University, Recep Tayyip Erdogan University,

fztgamze7@gmail.com - 0000-0003-0136-3607

MUHAMMED YUSUF DEMİRKAN, PT, MSc

Kırıkkale University, myusufdemirkan@gmail.com - 0000-0003-1889-8827

Assoc. Prof. Dr. SİNEM SUNER-KEKLİK

Sivas Cumhuriyet University, ssuner@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0002-9506-3172

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the relationship between ankle dorsiflexion (DF) range of motion, vertical jump performance, and closed kinetic chain lower extremity function in football players. Thirty-one male football players (age = 25.41 ± 5.09 years) were included in the study. Ankle DF range of motion was measured during the Weight-Bearing Lunge Test (WBLT) using both distance (cm) and angle (°) measurements with a digital inclinometer. Lower extremity functional performance was assessed using the Vertical Jump Test [bilateral vertical jump (VJ) and single-leg vertical jump (SLVJ)] and the Closed Kinetic Chain Lower Extremity Stability Test (CKCLEST). According to the analysis results, a significant weak negative correlation was found between the WBLT distance value and SLVJ performance ($r = -0.389$, $p = 0.030$), whereas a significant moderate negative correlation was found between the WBLT distance value and VJ performance ($r = -0.459$, $p = 0.009$). No significant relationship was found between the WBLT distance value and CKCLEST performance ($p>0.05$). A significant strong negative correlation was found between the WBLT angle and both SLVJ ($r = −0.709$, $p<0.001$) and VJ ($r = -0.730$, $p<0.001$) performance, whereas a significant moderate negative correlation was found between the WBLT angle and CKCLEST score ($r = -0.654$, $p<0.001$). The findings of this study showed that an increase in ankle DF range of motion was associated with a decrease in lower extremity performance in football players. Contrary to the general expectation in the literature, this negative relationship may be attributed to the absence of DF limitation in the participants and their high DF angles (mean = 51.80°). These findings suggest that ankle DF range of motion above a certain threshold may negatively affect performance by reducing muscle–tendon stiffness or making mechanical control more difficult during explosive movements.

Keywords: Football, Dorsiflexion, Vertical Jump, Dynamic Stability.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

THE IMPACT OF FOREST FIRES ON SOIL PH, ORGANIC MATTER and BULK DENSITY IN MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS: 2024 ECEABAT-ÇANAKKALE CASE STUDY

Master's Student, Viktoriia BAZADZHY
Çanakkale Onsekiz Mart University, School of Graduate Studies, Department of Biology,
viktoriiabazadzhy@gmail.com- ORCID: 0009-0001-2221-4400
Assistant Professor, Kemal GÖKKAYA
Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Science, Department of Biology,
kemalgokkaya@comu.edu.tr- ORCID: 0000-0001-8980-5072
Dr. Sheila F. CHRISTOPHER
puffchristopher@gmail.com- ORCID: 0000-0002-7200-5084

ABSTRACT

Climate change and human activities are altering the fire regime in the Mediterranean Basin. The number and frequency of fires are increasing, affecting ecosystems. Monitoring these effects is important. Soil is a crucial ecosystem component because its properties influence vegetation regrowth and overall ecosystem recovery.

This study assessed the short term effects of a forest fire that occurred in Eceabat, Çanakkale, on 15 August 2024 on soil properties. These effects may vary with fire severity, soil property, and time since fire. The objectives of the study were to i) determine the effect of fire on soil pH, organic matter content, and bulk density, ii) assess the changes in these soil properties in relation to time since fire, and iii) investigate the relationship between fire severity and the measured soil properties.

Fieldwork was conducted shortly after the fire, in September 2024, and one year later. Soil samples were collected at 0-5 cm depth from seven burned sites and four control sites. Four points were sampled at each site, and soil pH, organic matter content, and bulk density were determined. Fire severity was assessed using the Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) index calculated from Sentinel-2 imagery. Sampling site means were used and the data were analyzed using repeated-measures analysis of variance.

Immediately after the fire, soil pH in burned areas was approximately 10% higher than in control areas, representing a significant difference; however, the difference was not significant one year later. Organic matter content in burned areas showed a significant increase of approximately 34% in 2024, followed by a significant decrease of approximately 32% in 2025. Fire and time since fire had no significant effect on bulk density. All of the sampling sites in the burned areas were classified as high severity areas. No significant relationships were detected between fire severity and either soil pH or organic matter content. The results showed that post-fire soil responses may vary depending on the property examined and sampling time.

Keywords: Eceabat, dNBR, fire severity, soil pH, soil organic matter, forest fire

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

AKDENİZ EKOSİSTEMLERİNDE ORMAN YANGINLARININ TOPRAK pH, ORGANİK MADDE ve HACİM AĞIRLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: ECEABAT-ÇANAKKALE 2024 ÖRNEK ÇALIŞMASI

Yüksek Lisans Öğrencisi, Viktoriia BAZADZHY
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı,
viktoriiabazadzhy@gmail.com- ORCID: 0009-0001-2221-4400
Dr. Öğr. Üyesi, Kemal GÖKKAYA
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
kemalgokkaya@comu.edu.tr- ORCID: 0000-0001-8980-5072
Dr. Sheila F. CHRISTOPHER
puffchristopher@gmail.com – ORCID: 0000-0002-7200-5084

ÖZET

İklim değişikliği ve insan etkileri Akdeniz Havzası'ndaki yangın rejimini değiştirmektedir. Yangın sayısı, sıklığı artmakta ve ekosistemi etkilemektedir. Bu yüzden yangınların ekosistem üzerindeki etkilerini izlemek önem taşımaktadır. Ekosistemin en önemli bileşenlerinden biri topraktır çünkü toprak özellikleri bitki örtüsünün yeniden büyümesini ve genel olarak ekosistemin toparlanmasını etkilemektedir.

Bu çalışmada, 15 Ağustos 2024 tarihinde Çanakkale ili Eceabat ilçesinde meydana gelen orman yangınının toprak özellikleri üzerindeki erken dönem etkileri değerlendirilmiştir. Bu etkiler yangın şiddetine, toprak özelliğine ve yangından sonra geçen süreye göre değişebilmektedir. Çalışmada yangının toprak pH değeri, organik madde miktarı ve hacim ağırlığı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu özelliklerde yangından sonra geçen süreye bağlı olarak meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Yangın şiddeti ile bu özellikler arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır.

Arazi çalışmaları yangından kısa süre sonra, Eylül 2024'te ve bir yıl sonra gerçekleştirilmiştir. Toprak örnekleri, yangından etkilenen yedi örnekleme alanı ile yangından etkilenmeyen dört kontrol alanından 0-5 cm derinlikten alınmıştır. Her örnekleme alanında dört farklı noktada örnekleme yapılmış; toprak pH'sı, organik madde içeriği ve hacim ağırlığı belirlenmiştir. Yangın şiddeti, Sentinel-2 uydu görüntülerinden hesaplanan Fark Normalize Edilmiş Yanma Oranı (dNBR) kullanılarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizlerde örnekleme alanı ortalamaları kullanılmış ve veriler tekrarlı ölçümler varyans analiziyle değerlendirilmiştir.

Yangından hemen sonra, yangından etkilenen alanlarda pH değeri kontrol alanlarına göre yaklaşık %10 anlamlı bir artış göstermiş, ancak bir yıl sonra alanlar arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır. Organik madde içeriği 2024 yılında yangına bağlı olarak yaklaşık %34 anlamlı bir artış göstermiş, bir yıl sonra ise yangından etkilenen alanlarda yaklaşık %32 oranında anlamlı bir azalma görülmüştür. Öte yandan yangın ve yangından sonra geçen sürenin hacim ağırlığı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Yangından etkilenen örnekleme alanlarının tamamı yüksek yangın şiddeti sınıfında yer almıştır. Yangın şiddeti ile toprak pH değeri ve

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

organik madde içeriği arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Sonuçlar, yangın sonrası toprak tepkisinin incelenen özelliğe ve örnekleme zamanına göre değişebildiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Eceabat, dNBR, yangın şiddeti, toprak pH'sı, toprak organik maddesi, orman yangını

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DETERMINATION OF CULTURE CONDITIONS FOR PROTEASE PRODUCTION BY *Bacillus* zhangzhouensis ASP ISOLATED FROM TRADITIONAL ERZURUM MOLDY CHEESE

Arife BİLGİÇ
Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Biyoloji Anabilim Dalı
E-posta Adresi - arife.ozcelik38@gmail.com- ORCID ID: 0009-0006-0415-0489

Assoc. Prof. Dr. Sümeyra GÜRKÖK
Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Biyoloji Anabilim Dalı,
E-posta Adresi – sgurkok@atauni.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-2707-4371

ABSTRACT

This study aimed to determine the protease production potential of the *Bacillus zhangzhouensis* ASP strain isolated from traditional Erzurum moldy cheese and to investigate the principal culture conditions affecting protease production. The effects of incubation time, temperature, initial pH, different carbon and nitrogen sources, and agro-industrial waste-derived carbon sources on protease production were investigated. The strain was cultivated in a liquid protease production medium under shaking conditions. Protease activity in the culture supernatant was determined spectrophotometrically and evaluated together with microbial growth. The highest protease production was obtained on the fifth day of incubation. Among the temperatures and initial pH values tested, 30 °C and pH 8.0 were identified as the optimum conditions, respectively. Among the carbon sources, maltose resulted in the highest protease activity, reaching 465.575 U/mL. Casein provided the most favorable result among the nitrogen sources. Among the waste-derived carbon sources, molasses provided a protease activity of 284.075 U/mL and was evaluated as a low-cost, sustainable alternative. The findings demonstrated that the *B. zhangzhouensis* ASP strain represents a promising microbial source for protease production and that economical substrates, particularly molasses, could be utilized in enzyme production processes.

Keywords: *Bacillus zhangzhouensis*, protease, moldy cheese, optimization, molasses

1. INTRODUCTION

Proteases are enzymes that catalyze the hydrolysis of peptide bonds present in proteins, converting proteins into smaller peptides and amino acids. Playing a role in numerous biological processes ranging from cellular protein turnover to digestion, these enzymes are widely used in various industrial fields such as food, detergent, leather, textile, pharmaceutical, and waste management [1,2,3].

Although proteases can be obtained from plant, animal, and microbial sources, microorganisms offer significant advantages for industrial production due to their rapid proliferation, their ability to produce high amounts of enzyme in a short time, the ease with which culture conditions can be controlled, and their genetic modifiability [2,4]. In particular, *Bacillus* species

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

stand out in commercial enzyme production due to their ability to secrete high amounts of protease extracellularly and their adaptability to different environmental conditions [5].

Traditional fermented products harbor rich and unique microbial communities owing to their production methods and ripening conditions. Proteolytic microorganisms found in cheese microflora contribute to protein breakdown during ripening, while also constituting a potential source for the identification of new industrial enzyme producers. Therefore, investigating the protease production capacity of microorganisms isolated from local cheeses is important both for revealing regional microbial diversity and for identifying new strains of biotechnological value.

In this study, it was aimed to determine the protease production potential of the *B. zhangzhouensis* ASP strain isolated from Erzurum traditional moldy cheese, and to examine the effects of incubation period, temperature, initial pH, carbon and nitrogen sources, and different waste carbon sources on protease production.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Microorganism and Protease Production Medium

In this study, the bacterial strain isolated from Erzurum traditional moldy cheese and identified as *Bacillus zhangzhouensis* ASP as a result of identification studies was used. Protease production was carried out in a medium containing 5 g/L casein, 2 g/L yeast extract, 5 g/L peptone, 5 g/L NaCl, 0.2 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.1 g/L $CaCl_2$, and 1 g/L K_2HPO_4. The initial pH of the prepared media was adjusted to 7.0 and inoculated with 1% bacterial culture. The cultures were grown under shaking incubation conditions at 30 °C and 185 rpm.

2.2. Determination of Microbial Growth

In order to determine the effect of different culture conditions on bacterial growth, the optical density values of the culture samples were measured spectrophotometrically at OD600 at the end of incubation. The absorbance values obtained were evaluated as an indicator of microbial growth. Microbial growth results were examined together with protease activity, and the relationship between cell growth and enzyme production was revealed.

2.3. Preparation of the Crude Enzyme Extract

At the end of incubation, the liquid cultures were centrifuged at 10,000 rpm for 5 min in order to remove bacterial cells and other insoluble components from the medium. Following centrifugation, the cell-free culture supernatant obtained was carefully separated. Given that the protease was produced extracellularly, the obtained supernatant was used as the crude enzyme source, and activity measurements were carried out using these samples.

2.4. Determination of Protease Activity

The substrate solution was prepared by dissolving 0.6% (w/v) casein in Tris-HCl buffer (pH 7.0). For the enzymatic reaction, 0.5 mL of the crude enzyme preparation was mixed with 2.5 mL of the casein solution, and the reaction mixture was incubated at 30 °C for 10 min. Following incubation, the reaction was terminated by adding 2.5 mL of trichloroacetic acid

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

(TCA) solution. The mixture was allowed to stand for 10 min and then filtered through Whatman No. 1 filter paper to remove the precipitated proteins.

A 0.250 mL aliquot of the resulting filtrate was mixed with 2.5 mL of sodium carbonate solution and 0.5 mL of Folin–Ciocalteu reagent. The mixture was incubated at 30 °C for 30 min, and its absorbance was measured spectrophotometrically at 660 nm. The amount of tyrosine released was calculated using a standard curve prepared with different concentrations of *L*-tyrosine. All measurements were performed in triplicate. One unit of protease activity was defined as the amount of enzyme required to release 1 µmol of tyrosine equivalent per minute under the specified assay conditions, and the results were expressed as U/mL.

2.5. Effect of Incubation Time

To determine the time-dependent variation in protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain, the cultures were incubated for five days at 30 °C and 185 rpm in a liquid protease production medium adjusted to an initial pH of 7.0. Samples were collected daily from the culture medium throughout the incubation period.

The collected culture samples were centrifuged to remove bacterial cells, and the resulting cell-free culture supernatant was used as the crude enzyme source. Protease activity in the supernatant was determined using a spectrophotometric method. Microbial growth was monitored by measuring the optical density of the culture samples at 600 nm (OD_{600}). Protease activity and microbial growth results were evaluated together to investigate the relationship between bacterial growth and enzyme production and to determine the incubation period at which the highest protease production occurred. All experiments were performed in triplicate [5,6].

2.6. Effect of Temperature

To determine the effects of temperature on protease production and microbial growth, cultures of the *B. zhangzhouensis* ASP strain were incubated at 20, 30, and 40 °C. The initial pH of the production medium was adjusted to 7.0, and the cultures were grown at an agitation rate of 185 rpm for five days. Other culture conditions, including medium composition, initial pH, agitation rate, and incubation time, were kept constant throughout the experiments. Following the five-day incubation period, the protease activities and microbial growth levels of the cultures were determined.

2.7. Effect of Initial pH

In order to examine the effect of initial pH on protease production, the pH values of the liquid production media were adjusted within the range of 5.0–12.0. The prepared media were inoculated with the *B. zhangzhouensis* ASP strain, and the cultures were grown at 30 °C and an agitation rate of 185 rpm for five days while other production conditions were kept constant. At the end of incubation, protease activity and microbial growth levels were determined. By comparing the results obtained from different pH values, the most suitable initial pH for protease production was identified [3,6,8].

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.8. Effect of Nitrogen Sources

To determine the effect of different nitrogen sources on protease production, casein, meat extract, yeast extract, gelatin, peptone, tryptone, and various inorganic nitrogen sources were used at a concentration of 1% in the culture media. Each nitrogen source examined was added separately and in equal proportions to the production medium. The experiments were carried out at an initial pH of 8.0, at 30 °C, at an agitation speed of 185 rpm, and for a period of five days. Following incubation, the protease activities and microbial growth levels of the cultures were determined. Thus, the effects of organic and inorganic nitrogen sources on enzyme production were compared, and the most suitable nitrogen source for protease production was identified [6,8].

The fact that casein supported high protease production suggests that this compound, which has a protein-based structure, was not used solely as a nitrogen source but may also have served as a substrate that induced extracellular protease synthesis. However, the variation in the most suitable nitrogen source across different studies reveals that protease production is a strain-specific characteristic.

2.9. Effect of Carbon Sources

The effects of different carbon sources on protease production and microbial growth by the *B. zhangzhouensis* ASP strain were investigated. For this purpose, each carbon source tested was added separately to the basal production medium at a concentration of 1%. All medium components and culture conditions other than the carbon source were kept constant. The experiments were conducted at an initial pH of 8.0 and a temperature of 30 °C under shaking conditions at 185 rpm for five days. At the end of the incubation period, protease activity and microbial growth were measured. The effects of the different carbon sources were compared, and the carbon source that supported the highest enzyme production was identified [6,8].

2.10. Effect of Waste-Derived Carbon Sources

In order to reduce protease production costs and to evaluate agro-industrial wastes from a biotechnological perspective, the effects of different waste carbon sources on protease production were investigated. The selected waste materials were added separately to the production medium as carbon sources at a concentration of 1%, and the capacity of the *B. zhangzhouensis* ASP strain to utilize these substrates was investigated. The experiments were conducted at pH 8.0 and 30 °C under shaking conditions at 185 rpm for five days. At the end of the incubation period, the protease activity and microbial growth values were compared with those obtained using commercial carbon sources. Thus, the most suitable waste-derived carbon source for economical and sustainable protease production was identified [9,10].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of Incubation Time on Protease Production

The time-dependent change in protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain was investigated over a five-day incubation period. According to the results obtained, it was determined that protease activity continued throughout the culture period, and the highest

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

enzyme activity was reached on the fifth day of incubation. This indicates that protease production by this strain was not completed within a short period, and that enzyme synthesis and the release of the enzyme into the extracellular medium continued during the later stages of the culture.

The high activity determined on the fifth day is thought to be related to the formation of sufficient microbial biomass in the culture medium and to the accumulation of the synthesized protease in the medium over time. Proteases are known to be produced particularly to enable the degradation of protein-structured compounds and their subsequent utilization by the cell, especially as easily available nutrient sources in the medium decrease. Therefore, the high protease activity observed during the late incubation period may be related to the metabolic activities of the bacterium aimed at meeting its nutritional requirements. In line with the results obtained, the appropriate incubation period for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain was determined to be five days.

3.2. Effect of Temperature on Protease Production

The effect of different incubation temperatures on protease production was investigated at 20, 30, and 40 °C. The highest protease production was observed at 30 °C. This result indicates that 30 °C is a suitable culture temperature for both microbial growth and protease synthesis by the *B. zhangzhouensis* ASP strain. Suitable temperature conditions may have enhanced extracellular protease production by supporting the metabolic activities of the microorganism and the functioning of the enzymatic systems responsible for protein synthesis.

The ability of the strain to produce protease at both 20 and 40 °C demonstrated that protease synthesis was not restricted to a narrow temperature range. However, the lower activity obtained at these temperatures compared with that observed at 30 °C suggests that lower or higher temperatures may exert a limiting effect on microbial metabolism and enzyme synthesis. The slowing of cellular reactions at low temperatures and the adverse effects of high temperatures on cell growth and the biological structures involved in protease synthesis may lead to decreased enzyme production. Based on these findings, 30 °C was selected as the appropriate incubation temperature for subsequent production experiments.

3.3. Effect of Initial pH on Protease Production

The initial pH of the production medium is one of the important factors affecting microbial growth, nutrient availability, and extracellular enzyme synthesis. In this study, the effect of initial pH on protease production was investigated over the pH range of 5.0–12.0, and the highest protease production was observed at pH 8.0. This result indicates that slightly alkaline conditions are more suitable for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain.

The pH of the medium may affect the transport of substances across the cell membrane, the solubility of culture medium components, and the metabolic reactions associated with protease synthesis. Therefore, the high activity observed at pH 8.0 is considered to be associated with the establishment of suitable physiological conditions for the growth of the strain and extracellular protease synthesis. The decrease in activity at acidic or more strongly alkaline pH values may have resulted from adverse effects on cell growth, nutrient utilization, or enzyme

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

synthesis mechanisms. The high protease production observed at a slightly alkaline initial pH is consistent with the production characteristics of *Bacillus*-derived proteases under alkaline conditions [4,5]. Based on the results obtained, an initial pH of 8.0 was used in subsequent production studies.

3.4. Effect of Nitrogen Sources on Protease Production

Nitrogen sources are essential nutritional components required by microorganisms for the synthesis of cellular proteins, nucleic acids, and enzymes. Whether the nitrogen source used is organic or inorganic can significantly affect microbial growth and extracellular protease production. In this study, the effects of casein, meat extract, yeast extract, gelatin, peptone, tryptone, and various inorganic nitrogen sources on protease production were evaluated.

Among the nitrogen sources tested, the highest protease production was recorded as 185.35 U/mL in the production medium containing casein. Casein was followed by meat extract and yeast extract, respectively. A moderate level of protease activity was observed in the production medium containing gelatin, whereas lower activities were detected in media containing peptone and tryptone. The lowest protease production was observed in media containing inorganic nitrogen sources compared with the other sources tested.

Casein is thought to enhance enzyme production because it acts both as a nutritious nitrogen source and as a proteinaceous substrate capable of inducing protease synthesis. Since bacterial cells cannot directly take up large casein molecules present in the medium, the bacterium may produce extracellular proteases to break these molecules down into smaller peptides and amino acids. Complex organic nitrogen sources, such as meat extract and yeast extract, may also support protease production because they contain amino acids, peptides, vitamins, and growth factors.

The lower protease production observed with inorganic nitrogen sources may be associated with the non-proteinaceous nature of these compounds and their inability to directly induce protease synthesis. The findings demonstrated that organic and complex nitrogen sources were more suitable for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain. Consequently, casein was identified as the nitrogen source that supported the highest protease production among the sources tested.

3.5. Effect of Carbon Sources on Protease Production

Carbon sources provide the energy and carbon skeletons required for microbial growth and the maintenance of metabolic activities. However, the type of carbon source used can significantly affect not only microbial growth but also the synthesis of extracellular enzymes. In this study, the effects of different carbon sources on protease production and microbial growth by the *B. zhangzhouensis* ASP strain were compared.

Among the carbon sources tested, the highest protease activity was recorded as 465.575 U/mL in the production medium containing maltose. This finding indicates that maltose can be efficiently utilized by the strain and represents a suitable carbon source for supporting protease

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

synthesis. The utilization of maltose by the cells for energy production may have supported microbial growth and the metabolic processes required for protease synthesis.

The different levels of protease activity obtained with different carbon sources indicate that enzyme production depends not only on the extent of microbial growth but also on the chemical structure of the carbon source and the manner in which it is metabolized by the microorganism. Although some carbon sources may support cellular growth, they may not stimulate protease synthesis to the same extent. Furthermore, high concentrations of certain readily metabolizable carbon sources may exert a repressive effect on protease production. Based on the results obtained in this study, maltose was identified as the most suitable commercial carbon source for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain.

3.6. Effect of Waste-Derived Carbon Sources on Protease Production

The medium components used in industrial enzyme production constitute a significant portion of the total production cost. Therefore, the use of low-cost agricultural and industrial by-products in place of commercial carbon sources is important for reducing production costs. In addition, the conversion of these wastes into valuable biotechnological products by microorganisms can contribute to reducing waste volume and to the development of sustainable production processes.

Among the waste carbon sources examined in this study, a protease activity of 284.075 U/mL was obtained in the production medium containing molasses. The protease activity provided by molasses was found to be lower than the activity of 465.575 U/mL obtained using the commercial carbon source maltose. Nevertheless, the fact that molasses supported protease production to a considerable extent indicates that this waste material can be utilized as a carbon and energy source by the B. zhangzhouensis ASP strain.

The fact that molasses is a sugar-rich industrial by-product may have contributed to providing the energy required for microbial growth and enzyme synthesis. Although commercial maltose provided higher activity, molasses appears to be a significant alternative when evaluated in terms of cost, accessibility, and sustainability. Particularly in large-scale production processes, not only the highest enzyme activity but also substrate cost and availability need to be taken into consideration.

In conclusion, although molasses provided lower protease activity than maltose, it was evaluated as a suitable alternative that could be used in protease production due to being a low-cost, easily accessible, and sustainable carbon source. The utilization of industrial by-products such as molasses in microbial protease production can provide economic and environmental advantages both by reducing production costs and by converting wastes into value-added biotechnological products.

Table 1. Key findings on protease production by the *Bacillus zhangzhouensis* ASP strain

Investigated factor	En uygun koşul / sonuç
Incubation time	5 gün
Temperature	30 °C

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Investigated factor	En uygun koşul / sonuç
Initial pH	8,0
Nitrogen source	Casein – 185,35 U/mL
Carbon source	Maltose – 465,575 U/mL
Waste-derived carbon source	Molasses – 284,075 U/mL

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSION

In this study, the fundamental culture conditions affecting protease production by the *Bacillus zhangzhouensis* ASP strain, isolated from Erzurum traditional moldy cheese, were determined. The highest protease production was obtained at 30 °C and an initial pH of 8.0 following a five-day incubation period. Among the carbon sources, maltose, and among the nitrogen sources, casein provided the most favorable results. The fact that molasses supported considerable protease activity demonstrated that this waste material could be evaluated as an economical and sustainable production substrate.

The findings obtained reveal that the strain is promising in terms of protease production. However, in order to more comprehensively evaluate the strain's industrial application potential, it is necessary to optimize the production conditions using statistical methods, to purify the enzyme, and to determine its biochemical properties. In particular, scale-up studies employing low-cost waste substrates are considered to be beneficial in terms of production economics and sustainability.

REFERENCES

[1] Rao, M. B., Tanksale, A. M., Ghatge, M. S., & Deshpande, V. V. (1998). Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. *Microbiology and molecular biology reviews*, *62*(3), 597-635.

[2] Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A., & Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, *7*, 110.

[3] Hemsinli, A., & Gurkok, S. (2024). Evaluation of a novel purified and characterized alkaline protease from the extremophile *Exiguobacterium alkaliphilum* VLP1 as a detergent additive. *Biotechnology Journal*, *19*(1), 2300441.

[4] Solanki, P., Putatunda, C., Kumar, A., Bhatia, R., & Walia, A. (2021). Microbial proteases: ubiquitous enzymes with innumerable uses. *3 Biotech*, *11*(10), 428.

[5] Gupta, R., Beg, Q., & Lorenz, P. (2002). Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications. *Applied microbiology and biotechnology*, *59*(1), 15-32.

[6] Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R., & Wei, F. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in microbiology*, *14*, 1236368.

[7] Sun, B., Zou, K., Zhao, Y., Tang, Y., Zhang, F., Chen, W., ... & Zheng, Y. (2023). *Bacillus subtilis* BS-QR-052 tarafından alkalin proteaz üretimi için fermantasyon optimizasyonu. *Mikrobiyoloji Sınırları*, *14*, 1301065.

[8] Alshehri, W. A., Alhothifi, S. A., Khalel, A. F., Alqahtani, F. S., Hadrich, B., & Sayari, A. (2025). Production optimization of a thermostable alkaline and detergent biocompatible protease by *Bacillus paramycoides* WSA for the green detergent industry. *Scientific Reports*, *15*(1), 13205.

[9] Sisa, A., Sotomayor, C., Buitrón, L., Gómez-Estaca, J., Martínez-Alvarez, O., & Mosquera, M. (2023). Evaluation of by-products from agricultural, livestock and fishing industries as nutrient source for the production of proteolytic enzymes. *Heliyon*, *9*(10).

[10] López-Trujillo, J., Mellado-Bosque, M., Ascacio-Valdés, J. A., Prado-Barragán, L. A., Hernández-Herrera, J. A., & Aguilera-Carbó, A. F. (2023). Temperature and pH optimization for protease production fermented by *Yarrowia lipolytica* from agro-industrial waste. *Fermentation*, *9*(9), 819.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DETERMINATION OF CULTURE CONDITIONS FOR PROTEASE PRODUCTION BY Bacillus zhangzhouensis ASP ISOLATED FROM TRADITIONAL ERZURUM MOLDY CHEESE

Arife BİLGİÇ
Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Biyoloji Anabilim Dalı
E-posta Adresi - arife.ozcelik38@gmail.com- ORCID ID: 0009-0006-0415-0489

Assoc. Prof. Dr. Sümeyra GÜRKÖK
Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Biyoloji Anabilim Dalı,
E-posta Adresi – sgurkok@atauni.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-2707-4371

ABSTRACT

This study aimed to determine the protease production potential of the *Bacillus zhangzhouensis* ASP strain isolated from traditional Erzurum moldy cheese and to investigate the principal culture conditions affecting protease production. The effects of incubation time, temperature, initial pH, different carbon and nitrogen sources, and agro-industrial waste-derived carbon sources on protease production were investigated. The strain was cultivated in a liquid protease production medium under shaking conditions. Protease activity in the culture supernatant was determined spectrophotometrically and evaluated together with microbial growth. The highest protease production was obtained on the fifth day of incubation. Among the temperatures and initial pH values tested, 30 °C and pH 8.0 were identified as the optimum conditions, respectively. Among the carbon sources, maltose resulted in the highest protease activity, reaching 465.575 U/mL. Casein provided the most favorable result among the nitrogen sources. Among the waste-derived carbon sources, molasses provided a protease activity of 284.075 U/mL and was evaluated as a low-cost, sustainable alternative. The findings demonstrated that the B. zhangzhouensis ASP strain represents a promising microbial source for protease production and that economical substrates, particularly molasses, could be utilized in enzyme production processes.

Keywords: *Bacillus zhangzhouensis*, protease, moldy cheese, optimization, molasses

2. INTRODUCTION

Proteases are enzymes that catalyze the hydrolysis of peptide bonds present in proteins, converting proteins into smaller peptides and amino acids. Playing a role in numerous biological processes ranging from cellular protein turnover to digestion, these enzymes are widely used in various industrial fields such as food, detergent, leather, textile, pharmaceutical, and waste management [1,2].

Although proteases can be obtained from plant, animal, and microbial sources, microorganisms offer significant advantages for industrial production due to their rapid proliferation, their ability to produce high amounts of enzyme in a short time, the ease with which culture conditions can be controlled, and their genetic modifiability [2,3]. In particular, *Bacillus* species stand out in commercial enzyme production due to their ability to secrete high amounts of protease extracellularly and their adaptability to different environmental conditions [4].

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Traditional fermented products harbor rich and unique microbial communities owing to their production methods and ripening conditions. Proteolytic microorganisms found in cheese microflora contribute to protein breakdown during ripening, while also constituting a potential source for the identification of new industrial enzyme producers. Therefore, investigating the protease production capacity of microorganisms isolated from local cheeses is important both for revealing regional microbial diversity and for identifying new strains of biotechnological value.

In this study, it was aimed to determine the protease production potential of the *B. zhangzhouensis* ASP strain isolated from Erzurum traditional moldy cheese, and to examine the effects of incubation period, temperature, initial pH, carbon and nitrogen sources, and different waste carbon sources on protease production.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Microorganism and Protease Production Medium

In this study, the bacterial strain isolated from Erzurum traditional moldy cheese and identified as *Bacillus zhangzhouensis* ASP as a result of identification studies was used. Protease production was carried out in a medium containing 5 g/L casein, 2 g/L yeast extract, 5 g/L peptone, 5 g/L NaCl, 0.2 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.1 g/L $CaCl_2$, and 1 g/L K_2HPO_4. The initial pH of the prepared media was adjusted to 7.0 and inoculated with 1% bacterial culture. The cultures were grown under shaking incubation conditions at 30 °C and 185 rpm.

2.2. Determination of Microbial Growth

In order to determine the effect of different culture conditions on bacterial growth, the optical density values of the culture samples were measured spectrophotometrically at OD600 at the end of incubation. The absorbance values obtained were evaluated as an indicator of microbial growth. Microbial growth results were examined together with protease activity, and the relationship between cell growth and enzyme production was revealed.

2.3. Preparation of the Crude Enzyme Extract

At the end of incubation, the liquid cultures were centrifuged at 10,000 rpm for 5 min in order to remove bacterial cells and other insoluble components from the medium. Following centrifugation, the cell-free culture supernatant obtained was carefully separated. Given that the protease was produced extracellularly, the obtained supernatant was used as the crude enzyme source, and activity measurements were carried out using these samples.

2.4. Determination of Protease Activity

The substrate solution was prepared by dissolving 0.6% (w/v) casein in Tris-HCl buffer (pH 7.0). For the enzymatic reaction, 0.5 mL of the crude enzyme preparation was mixed with 2.5 mL of the casein solution, and the reaction mixture was incubated at 30 °C for 10 min. Following incubation, the reaction was terminated by adding 2.5 mL of trichloroacetic acid (TCA) solution. The mixture was allowed to stand for 10 min and then filtered through Whatman No. 1 filter paper to remove the precipitated proteins.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

A 0.250 mL aliquot of the resulting filtrate was mixed with 2.5 mL of sodium carbonate solution and 0.5 mL of Folin–Ciocalteu reagent. The mixture was incubated at 30 °C for 30 min, and its absorbance was measured spectrophotometrically at 660 nm. The amount of tyrosine released was calculated using a standard curve prepared with different concentrations of L-tyrosine. All measurements were performed in triplicate. One unit of protease activity was defined as the amount of enzyme required to release 1 µmol of tyrosine equivalent per minute under the specified assay conditions, and the results were expressed as U/mL.

2.5. Effect of Incubation Time

To determine the time-dependent variation in protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain, the cultures were incubated for five days at 30 °C and 185 rpm in a liquid protease production medium adjusted to an initial pH of 7.0. Samples were collected daily from the culture medium throughout the incubation period.

The collected culture samples were centrifuged to remove bacterial cells, and the resulting cell-free culture supernatant was used as the crude enzyme source. Protease activity in the supernatant was determined using a spectrophotometric method. Microbial growth was monitored by measuring the optical density of the culture samples at 600 nm (OD_{600}). Protease activity and microbial growth results were evaluated together to investigate the relationship between bacterial growth and enzyme production and to determine the incubation period at which the highest protease production occurred. All experiments were performed in triplicate [4,5].

2.6. Effect of Temperature

To determine the effects of temperature on protease production and microbial growth, cultures of the *B. zhangzhouensis* ASP strain were incubated at 20, 30, and 40 °C. The initial pH of the production medium was adjusted to 7.0, and the cultures were grown at an agitation rate of 185 rpm for five days. Other culture conditions, including medium composition, initial pH, agitation rate, and incubation time, were kept constant throughout the experiments. Following the five-day incubation period, the protease activities and microbial growth levels of the cultures were determined.

2.7. Effect of Initial pH

In order to examine the effect of initial pH on protease production, the pH values of the liquid production media were adjusted within the range of 5.0–12.0. The prepared media were inoculated with the B. zhangzhouensis ASP strain, and the cultures were grown at 30 °C and an agitation rate of 185 rpm for five days while other production conditions were kept constant. At the end of incubation, protease activity and microbial growth levels were determined. By comparing the results obtained from different pH values, the most suitable initial pH for protease production was identified [5,7].

2.8. Effect of Nitrogen Sources

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Proteaz üretimi üzerinde farklı azot kaynaklarının etkisini belirlemek amacıyla kültür ortamlarında %1 oranında kazein, et özütü, maya özütü, jelatin, pepton, tripton ve çeşitli inorganik azot kaynakları kullanılmıştır. İncelenen her azot kaynağı, üretim ortamına ayrı ayrı ve eşit oranlarda ilave edilmiştir. Denemeler başlangıç pH'sı 8,0 olacak şekilde 30 °C'de, 185 rpm çalkalama hızında ve beş gün boyunca gerçekleştirilmiştir. İnkübasyonun ardından kültürlerin proteaz aktiviteleri ve mikrobiyal gelişim düzeyleri belirlenmiştir. Böylece organik ve inorganik azot kaynaklarının enzim üretimi üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve proteaz üretimi için en uygun azot kaynağı tespit edilmiştir [5,7].

Kazeinin yüksek proteaz üretimini desteklemesi, protein yapısındaki bu bileşiğin yalnızca bir azot kaynağı olarak kullanılmadığını, aynı zamanda hücre dışı proteaz sentezini uyaran bir substrat görevi görmüş olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte farklı çalışmalarda en uygun azot kaynağının değişiklik göstermesi, proteaz üretiminin suşa özgü bir özellik olduğunu ortaya koymaktadır [5].

2.9. Effect of Carbon Sources

The effects of different carbon sources on protease production and microbial growth by the *B. zhangzhouensis* ASP strain were investigated. For this purpose, each carbon source tested was added separately to the basal production medium at a concentration of 1%. All medium components and culture conditions other than the carbon source were kept constant. The experiments were conducted at an initial pH of 8.0 and a temperature of 30 °C under shaking conditions at 185 rpm for five days. At the end of the incubation period, protease activity and microbial growth were measured. The effects of the different carbon sources were compared, and the carbon source that supported the highest enzyme production was identified [5,7].

2.10. Effect of Waste-Derived Carbon Sources

In order to reduce protease production costs and to evaluate agro-industrial wastes from a biotechnological perspective, the effects of different waste carbon sources on protease production were investigated. The selected waste materials were added separately to the production medium as carbon sources at a concentration of 1%, and the capacity of the B. zhangzhouensis ASP strain to utilize these substrates was investigated. The experiments were conducted at pH 8.0 and 30 °C under shaking conditions at 185 rpm for five days. At the end of the incubation period, the protease activity and microbial growth values were compared with those obtained using commercial carbon sources. Thus, the most suitable waste-derived carbon source for economical and sustainable protease production was identified [8,9].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of Incubation Time on Protease Production

The time-dependent change in protease production by the B. zhangzhouensis ASP strain was investigated over a five-day incubation period. According to the results obtained, it was determined that protease activity continued throughout the culture period, and the highest enzyme activity was reached on the fifth day of incubation. This indicates that protease production by this strain was not completed within a short period, and that enzyme synthesis

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

and the release of the enzyme into the extracellular medium continued during the later stages of the culture.

The high activity determined on the fifth day is thought to be related to the formation of sufficient microbial biomass in the culture medium and to the accumulation of the synthesized protease in the medium over time. Proteases are known to be produced particularly to enable the degradation of protein-structured compounds and their subsequent utilization by the cell, especially as easily available nutrient sources in the medium decrease. Therefore, the high protease activity observed during the late incubation period may be related to the metabolic activities of the bacterium aimed at meeting its nutritional requirements. In line with the results obtained, the appropriate incubation period for protease production by the B. zhangzhouensis ASP strain was determined to be five days.

3.2. Effect of Temperature on Protease Production

The effect of different incubation temperatures on protease production was investigated at 20, 30, and 40 °C. The highest protease production was observed at 30 °C. This result indicates that 30 °C is a suitable culture temperature for both microbial growth and protease synthesis by the *B. zhangzhouensis* ASP strain. Suitable temperature conditions may have enhanced extracellular protease production by supporting the metabolic activities of the microorganism and the functioning of the enzymatic systems responsible for protein synthesis.

The ability of the strain to produce protease at both 20 and 40 °C demonstrated that protease synthesis was not restricted to a narrow temperature range. However, the lower activity obtained at these temperatures compared with that observed at 30 °C suggests that lower or higher temperatures may exert a limiting effect on microbial metabolism and enzyme synthesis. The slowing of cellular reactions at low temperatures and the adverse effects of high temperatures on cell growth and the biological structures involved in protease synthesis may lead to decreased enzyme production. Based on these findings, 30 °C was selected as the appropriate incubation temperature for subsequent production experiments.

3.3. Effect of Initial pH on Protease Production

The initial pH of the production medium is one of the important factors affecting microbial growth, nutrient availability, and extracellular enzyme synthesis. In this study, the effect of initial pH on protease production was investigated over the pH range of 5.0–12.0, and the highest protease production was observed at pH 8.0. This result indicates that slightly alkaline conditions are more suitable for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain.

The pH of the medium may affect the transport of substances across the cell membrane, the solubility of culture medium components, and the metabolic reactions associated with protease synthesis. Therefore, the high activity observed at pH 8.0 is considered to be associated with the establishment of suitable physiological conditions for the growth of the strain and extracellular protease synthesis. The decrease in activity at acidic or more strongly alkaline pH values may have resulted from adverse effects on cell growth, nutrient utilization, or enzyme synthesis mechanisms. The high protease production observed at a slightly alkaline initial pH is consistent with the production characteristics of *Bacillus*-derived proteases under alkaline

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

conditions [4,5]. Based on the results obtained, an initial pH of 8.0 was used in subsequent production studies.

3.4. Effect of Nitrogen Sources on Protease Production

Nitrogen sources are essential nutritional components required by microorganisms for the synthesis of cellular proteins, nucleic acids, and enzymes. Whether the nitrogen source used is organic or inorganic can significantly affect microbial growth and extracellular protease production. In this study, the effects of casein, meat extract, yeast extract, gelatin, peptone, tryptone, and various inorganic nitrogen sources on protease production were evaluated.

Among the nitrogen sources tested, the highest protease production was recorded as 185.35 U/mL in the production medium containing casein. Casein was followed by meat extract and yeast extract, respectively. A moderate level of protease activity was observed in the production medium containing gelatin, whereas lower activities were detected in media containing peptone and tryptone. The lowest protease production was observed in media containing inorganic nitrogen sources compared with the other sources tested.

Casein is thought to enhance enzyme production because it acts both as a nutritious nitrogen source and as a proteinaceous substrate capable of inducing protease synthesis. Since bacterial cells cannot directly take up large casein molecules present in the medium, the bacterium may produce extracellular proteases to break these molecules down into smaller peptides and amino acids. Complex organic nitrogen sources, such as meat extract and yeast extract, may also support protease production because they contain amino acids, peptides, vitamins, and growth factors.

The lower protease production observed with inorganic nitrogen sources may be associated with the non-proteinaceous nature of these compounds and their inability to directly induce protease synthesis. The findings demonstrated that organic and complex nitrogen sources were more suitable for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain. Consequently, casein was identified as the nitrogen source that supported the highest protease production among the sources tested.

3.5. Effect of Carbon Sources on Protease Production

Carbon sources provide the energy and carbon skeletons required for microbial growth and the maintenance of metabolic activities. However, the type of carbon source used can significantly affect not only microbial growth but also the synthesis of extracellular enzymes. In this study, the effects of different carbon sources on protease production and microbial growth by the *B. zhangzhouensis* ASP strain were compared.

Among the carbon sources tested, the highest protease activity was recorded as 465.575 U/mL in the production medium containing maltose. This finding indicates that maltose can be efficiently utilized by the strain and represents a suitable carbon source for supporting protease synthesis. The utilization of maltose by the cells for energy production may have supported microbial growth and the metabolic processes required for protease synthesis.

The different levels of protease activity obtained with different carbon sources indicate that enzyme production depends not only on the extent of microbial growth but also on the chemical structure of the carbon source and the manner in which it is metabolized by the microorganism. Although some carbon sources may support cellular growth, they may not stimulate protease synthesis to the same extent. Furthermore, high concentrations of certain readily metabolizable carbon sources may exert a repressive effect on protease production. Based on the results obtained in this study, maltose was identified as the most suitable commercial carbon source for protease production by the *B. zhangzhouensis* ASP strain.

3.6. Effect of Waste-Derived Carbon Sources on Protease Production

The medium components used in industrial enzyme production constitute a significant portion of the total production cost. Therefore, the use of low-cost agricultural and industrial by-products in place of commercial carbon sources is important for reducing production costs. In addition, the conversion of these wastes into valuable biotechnological products by microorganisms can contribute to reducing waste volume and to the development of sustainable production processes.

Among the waste carbon sources examined in this study, a protease activity of 284.075 U/mL was obtained in the production medium containing molasses. The protease activity provided by molasses was found to be lower than the activity of 465.575 U/mL obtained using the commercial carbon source maltose. Nevertheless, the fact that molasses supported protease production to a considerable extent indicates that this waste material can be utilized as a carbon and energy source by the B. zhangzhouensis ASP strain.

The fact that molasses is a sugar-rich industrial by-product may have contributed to providing the energy required for microbial growth and enzyme synthesis. Although commercial maltose provided higher activity, molasses appears to be a significant alternative when evaluated in terms of cost, accessibility, and sustainability. Particularly in large-scale production processes, not only the highest enzyme activity but also substrate cost and availability need to be taken into consideration.

In conclusion, although molasses provided lower protease activity than maltose, it was evaluated as a suitable alternative that could be used in protease production due to being a low-cost, easily accessible, and sustainable carbon source. The utilization of industrial by-products such as molasses in microbial protease production can provide economic and environmental advantages both by reducing production costs and by converting wastes into value-added biotechnological products.

Table 1. Key findings on protease production by the *Bacillus zhangzhouensis* ASP strain

Investigated factor	En uygun koşul / sonuç
Incubation time	5 gün
Temperature	30 °C
Initial pH	8,0
Nitrogen source	Casein – 185,35 U/mL
Carbon source	Maltose – 465,575 U/mL

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Investigated factor	En uygun koşul / sonuç
Waste-derived carbon source	Molasses – 284,075 U/mL

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSION

In this study, the fundamental culture conditions affecting protease production by the Bacillus zhangzhouensis ASP strain, isolated from Erzurum traditional moldy cheese, were determined. The highest protease production was obtained at 30 °C and an initial pH of 8.0 following a five-day incubation period. Among the carbon sources, maltose, and among the nitrogen sources, casein provided the most favorable results. The fact that molasses supported considerable protease activity demonstrated that this waste material could be evaluated as an economical and sustainable production substrate.

The findings obtained reveal that the strain is promising in terms of protease production. However, in order to more comprehensively evaluate the strain's industrial application potential, it is necessary to optimize the production conditions using statistical methods, to purify the enzyme, and to determine its biochemical properties. In particular, scale-up studies employing low-cost waste substrates are considered to be beneficial in terms of production economics and sustainability.

REFERENCES

[1] Rao, M. B., Tanksale, A. M., Ghatge, M. S., & Deshpande, V. V. (1998). Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. *Microbiology and molecular biology reviews*, *62*(3), 597-635.

[2] Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A., & Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, *7*, 110.

[3] Solanki, P., Putatunda, C., Kumar, A., Bhatia, R., & Walia, A. (2021). Microbial proteases: ubiquitous enzymes with innumerable uses. *3 Biotech*, *11*(10), 428.

[4] Gupta, R., Beg, Q., & Lorenz, P. (2002). Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications. *Applied microbiology and biotechnology*, *59*(1), 15-32.

[5] Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R., & Wei, F. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in microbiology*, *14*, 1236368.

[6] Sun, B., Zou, K., Zhao, Y., Tang, Y., Zhang, F., Chen, W., ... & Zheng, Y. (2023). Bacillus subtilis BS-QR-052 tarafından alkalin proteaz üretimi için fermantasyon optimizasyonu. *Mikrobiyoloji Sınırları*, *14*, 1301065.

[7] Alshehri, W. A., Alhothifi, S. A., Khalel, A. F., Alqahtani, F. S., Hadrich, B., & Sayari, A. (2025). Production optimization of a thermostable alkaline and detergent biocompatible protease by Bacillus paramycoides WSA for the green detergent industry. *Scientific Reports*, *15*(1), 13205.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

[8] Sisa, A., Sotomayor, C., Buitrón, L., Gómez-Estaca, J., Martínez-Alvarez, O., & Mosquera, M. (2023). Evaluation of by-products from agricultural, livestock and fishing industries as nutrient source for the production of proteolytic enzymes. *Heliyon*, *9*(10).

[9] López-Trujillo, J., Mellado-Bosque, M., Ascacio-Valdés, J. A., Prado-Barragán, L. A., Hernández-Herrera, J. A., & Aguilera-Carbó, A. F. (2023). Temperature and pH optimization for protease production fermented by Yarrowia lipolytica from agro-industrial waste. *Fermentation*, *9*(9), 819.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SERBEST GEZEN KÖY TAVUKLARINDA BULAŞICI LARENGOTRAKEİT VİRÜSÜ (ILTV) ENFEKSİYONU: GENOMİK ÖZELLİKLER VE EPİDEMİYOLOJİ

INFECTIOUS LARYNGOTRACHEITIS VIRUS (ILTV) INFECTION IN FREE-RANGE BACKYARD CHICKENS: GENOMIC CHARACTERISTICS and EPIDEMIOLOGY

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
ktekelioglu@cu.edu.tr, +90 322 338 60 84 / 2631- ORCID: 0000-0001-6727-3175
Dr. Öğr. Üyesi Çağrı AVCİ
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
cavci@cu.edu.tr, +90 507 251 96 85 - ORCID: 0000-0002-7762-2874

ÖZET

Enfeksiyöz larengotrakeit virüsü (ILTV), resmi olarak Gallid alfaherpesvirüs-1 (GaHV-1) olarak sınıflandırılan, dünya çapında tavukları etkileyen oldukça bulaşıcı bir solunum yolu hastalığı olan bulaşıcı larengotrakeitin (ILT) etkenidir. ILT, ticari broyler tavuk yetiştiricilerini, yumurta tavuklarını, evcil kümes hayvanlarını ve serbest dolaşan kümes hayvanlarını etkileyerek küresel kümes hayvanı endüstrisi için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Hastalık, şiddetli solunum güçlüğü, konjonktivit, yumurta üretiminde azalma, kilo alımında azalma, ölüm oranında artış ve önemli ekonomik kayıplarla kendini gösterir. ILTV bulaşması öncelikle enfekte kuşlarla doğrudan temas ve kontamine solunum yolu salgılarına maruz kalma yoluyla gerçekleşir. Kontamine ekipman, personel ve çevresel bulaşıcı maddeler yoluyla dolaylı bulaşma da hastalığın yayılmasında rol oynar. Birincil enfeksiyonu takiben, ILTV trigeminal ganglionda ömür boyu latent kalarak gizli, sessiz veya belirti vermeden var olmaya devam eder, özellikle stres veya bağışıklık baskılanması altında aralıklı viral reaktivasyona ve atılımına izin verir. Bu latent enfeksiyon, hastalığın ortadan kaldırılması çabalarını zorlaştırır ve kümes hayvanı popülasyonlarında viral kalıcılığı destekler. Tarihsel olarak, yoğun kümes hayvanı yetiştirme sistemleri, ILTV bulaşmasının ana ortamı olmuştur. Bununla birlikte, kırsal alanlarda, köylerde ve hatta şehirlerin perifer mahallelerdeki evlerin bahçe ve çatı katlarında serbest dolaşan tavuk üretiminin son yıllarda artan popülaritesi ile bazı il ve ilçelerde haftada en az bir gün kurulan ‘kuş pazarları’, geleneksel serbest dolaşan tavuk ve diğer kanatlı hayvan ticaretinin canlılığının ve talebin önemli bir göstergesidir. Açık alana erişim, kuş pazarları, evcil tavuklar, yabani kuşlar ve kontamine olmuş çevresel kaynaklar arasındaki etkileşimleri artırarak, virüsün yayılmasını ve rekombinant aşı kaynaklı varyantlar da dahil olmak üzere genetik olarak çeşitli ILTV suşlarının girişini kolaylaştırmakta ve epidemiyolojik manzarayı değiştirmektedir. ILT'nin klinik belirtileri, viral suşun virülansına, konakçı bağışıklığına, yaşa ve yönetim koşullarına bağlı olarak değişir. Semptomlar, hafif solunum semptomlarından, genellikle yüksek morbidite ve mortalite oranlarıyla ilişkili şiddetli hemorajik trakeite kadar değişmektedir. Doğru tanı, klinik değerlendirme, patolojik inceleme, virüs izolasyonu ve geleneksel ve gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), sekanslama ve serolojik

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

testler gibi moleküler tekniklerin bir kombinasyonunu gerektirir. Moleküler epidemiyoloji ve tüm genom dizileme alanındaki son gelişmeler, saha, aşı ve rekombinant suşları ayırt etme yeteneğini artırarak viral evrim ve bulaşma dinamikleri hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. Bu derleme, serbest dolaşan köy tavuklarında ILTV enfeksiyonu hakkındaki güncel bilgileri özetlemekte olup, özellikle viral tanı yöntemleri, genomik organizasyon ve moleküler epidemiyolojiye odaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Avian, epidemiyoloji, herpesvirüs, enfeksiyöz larengotrakeit virüs, ILTV, serbest dolaşan tavuk.

ABSTRACT

Infectious laryngotracheitis virus (ILTV), officially classified as Gallid alphaherpesvirus 1 (GaHV-1), is the causative agent of infectious laryngotracheitis (ILT), a highly contagious respiratory disease affecting chickens worldwide. ILT poses a significant threat to the global poultry industry by impacting commercial broiler breeders, laying hens, backyard flocks, and free-range poultry. The disease manifests with severe respiratory distress, conjunctivitis, decreased egg production, reduced weight gain, increased mortality, and substantial economic losses. ILTV transmission primarily occurs through direct contact with infected birds and exposure to contaminated respiratory secretions. Indirect transmission via contaminated equipment, personnel, and environmental fomites also contributes to disease spread. Following primary infection, ILTV establishes lifelong latency within the trigeminal ganglion, persisting silently or without symptoms, and allows intermittent viral reactivation and shedding, especially under stress or immunosuppression. This latent infection complicates eradication efforts and supports viral persistence within poultry populations. Historically, intensive poultry production systems have been the main environment for ILTV transmission. However, the increasing popularity of free-range chicken production in rural areas, villages, and even in the gardens and attics of houses in the outskirts of cities, along with ‘bird markets’ held at least once a week in urban areas, are important indicators of the vitality and demand for traditional free-range chicken and other poultry trade. Access to outdoor areas, bird markets, interactions between domestic chickens, wild birds, and contaminated environmental sources facilitate viral dissemination and the introduction of genetically diverse ILTV strains, including recombinant vaccine-derived variants, thus altering the epidemiological landscape. Clinical signs of ILT vary depending on viral strain virulence, host immunity, age, and management conditions. Presentations range from mild respiratory symptoms to severe hemorrhagic tracheitis, often associated with high morbidity and mortality rates. Accurate diagnosis requires a combination of clinical evaluation, pathological examination, virus isolation, and molecular techniques such as conventional and real-time polymerase chain reaction (PCR), sequencing, and serological assays. Recent advances in molecular epidemiology and whole-genome sequencing have improved the ability to differentiate field, vaccine, and recombinant strains, providing valuable insights into viral evolution and transmission dynamics. This review summarizes current knowledge on ILTV infection in free-range village chickens, with a particular focus on viral diagnostic methods, genomic organization, and molecular epidemiology.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Key Words: Avian, free range chicken, epidemiology, herpesvirus, infectious laryngotracheitis virus, ILTV.

1. GİRİŞ

Herpesviridae ailesi üç alt aileye ayrılır: *Alphaherpesvirinae, Betaherpesvirinae ve Gammaherpesvirinae.* Bugüne kadar birçok kanatlı herpes virüsü tanımlanmıştır ve bunlardan altısı veteriner hekimliğinde önemlidir (Biggs, 1982; ICTV, 2024; Kaleta, 1990; Towazewski vd., 2001; Tekelioğlu 2024; Witter, 1972; WHA, 2024; WSU, 2024; Vishwanatha & Nair, 2021).

- Enfeksiyöz larEngotrakeit virüsü (ILTV)
- Marek hastalığı virüsü (MDV)
- Pacheco papağan hastalığı virüsü (PsHV-1)
- Güvercin herpes virüsü-1 veya Pigeon herpes virüsü (PIHV)
- Ördek vebası virüsü veya Duck viral enteriti virüsü (DEV)
- Hindi herpes virüsü (HVT)

Ayrıca, hindi ve tavuklarda patojenik olmayan Hindi herpes virüsü (HVT), Marek hastalığı virüsüne (MDV-1) karşı koruyucu bağışıklık oluşturmada kullanılması nedeniyle aşı çalışmalarında önemlidir. Virüslerin Taksonomisi Komitesi (ICTV), AHV'leri *Alphaherpesvirinae* alt ailesine dahil ederken, yabani, yakalanmış ve evcil kuşlardan elde edilen herpes virüsleri genellikle *Betaherpesvirinae* veya *Gammaherpesvirinae* olarak sınıflandırılır (Biggs, 1982; ICTV, 2024; Kaleta, 1990; Towazewski ve diğerleri 2001; Witter, 1972; WSU, 2024; Vishwanatha ve Nair, 2021)

Herpesviridae ailesi, *Alphaherpesvirinae* alt ailesi ve *Iltovirus* cinsi içinde resmi olarak Gallid alfaherpesvirüs 1 (GaAHV-1) olarak sınıflandırılan Bulaşıcı Larengotrakeitis Virüsü (ILTV), dünya çapında evcil tavukları etkileyen en önemli viral solunum yolu patojenlerinden biridir. Diğer alfaherpesvirüsler gibi, ILTV de birincil maruziyetten sonra ömür boyu süren latent enfeksiyonlar oluşturarak, klinik olarak iyileşen kuşların tekrarlayan viral bulaşma için rezervuar görevi görmesini sağlar (Aydın vd., 2025; ICTV, 2023; García & Spatz, 2020). Hastalık ilk olarak 1920'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde tespit edilmiş ve daha sonra neredeyse tüm büyük kümes hayvanı üretim bölgelerine yayılmıştır. Bugün ILTV, Kuzey ve Güney Amerika, Avrupa, Asya, Afrika ve Okyanusya'daki birçok ülkede endemiktir. On yıllarca süren aşılama programlarına rağmen hem aşılanmış hem de aşılanmamış sürülerde salgınlar meydana gelmeye devam etmekte olup, bu da virüsün latentlik, reaktivasyon ve sürekli viral evrim yoluyla varlığını sürdürme yeteneğini yansıtmaktadır. Son moleküler çalışmalar, canlı zayıflatılmış aşı suşlarından kaynaklanan rekombinant virüslerin, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Avrupa'nın bazı bölgeleri de dahil olmak üzere birçok ülkede saha salgınlarından giderek daha fazla sorumlu hale geldiğini göstermektedir (Lee vd., 2015; García & Spatz, 2020; Söğüt & Tekelioğlu, 2021). Klinik belirtiler, virüs suşuna, konakçı bağışıklığına, yaşa, çevresel stres faktörlerine ve yönetim uygulamalarına göre değişmektedir. Yüksek virülanslı suşlar, nefes darlığı, öksürük, kanlı balgam çıkarma, konjonktivit, dispne ve olumsuz koşullar altında %50'yi aşabilen ölüm oranlarıyla karakterize edilen şiddetli solunum güçlüğüne neden olur.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Buna karşılık, düşük virülanslı suşlar genellikle hafif konjonktivite, yem alımında azalma, kilo alımında azalma ve yumurta üretiminde azalmaya neden olarak, öncelikle klinik kayıplardan ziyade ekonomik kayıplara yol açar (Ou & Giambrone, 2012). ILTV, doğrudan patolojik etkilerinin ötesinde, yem dönüşüm verimliliğinin azalması, üretim döngülerinin uzaması, ikincil bakteriyel enfeksiyonlara karşı duyarlılığın artması, aşılama masrafları, hareket kısıtlamaları ve uluslararası ticaret sınırlamaları yoluyla kümes hayvanı üretimini önemli ölçüde etkiler (Abdallah vd., 2024). Tarihsel olarak, yoğun kümes hayvanı yetiştirme sistemleri, ILTV bulaşmasının ana ortamı olmuştur. Bununla birlikte, kırsal alanlarda, köylerde ve hatta şehirlerin perifer mahallelerdeki evlerin bahçe ve çatı katlarında serbest dolaşan tavuk üretiminin son yıllarda artan popülaritesi ile bazı il ve ilçelerde haftada en az bir gün kurulan 'kuş pazarları', geleneksel serbest dolaşan tavuk ve diğer kanatlı hayvan ticaretinin canlılığının ve talebin önemli bir göstergesidir (Tekelioğlu vd., 2021). Sonuç olarak, ILTV küresel kümes hayvanı endüstrisinde ekonomik açıdan en önemli solunum yolu patojenlerinden biri olmaya devam etmektedir.

2. SERBEST GEZEN TAVUKLARDA ILTV ENFEKSİYONU

Özellikle gerek Türkiye'de gerekse dünyada son yirmi yılda küresel kümes hayvanı üretimi ve tüketimi beklenenden çok daha fazla bir büyüme gösterdi ve bu da özellikle tavuk başta olmak üzere kanatlı eti üretimini 2015 yılından beri dünya genelinde en fazla üretilen et konumuna getirdi (FAO[a], FAO[b], 2021; TURKSTAT, 2026, TÜİK 2026). Beyaz et üretimine paralel olarak yumurta üretimi de arttı (FAO[a], FAO[b], 2021; TURKSTAT, 2026, TÜİK 2026). Bu genişleme, özellikle kırsal kesimdeki haneler tarafından yaygın olarak yapılan kümes hayvancılığının yaygın olduğu gelişmekte olan ülkelerde belirginleşmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (UN-FAO) göre, gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal hanelerin yaklaşık %80'i kümes hayvanı yetiştirmektedir; bu da sektörün önemli ekonomik, besleyici ve sosyal önemini vurgulamaktadır (FAO[a], FAO[b], 2021). Türkiye'de kümes hayvancılığı sektörü yaklaşık 12.000 ticari işletmeyi kapsamaktadır ve artan iç talebi ve güçlü ihracat potansiyelini yansıtarak yıllık yaklaşık %8 oranında büyümeye devam etmektedir (TRMAF, 2026; TURKSTAT, 2026). Türkiye'de kanatlı hayvan üretimi hem geleneksel kırsal sistemlerde hem de yoğun ticari çiftliklerde gerçekleştirilmektedir. Broyler ve yumurta tavuğu üretimi, kanatlı hayvan endüstrisinin en büyük segmentini oluşturmakta ve ulusal ve küresel olarak en yüksek kanatlı et ve yumurta üretim ve tüketim seviyelerine sahiptir. Türkiye İstatistik Enstitüsü'ne (TÜİK, 2026) göre, önceki yıllarda yaklaşık 1,503 milyar tavuk kesilmiş ve yaklaşık 2,8 milyar ton kanatlı et üretilmiştir. Aynı dönemde yaklaşık 19,9 milyar tavuk yumurtası üretilmiş olup, bu da Türkiye'deki kanatlı hayvan endüstrisinin ekonomik önemini vurgulamaktadır. Türkiye ayrıca son yıllarda sürekli olarak hem kanatlı et hem de yumurta üretiminde dünya genelinde ilk on ülke arasında yer alarak önde gelen kanatlı hayvan üretici ülkeleri arasında bulunmaktadır (Statista, 2022; Statista, 2026; TTOD, 2025, ZMO 2022).

Kanatlı eti üretiminde yaşanan gelişmeler ve yüksek düzeyde talep ve buna paralel oluşan üretim artışı ile birlikte sektörel düzeyde önemli yapısal değişiklikler meydana gelmiştir. Tüketicilerin hayvan refahının iyileştirilmesi, organik ürünler ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına yönelik talebi, serbest dolaşım, mera yetiştiriciliği, bahçe ve organik kümes hayvanı sistemlerinin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır (FAO, 2023; Windhorst, 2017). Bu

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

üretim modelleri refah avantajları sunarken, aynı zamanda bulaşıcı hastalık kontrolü için yeni epidemiyolojik zorluklar da yaratmaktadır (Permin et al., 2002; García & Spatz, 2020).

Geleneksel yoğun kümes hayvanı işletmelerinin aksine, serbest dolaşım tavukları önemli sürelerini dışarıda geçirir ve çeşitli çevresel mikroorganizmalar ve vahşi yaşamla karşılaşırlar. Sonuç olarak, hastalık bulaşma dinamikleri, çevresel olarak kontrollü ticari tesislerde gözlemlenenlerden önemli ölçüde farklıdır (Permin et al., 2002; WOAH, 2024).

Serbest dolaşım sistemleri, kirlenmiş toprak, toz, içme suyu, böcekler, kemirgenler, yabani kuşlar ve komşu bahçe kümeslerine maruz kalma fırsatlarını artırır. ILTV'nin organik madde ve kirlenmiş nesnelerde uzun süre hayatta kalması, doğrudan kuş-kuş teması olmasa bile dolaylı bulaşmayı mümkün kılar. Ekipman, ayakkabı, nakliye araçları, yumurta tepsileri ve çiftlik ziyaretçileri, coğrafi olarak ayrılmış kümesler arasında virüsün yayılmasına daha da katkıda bulunur (Bagust et al., 2000; Guy & García, 2008; WOAH, 2024).

Dikey olarak bulaşan kuş patojenlerinin aksine, ILTV neredeyse tamamen solunum yolu salgıları, göz akıntıları ve aerosolize viral parçacıklar yoluyla yatay bulaşma ile yayılır. Akut enfeksiyon sırasında, enfekte tavuklar üst solunum yolundan büyük miktarda virüs salgılar ve bu da uygun çevresel koşullar altında sürüden sürüye hızlı yayılmayı kolaylaştırır (Guy & García, 2008; García & Spatz, 2020).

Alfaherpesvirüslerin benzersiz bir özelliği, duyusal nöronlarda ömür boyu latentlik oluşturma kapasiteleridir. Akut enfeksiyonu takiben, ILTV trigeminal gangliyonlara göç eder ve burada viral replikasyon durur, ancak viral genom transkripsiyonel olarak kısıtlanmış bir durumda kalır ve latent formda gizli, sessiz veya belirti vermeden var olmaya devam eder, özellikle stres veya bağışıklık baskılanması altında aralıklı viral reaktivasyona ve atılımına izin verir. Bu latent enfeksiyon, hastalığın ortadan kaldırılması çabalarını zorlaştırır ve kümes hayvanı popülasyonlarında viral kalıcılığı destekler. Yeniden aktivasyon, nakliye, yumurtlama başlangıcı, beslenme yetersizlikleri, çevresel aşırılıklar, eş zamanlı enfeksiyonlar veya immünosupresyon gibi stres faktörlerinden sonra aylar hatta yıllar sonra meydana gelebilir (Williams et al., 1992; Bagust et al., 2000; Hughes et al., 1989). Yeniden aktifleşen kuşlar, minimal veya hiç klinik belirti göstermemelerine rağmen bulaşıcı virüs salgılar, bu da eradikasyon çabalarını zorlaştırır ve kümes hayvanı popülasyonlarında sessiz viral dolaşıma katkıda bulunur (Bagust et al., 2000; García & Spatz, 2020).

Bu nedenle, latent olarak enfekte olmuş tavuklar, ILTV kontrolünde başlıca epidemiyolojik engellerden birini temsil eder. Bu zorluk, özellikle serbest dolaşım sistemlerinde daha belirgindir; çünkü bu sistemlerde kuşlar genellikle ticari piliçlere göre daha uzun üretim ömrüne sahiptir ve viral yeniden aktivasyona neden olabilecek çevresel stres faktörlerine tekrar tekrar maruz kalırlar (Bagust et al., 2000; García & Spatz, 2020; WOAH, 2024).

3. SERBEST GEZEN TAVUKLARDA ILTV EPİDEMİYOLOJİSİ

ILTV geleneksel olarak yoğun ticari kümes hayvanı üretimiyle ilişkilendirilmiş olsa da çok sayıda araştırma, serbest dolaşan ve arka bahçe kümeslerinin viral çeşitliliğin önemli rezervuarı olarak hareket edebileceğini göstermektedir (Bagust vd., 2000; García & Spatz, 2020). Bu üretim sistemlerinin merkezi olmayan yapısı, sınırlı biyolojik güvenlik ve diğer evcil kuşlarla

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

sık temas, yerel kümes hayvanı popülasyonlarında uzun süreli viral kalıcılığı teşvik etmektedir (García & Spatz, 2020; WOAH, 2024).

Serbest dolaşan tavuklar genellikle, duyarlı kuşların sürekli olarak sürüye dahil edilmesinin viral dolaşımı sürdürdüğü karışık yaş gruplu sürülerde tutulmaktadır (García & Spatz, 2020). Birçok kırsal alanda tavuklar, ördekler, kazlar, hindiler, sülünler, güvercinler ve süs kuşlarıyla birlikte yaşamaktadır. Tavuklar ILTV'nin başlıca konakçısı olsa da, bu karışık tür ortamları, kontamine olmuş nesneler ve ortak ortamlar yoluyla mekanik bulaşma fırsatlarını artırmaktadır (Bagust vd., 2000; WOAH, 2024).

Yabani kuşlar, ILTV epidemiyolojisine potansiyel katkıda bulunanlar olarak uzun zamandır araştırılmaktadır. Yabani kuşların ILTV'nin gerçek biyolojik rezervuarı olarak hizmet ettiğine dair sınırlı kanıt bulunmasına rağmen, çiftlikler arasında kontamine olmuş organik materyalin dolaylı yayılımını kolaylaştırabilirler (Bagust vd., 2000; García & Spatz, 2020). Su kuşları, ötücü kuşlar, güvercinler ve diğer sinantropik kuş türleri, yiyecek ve su arayışında sıklıkla açık hava kümes hayvanı alanlarını ziyaret ederek bulaşıcı materyalin mekanik bulaşma riskini artırmaktadır. Buna ek olarak, kemirgenler, böcekler, evcil hayvanlar ve çiftlik personeli, kümes hayvanları arasında kontamine olmuş solunum yolu salgılarını veya toz parçacıklarını taşıyan mekanik vektörler olarak hareket edebilir (Guy & García, 2008; WOAH, 2024).

Bu nedenle, biyolojik güvenlik, serbest dolaşım sistemlerinde ILTV oluşumunun en önemli belirleyicilerinden biri olmaya devam etmektedir. Birçok arka bahçe ve küçük ölçekli çiftlikte etkili ziyaretçi kontrolü, ekipman dezenfeksiyonu, yabani kuşların dışlanması ve yeni getirilen kuşlar için karantina protokolleri bulunmamaktadır. Bu eksiklikler hem saha hem de aşı kaynaklı ILTV suşlarının bulaşma olasılığını önemli ölçüde artırmaktadır (García & Spatz, 2020; WOAH, 2024).

Son genomik gözetim çalışmaları, ILTV popülasyonlarının daha önce düşünüldüğünden çok daha dinamik olduğunu ortaya koymuştur. ILTV, yalnızca kademeli nokta mutasyonlarının birikimi yoluyla evrimleşmek yerine, özellikle dolaşımdaki saha suşları ile canlı zayıflatılmış tavuk embriyosu kökenli (CEO) aşı virüsleri arasında sıklıkla homolog rekombinasyona uğrar. Rekombinant virüsler genellikle artan bulaşıcılık sergiler ve birçok büyük salgında rol oynamıştır (Lee vd., 2015; Loncoman vd., 2017; Loncoman vd., 2020). Bu bulgular, epidemiyolojik araştırmalar için yalnızca kısmi gen analizlerine güvenmek yerine tüm genom dizilemesinin uygulanmasının önemini vurgulamaktadır (Loncoman vd., 2017; García & Spatz, 2020).

Yüksek verimli dizileme platformlarının artan kullanılabilirliği, genetik olarak benzer virüslerin kümes hayvanı ticareti, yedek kuşların hareketi ve ortak aşı kullanımı nedeniyle coğrafi olarak uzak bölgelerde dolaşabileceğini daha da göstermiştir. Sonuç olarak, genomik epidemiyoloji, araştırmacıların geleneksel moleküler tipleme yöntemlerine göre önemli ölçüde daha yüksek hassasiyetle bulaşma ağlarını yeniden oluşturmalarını sağlayan ILTV gözetiminin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir (Lee vd., 2015; Loncoman vd., 2020; García & Spatz, 2020).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Küresel kümes hayvanı üretimi, son on yıllarda sürekli bir büyüme göstermiş ve 2015'ten bu yana hayvansal kaynaklı etin en büyük kaynağı haline gelmiştir. Bu genişleme, özellikle kümes hayvancılığının kırsal haneler tarafından yaygın olarak uygulandığı gelişmekte olan ülkelerde belirgindir. Türkiye'de kümes hayvanı sektörü yaklaşık 12.000 ticari işletmeyi kapsamaktadır ve artan iç talebi ve güçlü ihracat potansiyelini yansıtarak yıllık yaklaşık %8 oranında büyümeye devam etmektedir.

Son çalışmalar, yaygın aşılama programlarına rağmen bulaşıcı laringotrakeitis virüsünün (ILTV) ticari kümes hayvanı sürülerinde dolaşmaya devam ettiğini ve tavukların önemli bir solunum yolu patojeni olarak öneminin devam ettiğini göstermektedir.

Uluslararası alanda, ILTV çoğu kümes hayvanı yetiştirilen ülkede endemik olmaya devam etmektedir ve son çalışmalar, viral evrimin, aşı ve saha suşları arasındaki rekombinasyonun ve yeni varyantların ortaya çıkmasının hastalık kontrolünü zorlaştırmaya devam ettiğini göstermiştir. Sonuç olarak, bu hastalıkların etkin kontrolü sadece hayvan sağlığı ve refahının korunması için değil, aynı zamanda gıda güvenliğinin sağlanması ve kümes hayvanı endüstrisinin sürdürülebilirliğinin güvence altına alınması için de şarttır.

TEŞEKKÜR

Bu kongre katılımı ve yayını Çukurova Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: TSA-2024-14159.

KAYNAKÇA

1. Abdallah, N., Tekelioğlu, B.K., Kurşun, K., Baylan, M., Ümit, E. Vaccination and Poultry (Chicken) Production. *Journal of Agriculture, Food, Environment and Animal Sciences*, **4**(1), 119–136, 2023.
2. Aydın, O., Bayraktar, E., Tali, H.E., Özkan, İ.E., Yılmaz, A., Umar, S., ... Yılmaz, H. Phylogeny of Multiple Genomic Regions of Infectious Laryngotracheitis Virus in Turkish Poultry Flocks. *Poultry Science*, **104**(5), 104957, 2025.
3. Bagust, T.J., Jones, R.C., Guy, J.S. Avian Infectious Laryngotracheitis. *Revue Scientifique et Technique (Office International des Epizooties)*, **19**(2), 483–492, 2000.
4. Biggs, P.M. The Epidemiology of Avian Herpesviruses in Veterinary Medicine. *Developments in Biological Standardization*, **52**, 3–11, 1982.
5. Devlin, J.M., García, M. Infectious Laryngotracheitis Virus: Evolution, Vaccination and Emerging Challenges. *Avian Pathology*, **51**(1), 1–16, 2022.
6. Food and Agriculture Organization (FAO). *Gateway to Poultry Production and Products*. FAO, 2023.
7. Food and Agriculture Organization (FAO). *Meat Market Review*. FAO, 2021.
8. Food and Agriculture Organization (FAO). *Poultry Production*. FAO, 2021.
9. García, M., Spatz, S. Infectious Laryngotracheitis. In: Swayne, D.E., Ed. *Diseases of Poultry*. 14th ed. Wiley-Blackwell, pp. 257–280, 2020.
10. Guy, J.S., García, M. Laryngotracheitis. In: Saif, Y.M., Ed. *Diseases of Poultry*. 12th ed. Blackwell Publishing, pp. 137–152, 2008.
11. Hughes, C.S., Jones, R.C., Gaskell, R.M., Jordan, F.T.W., Bradbury, J.M. Demonstration in Live Chickens of the Carrier State in Infectious Laryngotracheitis. *Research in Veterinary Science*, **46**, 407–410, 1989.
12. International Committee on Taxonomy of Viruses. *Virus Taxonomy: 2023 Release*. ICTV, 2023.
13. Kaleta, E.F. Herpesviruses of Birds—A Review. *Avian Pathology*, **19**(2), 193–211, 1990.
14. Lee, S.W., Markham, P.F., Coppo, M.J.C., Legione, A.R., Markham, J.F., Noormohammadi, A.H., Browning, G.F., Ficorilli, N., Hartley, C.A., Devlin, J.M. Attenuated Vaccines Can Recombine to Form Virulent Field Viruses. *Science*, **337**(6091), 188, 2012.

15. Loncoman, C.A., Hartley, C.A., Coppo, M.J.C., Vaz, P.K., Diaz-Méndez, A., Browning, G.F., Devlin, J.M. Development and Application of Infectious Laryngotracheitis Virus Recombination Detection Methods to Complete Genome Sequences. *Viruses*, **9**(11), 333, 2017.
16. Loncoman, C.A., Hartley, C.A., Coppo, M.J.C., Vaz, P.K., Diaz-Méndez, A., Browning, G.F., Devlin, J.M. Genomic Epidemiology of Infectious Laryngotracheitis Virus in Australia. *Infection, Genetics and Evolution*, **78**, 104120, 2020.
17. Ou, S.C., Giambrone, J.J. Infectious Laryngotracheitis Virus in Chickens. *World's Poultry Science Journal*, **68**(2), 331–340, 2012.
18. Organisation for Animal Health. *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals: Infectious Laryngotracheitis*. Paris, France, 2021.
19. Sogut, M., Tekelioğlu, B.K. Avian Herpesviruses and Their Potential Impacts on Poultry Health. *XII International Scientific Agriculture Symposium AGROSYM 2021*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, pp. 1189–1195, 2021.
20. Statista. *Leading 10 Countries Worldwide in Poultry Meat Production in 2007*. Statista, 2026.
21. Statista. *Egg Consumption per Capita 2022*. Statista, 2022.
22. Tekelioğlu, B.K. Pacheco Hastalığı; Psittacid Herpesvirüs-1. In: *Parazitolojide Güncel Yaklaşımlar*. BİDGE Yayınları, Ankara, pp. 101–124, 2024.
23. Tekelioğlu, B.K., Avcı, Ç. Kanatlı Hayvanların Herpesvirüs Enfeksiyonları ve Önemi. *6th International Education and Innovative Sciences Congress*, Burdur, Türkiye, pp. 1886–1893, 2022.
24. Tekelioğlu, B.K., Derici, O.B., Çizmecigil, U.Y., Çelik, M., Gürel, A., Bamaç, Ö.E., Turan, N., Aydın, Ö., Yılmaz, H. Serbest Dolaşan Tavuk, Hindi ve Ördek Civcivlerinde Görülen Felç ve Ölümlerin Etiyolojik Araştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **32**, 588–594, 2021.
25. Tomaszewski, E., Wilson, V.G., Wigle, W.L., Phalen, D.N. Detection and Heterogeneity of Herpesviruses Causing Pacheco's Disease in Parrots. *Journal of Clinical Microbiology*, **39**(2), 533–538, 2001.
26. Turkish Republic Ministry of Agriculture and Forestry. *Türkiye'de Kanatlı Sektörü Her Yıl Yüzde 8 Büyüyor*. TRMAF, 2026.
27. Türkiye İstatistik Kurumu. *Kümes Hayvancılığı Üretimi, Nisan 2026*. TÜİK, 2026.
28. Türk Tarım Orman Dergisi. *Tavuk Eti Üretiminde Dünyada 9., Yumurta Üretiminde ise 10. Sıradayız*. TTOD, 2025.
29. Witter, R.L. Turkey Herpesvirus: Lack of Oncogenicity for Turkeys. *Avian Diseases*, **16**, 666–670, 1972.
30. Wildlife Health Australia. *Herpesviruses and Australian Wild Birds*. Fact Sheet, pp. 2–6, 2012.
31. World Organisation for Animal Health. Infectious Laryngotracheitis (Infection with *Gallid alphaherpesvirus 1*). In: *WOAH Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. WOAH, 2024.
32. Washington State University. *Zoonoses Associated with Birds (Including Poultry & Pigeons)*. WSU, 2024.
33. Reddy, R.A.P.V., Nair, V. Avian Herpesviruses (*Herpesviridae*). In: Bamford, D.H., Zuckerman, M., Eds. *Encyclopedia of Virology*. 4th ed. Academic Press, pp. 112–116, 2021.
34. Ziraat Mühendisleri Odası. *Türkiye Beyaz Et Sektörü*. ZMO, 2022.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

VİROLOJİ LABORATUVARLARINDA LABORATUVAR BİLGİ YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İŞ AKIŞI VE BİYOLOJİK RİSKLİ NUMUNE YÖNETİMİNE ETKİLERİ

IMPACT OF LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS ON WORKFLOW AND BIOHAZARDOUS SAMPLE MANAGEMENT IN VIROLOGY LABORATORIES

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı AVCİ
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
cavci@cu.edu.tr, +90 507 251 96 85 - ORCID: 0000-0002-7762-2874

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
ktekelioglu@cu.edu.tr, +90 532 351 71 18 - ORCID: 0000-0001-6727-3175

ÖZET

Viroloji laboratuvarlarında güvenilir sonuç üretimi, analitik test performansının yanı sıra numunenin doğru tanımlanması, işlem basamaklarının kaydedilmesi, türev materyallerin ana numune ile ilişkilendirilmesi ve sonucun doğru kayıtla eşleştirilmesine bağlıdır. Kağıt kayıtlar ile birbirinden bağımsız elektronik dosyalar, yeniden veri girişi, numune karışması, eksik kayıt ve izlenebilirlik kaybı riskini artırabilir. Laboratuvar Bilgi Yönetim Sistemleri (Laboratory Information Management Systems; LIMS), numune, test, reaktif, cihaz ve kullanıcı kayıtlarını ortak bir yapı içinde birleştirerek iş akışının standartlaştırılmasını ve zaman damgalı izlenebilirliği destekler. Barkodlama konusunda klinik laboratuvar literatürü numune kimlik hatalarının azaltılmasına ilişkin güçlü kanıt sunmaktadır. COVID-19 pandemisi sırasında geliştirilen yüksek kapasiteli moleküler test sistemleri, aynı numune kimliğinin kabulden sonuca kadar korunmasının ve laboratuvar bilgisinin tek sistem üzerinden yönetilmesinin önemini göstermiştir. KCL TEST programında aynı barkodun numune kaydından RT-qPCR sonucuna kadar korunması, 158.277 PCR testinin ortalama 16 saat 37 dakikalık sonuçlanma süresiyle yürütüldüğü uçtan uca sistemin temel bileşenlerinden biri olmuştur. Biyolojik riskli numunelerin yönetimi açısından LIMS; numunenin risk durumunun, inaktivasyon aşamasının, konumunun, hareketlerinin, türev materyallerinin, yetkili kullanıcılarının ve olay kayıtlarının aynı dijital yapı içinde izlenmesine olanak sağlayabilir. Böylece enfeksiyöz numune, inaktive materyal, ekstrakte nükleik asit ve post-PCR ürün gibi farklı durumdaki materyaller birbirinden ayrılarak uygun iş akışına yönlendirilebilir. Bu derlemede LIMS kullanımının viroloji laboratuvarlarında iş akışı, numune kimliği, izlenebilirlik, veri bütünlüğü ve biyolojik riskli numune yönetimine katkıları akademik literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir. Mevcut kanıtlar en belirgin yararın numune kimliği, süreç standardizasyonu, raporlama ve veri bütünlüğünde ortaya çıktığını; biyolojik riskli materyallerin yönetimine katkının ise risk sınıflandırması, hareket takibi, yetkilendirme, envanter ve olay kayıtları üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Anahtar Kelimeler: Viroloji, LIMS, laboratuvar bilgi yönetim sistemi, iş akışı, izlenebilirlik, biyolojik riskli numune yönetimi.

ABSTRACT

Reliable results in virology laboratories depend on analytical test performance, correct specimen identification, documented processing steps, linkage of derived materials to the parent specimen, and accurate association of results with records. Paper records and disconnected electronic files may increase duplicate data entry, specimen mix-ups, incomplete documentation, and loss of traceability. Laboratory Information Management Systems (LIMS) integrate specimen, test, reagent, instrument, and user records and support standardized workflows with time-stamped traceability. Clinical laboratory evidence supports barcoding to reduce specimen identification errors. High-capacity molecular testing during the COVID-19 pandemic demonstrated the importance of maintaining one specimen identity from registration to reporting. In the KCL TEST programme, the same barcode linked specimen registration to RT-qPCR in an end-to-end system that performed 158,277 PCR tests with an average turnaround time of 16 h and 37 min. For biohazardous sample management, LIMS can record specimen hazard status, inactivation stage, location, movement history, derived materials, authorized users, and incident records within the same digital structure. This enables infectious specimens, inactivated material, extracted nucleic acids, and post-PCR products to be distinguished and routed through appropriate workflows. This review evaluates LIMS contributions to workflow, specimen identity, traceability, data integrity, and biohazardous sample management in virology laboratories based on current literature. Available evidence indicates that the most consistent benefits concern specimen identity, process standardization, reporting, and data integrity, whereas biohazardous material management is primarily supported through hazard classification, movement tracking, authorization, inventory control, and incident documentation.

Keywords: Virology, LIMS, laboratory information management system, workflow, traceability, biohazardous sample management.

1. GİRİŞ

Viroloji laboratuvarlarında üretilen sonucun güvenilirliği yalnızca kullanılan yöntemin analitik duyarlılığı ve özgüllüğüyle açıklanamaz. Numunenin doğru kişiye veya hayvana ait olması, uygun koşullarda taşınması, laboratuvara ulaştığında doğru tanımlanması, uygun çalışma alanına yönlendirilmesi, kullanılan reaktif ve cihaz bilgilerinin kaydedilmesi ve sonucun doğru numune ile eşleştirilmesi gerekir. Zincirin herhangi bir noktasındaki hata, analitik olarak doğru bir testin yanlış yorumlanmasına veya doğru sonucun yanlış numuneye atanmasına yol açabilir. Bu nedenle laboratuvar kalitesi; preanalitik, analitik ve postanalitik süreçlerin birlikte yönetildiği daha geniş bir sistem olarak ele alınmaktadır (Carey et al., 2018).

Viroloji laboratuvarları bu açıdan özel bir karmaşıklık taşır. Hücre kültürü, seroloji, antijen testleri, konvansiyonel PCR, real-time PCR, dizileme ve biyoinformatik değerlendirme aynı laboratuvar yapısı içinde bulunabilir. Tek bir klinik veya saha numunesinden süspansiyon, nükleik asit ekstraktı, PCR ürünü, dizileme kütüphanesi ve arşiv tüpü gibi birden fazla türev materyal oluşabilir. Moleküler tanıda pre-PCR ve post-PCR alanlarının ayrılması, pozitif

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

kontrol materyallerinin yönetimi ve amplikon kontaminasyonunun önlenmesi de fiziksel iş akışını belirler. Bu nedenle izlenebilirlik yalnızca numunenin laboratuvara giriş ve sonuç çıkış noktalarını değil, bütün ara basamakları kapsamalıdır.

Geleneksel sistemlerde bu bilgi akışı defterler, çalışma listeleri, elektronik tablolar, cihaz yazılımları ve basılı raporlar arasında bölünebilir. Aynı numara kabulde, PCR plakasında ve sonuç raporunda tekrar tekrar elle girildiğinde her aktarım yeni bir transkripsiyon hatası olasılığı yaratır; dağınık kayıtlar ise bir sorun ortaya çıktığında hangi kullanıcının hangi numuneyi ne zaman işlediğini, hangi reaktif lotunun kullanıldığını veya materyalin nerede saklandığını geriye dönük olarak belirlemeyi güçleştirir. LIMS, numune kaydı, barkodlama, test istemi, iş listeleri, sonuç yönetimi, reaktif ve cihaz kayıtları, raporlama ve arşivleme gibi işlevleri tek bir veri yapısında birleştirmeyi amaçlar. Klinik laboratuvarlarda kullanılan Laboratory Information System (LIS) daha çok hasta, istem ve sonuç raporlamasına odaklanırken, LIMS numune, deneysel süreç, envanter ve araştırma iş akışını daha geniş kapsar; ancak moleküler tanı laboratuvarlarında iki kavram önemli ölçüde örtüşebilir.

LIMS'in virolojideki önemi COVID-19 pandemisi sırasında belirginleşmiştir. Yüksek örnek hacmi, barkodlu numune takibi, otomasyon ve hızlı raporlama gereksinimi, bilgi akışını test kapasitesinin temel bileşenlerinden biri haline getirmiştir (Weemaes et al., 2020; Reis de Andrade et al., 2024).

2. NUMUNE KİMLİĞİ, İZLENEBİLİRLİK VE MOLEKÜLER İŞ AKIŞI

İyi tasarlanmış bir LIMS'de ana numune ile ondan türeyen bütün materyaller arasında ilişki kurulmalıdır. Örneğin bir gaita numunesinden hazırlanan süspansiyon, ekstrakte edilen RNA, RT-qPCR sonucu, dizileme kütüphanesi ve arşiv tüpü aynı kök kayıt üzerinden izlenebilmelidir. Numune türü, alınma zamanı, taşıma koşulu, biyolojik risk, test istemi, reaktifler, cihazlar ve hesaplamalı süreçler gibi farklı bilgi katmanlarının birlikte yönetilmesi, hem tekrarlanabilirlik hem de kök neden analizi açısından önemlidir (Berezin et al., 2023). Böylece bilgi, bireysel personelin hafızasından veya paralel elektronik tablolardan çıkarak kurumsal ve sorgulanabilir bir kayıt yapısına taşınır.

Numune kimliği konusunda en güçlü nicel kanıt barkodlamadan gelmektedir. Snyder ve arkadaşlarının (2012) sistematik derleme ve meta-analizi, barkod temelli uygulamaların numune ve laboratuvar testi tanımlama hatalarını azaltmada etkili olduğunu ve kanıt düzeyinin yüksek olduğunu göstermiştir. Morrison ve arkadaşları (2010) ise barkod tabanlı pozitif kimlik sisteminden sonra etiketleme hatalarının 10.000 numunede 5,45'ten 3,2'ye düştüğünü ve bir yılda tahmini 108 yanlış etiketleme olayının önlendiğini bildirmiştir. Bu çalışmalar doğrudan viroloji laboratuvarlarında yürütülmemiş olsa da, numune kimliğinin korunmasına ilişkin mekanizma aynıdır.

LIMS içinde barkodun değeri, etiketin tüp üzerinde bulunmasından çok aynı kimliğin iş akışının tamamında korunmasından kaynaklanır. Numune kabulü, alt numune oluşturma, ekstraksiyon plakasına aktarım, PCR kuyusuna yerleştirme, depolama ve imha gibi kritik aşamalarda kayıt güncellendiğinde her adımda numara yeniden yazma gereksinimi azalır. KCL TEST programında katılımcıların barkodlu tüpleri LIMS'e aynı kimlikle kaydedilmiş ve laboratuvar personeli işleme boyunca yalnızca bu barkodla çalışmıştır. Aralık 2020-Temmuz

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2022 arasında 158.277 PCR testi gerçekleştirilmiş; kayıt ile sonuç iletimi arasındaki ortalama süre 16 saat 37 dakika olarak bildirilmiştir (Reis de Andrade et al., 2024). Bu deneyim, barkodlama, LIMS, otomasyon ve sonuç iletiminin birlikte tasarlandığı uçtan uca bir sistemin virolojideki uygulama değerini göstermektedir.

Moleküler iş akışında LIMS; otomatik iş listeleri, PCR plaka haritaları, zorunlu kontrol konumları ve numune-seri-cihaz ilişkileri oluşturarak standardizasyonu destekleyebilir. Bir kontrol sorunu ortaya çıktığında aynı ekstraksiyon serisi, reaktif lotu veya cihazla ilişkili bütün numunelerin topluca belirlenmesi, dağınık kayıtlara göre daha hızlıdır. KCL TEST'te numune kabulü, robotik plakalama, RNA ekstraksiyonu ve RT-qPCR kurulumu farklı işlem alanlarında yürütülmüş; aynı barkodlu kayıt sistemi bu aşamalar arasındaki bilgi sürekliliğini sağlamıştır (Reis de Andrade et al., 2024). LIMS'in burada temel işlevi, numunenin hangi aşamadan geçtiğini, hangi plaka ve kuyuyla ilişkilendirildiğini ve hangi sonuç kaydına bağlandığını kesintisiz biçimde izlemektir.

Reaktif ve cihaz izlenebilirliği de aynı yapının parçasıdır. Lot numarası, son kullanma tarihi, test serisi ve cihaz kaydı birlikte tutulduğunda, sonradan saptanan bir performans sorununun hangi sonuçları etkilediği daha hızlı belirlenebilir. Daha geniş mikrobiyoloji literatürü, otomasyonun standardizasyon ve sonuç süresine katkı sağlayabildiğini göstermektedir (Dauwalder et al., 2016); ancak kötü tasarlanmış bir süreç yalnızca dijitalleştirildiğinde ortadan kalkmaz. LIMS uygulamasından önce hangi adımların gerekli olduğu, hangi verinin nerede üretildiği ve hangi noktada doğrulanacağı tanımlanmalıdır.

3. RAPORLAMA, ÖLÇEKLENEBİLİRLİK VE ÇOK MERKEZLİ VERİ YÖNETİMİ

Analitik işlem tamamlandıktan sonra kontrol sonuçlarının doğrulanması, tekrar gerektiren örneklerin ayrılması, verinin sisteme aktarılması ve raporlanması gerekir. Cihaz sonucu ile kayıt sistemi arasında bağlantı yoksa aynı bilgi birden fazla kez elle girilebilir. Belçika Ulusal Referans Test Merkezi, COVID-19 sırasında test istemi, numune kaydı, dijital meta verilere göre önceliklendirme ve otomatik raporlama için yeni LIS işlevleri geliştirmiş; bu araçların özellikle preanalitik ve postanalitik darboğazları azaltarak idari yükü hafiflettiğini ve sonuç süresini iyileştirdiğini bildirmiştir (Weemaes et al., 2020). Bu örnek, yüksek kapasiteli laboratuvarlarda darboğazın her zaman analiz cihazında değil, bilgi akışında da oluşabileceğini göstermektedir.

Sonuçların dış sistemlere güvenli aktarımı salgın dönemlerinde ayrı bir gereksinimdir. Guínez-Molinos ve arkadaşları (2021), SARS-CoV-2 PCR sonuçlarının laboratuvarlardan Şili hükümetine iletilmesi için FHIR tabanlı bir platform geliştirmiş; kimlik doğrulama, yetkilendirme ve mesaj bütünlüğünü sistemin temel bileşenleri olarak uygulamıştır. Platform, yeniden veri girişine dayalı bildirim süreçlerini azaltmayı ve pozitif vaka sayımındaki hata olasılığını düşürmeyi amaçlamıştır. Bununla birlikte sonuç süresindeki her iyileşmeyi yalnızca LIMS'e bağlamak doğru değildir. KCL TEST ve Cornell COVID-19 Testing Laboratory örneklerinde bilgi sistemi; otomasyon, personel organizasyonu, fiziksel yerleşim ve örnek toplama yöntemiyle birlikte çalışan bütünleşik sistemin bir parçasıdır (Laverack et al., 2023; Reis de Andrade et al., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Çok merkezli araştırmalarda LIMS'in temel değeri, farklı kurumlarda üretilen verilerin aynı kimlik ve veri modeli altında toplanabilmesidir. Yoon ve arkadaşları (2022), altı kurumda yürütülen COVID-19 aşı ve tedavi etkinlik çalışmalarında mortalite, klinik bulgular, vücut ağırlığı ve sıcaklığı, organ ağırlıkları, viral titre, viral RNA ve histopatoloji verilerini ortak bir LIMS yapısında yönetmiştir. Temmuz 2020-Şubat 2021 arasında 32 klinik öncesi etkinlik çalışmasının ilerlemesi sistem üzerinden izlenmiş ve farklı kullanıcı rollerine göre yetki düzeyleri tanımlanmıştır. Bu örnek, kurumların fiziksel özelliklerinden çok, biyolojik riskli materyallerle yürütülen çok merkezli süreçlerde veri bütünlüğü, sorumluluk kaydı ve rol tabanlı erişimin tek sistem üzerinden yönetilebileceğini göstermektedir.

LIMS'in bir başka yönetsel yararı süreç sürelerinin ayrıştırılabilmesidir. Numune kabulünden ekstraksiyona, ekstraksiyondan PCR kurulumuna ve cihaz sonucundan onaya kadar geçen süreler ayrı ayrı izlendiğinde genel bir "gecikme" tanımı yerine gerçek darboğaz belirlenebilir. Bu veriler personel planlaması, cihaz yatırımı ve iş akışı değişiklikleri için nesnel bir temel sağlayabilir. Ancak kullanılan göstergelerin laboratuvarın gerçek sürecini yansıtması ve çalışanlar tarafından düzenli kaydedilmesi gerekir.

4. BİYOLOJİK RİSKLİ NUMUNELERİN LIMS İLE YÖNETİMİ

Viroloji laboratuvarlarında biyolojik riskli numune yönetiminin ilk adımı, materyalin yalnızca bir numune numarası ile değil, risk ve işlem durumunu gösteren bilgilerle tanımlanmasıdır. Şüphe edilen etken, numune türü, canlı enfeksiyöz materyal içerip içermediği, inaktivasyon durumu, bulunduğu konum, sorumlu kullanıcı ve planlanan işlem basamağı aynı kayıt altında tutulabilir. Böylece LIMS, riskli materyalin kabulden işleme, alt numune oluşturmadan depolama ve imhaya kadar yaşam döngüsünü izleyen dijital bir kayıt katmanı oluşturur (Sun et al., 2021). Laboratuvar risk yönetimi literatürü de risklerin sistematik olarak tanımlanması ve kontrol süreçlerinin kayıt altına alınmasının önemini vurgulamaktadır (Tziakou et al., 2023).

Bu yaklaşımın temel unsurlarından biri durum değişikliklerinin izlenmesidir. Aynı materyal laboratuvara geldiğinde "enfeksiyöz klinik numune", doğrulanmış inaktivasyondan sonra "inaktive materyal", ekstraksiyon sonrasında "nükleik asit", amplifikasyon sonrasında ise "post-PCR ürün" olarak farklı risk ve işlem özellikleri taşır. LIMS içinde bu değişikliklerin zaman damgası, kullanıcı ve işlem kaydıyla güncellenmesi; materyalin hangi iş akışına alınabileceğinin, kimler tarafından işlenebileceğinin ve hangi depolama alanında bulunması gerektiğinin belirlenmesini kolaylaştırır. Bu çerçevede biyogüvenlik, numunenin dijital kimliği ile biyolojik durumunun birlikte izlenmesi anlamına gelir (Cornish et al., 2021; Sun et al., 2021).

İkinci temel unsur hareket ve türev materyal takibidir. Enfeksiyöz bir numuneden hazırlanan süspansiyon, nükleik asit ekstraktı, pozitif kontrol materyali veya arşiv tüpü ana kayıtla ilişkilendirilmediğinde hangi materyalin hangi numuneden türediği ve nerede bulunduğu belirsizleşebilir. Barkodlu hareket kayıtları, materyalin oda, dondurucu, raf, kutu ve tüp konumunu; transfer tarihini ve işlemi yapan kullanıcıyı kaydedebilir. Böylece numune kaybı, yanlış alana yönlendirme, yetkisiz erişim veya beklenmeyen bir olay durumunda etkilenen materyaller daha hızlı belirlenebilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Üçüncü unsur, olay ve uygunsuzlukların numune kaydıyla ilişkilendirilmesidir. Sızıntı, dökülme, yanlış depolama, beklenmeyen kontrol pozitifliği, cihaz içinde materyal kalması veya yanlış imha gibi olaylarda ilgili numune, konum, kullanıcı, cihaz ve yapılan düzeltici işlem aynı kayıt zincirinde tutulabilir. Bu yapı, olayın yalnızca ayrı bir formda arşivlenmesi yerine hangi biyolojik materyali ve hangi işlem basamaklarını etkilediğinin belirlenmesini kolaylaştırır. Bilgi sistemleriyle desteklenen olay yönetimi ve izlenebilirlik, tekrarlayan risklerin eğilim analizini de mümkün kılabilir (Tang et al., 2024).

Dördüncü unsur, biyolojik materyal envanteridir. Viral izolatlar, doğal veya sentetik pozitif kontroller, rekombinant plazmidler, hücre kültürü süpernatantları ve referans materyallerin miktarı, konumu, sorumlu kişisi, kullanım ve transfer geçmişi izlenmediğinde kayıp veya kontrolsüz kullanım riski artar. LIMS içinde bu materyaller benzersiz kimliklerle kayıt altına alınabilir; tüketim, alt numune oluşturma, dondurucu değişikliği ve imha işlemleri geriye dönük izlenebilir. Bu işlev, biyolojik riskli materyal yönetimi ile kalite yönetiminin doğrudan kesiştiği alanlardan biridir (Carey et al., 2018; Sun et al., 2021).

5. LIMS UYGULAMASININ SINIRLILIKLARI VE YENİ RİSKLER

LIMS'in olumlu etkileri sistem kurulduğu anda kendiliğinden ortaya çıkmaz. Laboratuvarın gerçek iş akışını yansıtmayan bir yazılım, çalışanları sistem dışında paralel kağıt veya elektronik tablo kayıtları tutmaya zorlayabilir ve veri giriş yükünü artırabilir. Barkod okutma ya da numune durumunu güncelleme adımları günlük işi kolaylaştırmıyorsa kullanıcılar kısa yollar geliştirebilir ve izlenebilirlik zinciri kırılabilir. Bu nedenle veri modeli, kullanıcı gereksinimleri ve laboratuvar süreci birlikte tasarlanmalıdır (Berezin et al., 2023). 2025 yılında yayımlanan Timor-Leste uygulaması, LIMS'in numune akışı, veri yönetimi ve sonuç raporlamasında iyileşme sağlayabildiğini; transkripsiyon hatalarını azaltabildiğini, ancak internet bağlantısı, sürekli finansman ve teknik destek gibi sorunların sürdürülebilirlik için kritik kaldığını göstermiştir (Oakley et al., 2025).

İkinci sorun doğrulama ve değişiklik yönetimidir. Otomatik sonuç aktarımı, yorum kuralları veya raporlama şablonları değiştirildiğinde hangi sürümün ne zaman kullanıldığı kayıt altına alınmalıdır. Aksi halde aynı veri farklı tarihlerde farklı kurallarla işlenebilir. Üçüncü sorun sistem kesintisidir; sunucu, ağ veya veri tabanı arızası bütün akışı durdurabileceğinden yedekleme, felaket kurtarma, geçici kayıt ve sistem geri geldiğinde veri uzlaştırma prosedürleri gereklidir. Dördüncü sorun siber güvenliktir. Hasta bilgileri, salgın verileri, genom dizileri ve yüksek riskli biyolojik materyal kayıtları rol tabanlı yetkilendirme, güçlü kimlik doğrulama, erişim kaydı ve veri bütünlüğü kontrolleri gerektirir (Guínez-Molinos et al., 2021; Yoon et al., 2022).

Kanıtların sınırı açıkça belirtilmelidir. Barkodlama ve numune kimliği için güçlü nicel kanıt; yüksek hacimli viroloji laboratuvarları ve çok merkezli veri yönetimi için ise başarılı uygulama örnekleri bulunmaktadır. Buna karşılık biyolojik riskli numunelerin LIMS ile yönetimine ilişkin kanıtlar daha çok izlenebilirlik, rol tabanlı erişim, envanter ve olay yönetimi gibi süreç işlevlerine dayanmaktadır. Bu nedenle LIMS'in katkısı, fiziksel koruyucu önlemlerin yerine geçen bağımsız bir güvenlik aracı olarak değil, riskli materyalin kimliğini, durumunu,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

konumunu ve sorumluluk zincirini görünür hale getiren dijital yönetim altyapısı olarak değerlendirilmelidir.

6. VİROLOJİ LABORATUVARI İÇİN TEMEL LIMS BİLEŞENLERİ

Mevcut literatür ve uygulama örnekleri birlikte değerlendirildiğinde, etkili bir viroloji LIMS'inin yalnızca numune kayıt modülünden oluşmaması gerektiği görülmektedir. Sistem; benzersiz numune kimliği, ana numune-türev materyal ilişkisi, risk ve inaktivasyon durumu, hareket ve depolama kayıtları, test istemi ve iş listeleri, reaktif lotu ve cihaz kayıtları, PCR plaka ve kontrol yönetimi, sonuç doğrulama, biyolojik materyal envanteri, olay yönetimi, rol tabanlı erişim ve denetim izini aynı veri modelinde ilişkilendirmelidir. Uygulama aşamalı yapılabilir; ancak temel veri modeli başlangıçta doğru kurulmalıdır. Başlıca işlevler ve kanıt düzeyleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Viroloji laboratuvarlarında LIMS işlevleri ve biyolojik riskli numune yönetimine katkıları. Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

LIMS işlevi	Laboratuvar işleyişine etkisi	Biyolojik riskli numune yönetimine katkısı	Kanıt düzeyi
Barkodlu numune ve alt numune takibi	Yeniden veri girişini ve kimlik hatalarını azaltır; işlem durumunu görünür kılar	Riskli materyalin konumunu, hareketini ve türevlerini izlemeyi destekler	Numune kimliği için güçlü; virolojide uygulama örnekleri mevcut
İş listesi, plaka ve kontrol yönetimi	Eksik numune ve kuyu yerleşim hatalarını azaltır; standardizasyon sağlar	Numunenin işlem durumunu görünür kılar; gereksiz tekrar işlemlerini azaltabilir	Operasyonel kanıt güçlü; riskli numune yönetimi için mekanistik destek
Reaktif lotu, cihaz ve bakım kaydı	Kök neden analizini ve etkilenen testlerin belirlenmesini kolaylaştırır	Sorunlu lot veya cihazla ilişkili riskli numunelerin hızla belirlenmesini sağlar	Kalite yönetimi açısından güçlü
Rol tabanlı erişim ve denetim izi	Sorumluluk ve veri değişikliklerini izlenebilir kılar	Riskli materyal kayıtlarına ve işlemlerine erişimi görev tanımına göre sınırlar	Rol tabanlı erişim ve çok merkezli veri yönetimi örnekleri mevcut
Olay, uygunsuzluk ve envanter yönetimi	Tekrarlayan sorunların eğilim analizini ve stok görünürlüğünü sağlar	Olayların ilgili numune ve materyal stoklarıyla ilişkilendirilmesini destekler	Yönetsel ve süreç temelli kanıt

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

7. SONUÇ

Viroloji laboratuvarlarında bilgi yönetimi, analitik test performansından ayrı düşünülemeyecek bir kalite bileşenidir. Numune kabulü, türev materyaller, ekstraksiyon, PCR kurulumu, kontroller, reaktif lotları, cihazlar, depolama ve raporlama arasında kopuk kayıt sistemleri kullanıldığında her veri aktarımı yeni bir hata olasılığı oluşturur. LIMS, bu aşamaları aynı numune kimliği çevresinde birleştirerek süreci izlenebilir ve ölçülebilir hale getirebilir. Literatürde en güçlü doğrudan kanıt barkodlama ve numune kimliği alanındadır; COVID-19 dönemindeki uygulamalar ise yüksek hacimli virolojik test kapasitesinin sürdürülebilmesi için numune kimliği, otomasyon ve raporlama akışının birlikte tasarlanması gerektiğini göstermiştir.

Biyolojik riskli numune yönetimi açısından LIMS'in temel katkısı, materyalin yalnızca "var" veya "yok" olarak kaydedilmesi değil; risk niteliği, işlem durumu, inaktivasyon aşaması, türev materyalleri, konumu, hareket geçmişi ve yetkili kullanıcılarıyla birlikte izlenmesidir. Enfeksiyöz numuneden inaktive materyale ve ekstrakte nükleik aside uzanan durum değişikliklerinin kayıt altına alınması, riskli materyalin hangi aşamada bulunduğunu görünür kılar. Barkodlu hareket takibi, rol tabanlı erişim, envanter ve olay kayıtları ise biyolojik materyalin yaşam döngüsünün geriye dönük olarak incelenmesini sağlar.

Sonuç olarak LIMS, yalnızca kağıt kayıtların elektronik biçime dönüştürülmesi olarak görülmemelidir. Gerçek yarar; numunenin, türev materyalin, testin, reaktifin, cihazın ve sorumlu kullanıcının aynı veri modeli içinde ilişkilendirilmesinden doğar. Uygun tasarlanan sistemler numune kimliğini, raporlama hızını, veri bütünlüğünü ve kök neden analizini güçlendirebilir; biyolojik riskli materyallerin ise durum, konum, hareket, erişim ve olay kayıtları üzerinden denetlenebilir biçimde yönetilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte kullanıcı uyumu, yazılım doğrulaması, sistem sürekliliği, siber güvenlik ve sürdürülebilir teknik destek başarının ön koşullarıdır. Gelecek araştırmalarda LIMS öncesi ve sonrası numune kaybı, yanlış yönlendirme, tekrar işlem, izlenebilirlik kesintisi, envanter uyumsuzluğu ve olay kapatma süresi gibi ölçütlerin karşılaştırılması, biyolojik riskli numune yönetimine katkının daha doğrudan değerlendirilmesini sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu kongre katılımı ve yayını Çukurova Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Birimi tarafından TSA-2024-14159 nolu proje kapsamında desteklenmiştir desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Berezin, C.-T., Aguilera, L. U., Billerbeck, S., Bourne, P. E., Densmore, D., Freemont, P., Gorochowski, T. E., Hernandez, S. I., Hillson, N. J., King, C. R., Köpke, M., Ma, S., Miller, K. M., Moon, T. S., Moore, J. H., Munsky, B., Myers, C. J., Nicholas, D. A., Peccoud, S. J., ... Peccoud, J. (2023). Ten simple rules for managing laboratory information. PLOS Computational Biology, 19(12), e1011652. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011652

Carey, R. B., Bhattacharyya, S., Kehl, S. C., Matukas, L. M., Pentella, M. A., Salfinger, M., & Schuetz, A. N. (2018). Practical guidance for clinical microbiology laboratories:

Implementing a quality management system in the medical microbiology laboratory. Clinical Microbiology Reviews, 31(3), e00062-17. https://doi.org/10.1128/CMR.00062-17

Cornish, N. E., Anderson, N. L., Arambula, D. G., Arduino, M. J., Bryan, A., Burton, N. C., Chen, B., Dickson, B. A., Giri, J. G., Griffith, N. K., Pentella, M. A., Salerno, R. M., Sandhu, P., Snyder, J. W., Tormey, C. A., Wagar, E. A., Weirich, E. G., & Campbell, S. (2021). Clinical laboratory biosafety gaps: Lessons learned from past outbreaks reveal a path to a safer future. Clinical Microbiology Reviews, 34(3), e00126-18. https://doi.org/10.1128/CMR.00126-18

Dauwalder, O., Landrieve, L., Laurent, F., de Montclos, M., Vandenesch, F., & Lina, G. (2016). Does bacteriology laboratory automation reduce time to results and increase quality management? Clinical Microbiology and Infection, 22(3), 236-243. https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.10.037

Guínez-Molinos, S., Andrade, J. M., Medina Negrete, A., Espinoza Vidal, S., & Rios, E. (2021). Interoperable platform to report polymerase chain reaction SARS-CoV-2 tests from laboratories to the Chilean government: Development and implementation study. JMIR Medical Informatics, 9(1), e25149. https://doi.org/10.2196/25149

Laverack, M., Tallmadge, R. L., Venugopalan, R., Sheehan, D., Ross, S., Rustamov, R., Frederici, C., Potter, K. S., Elvinger, F., Warnick, L. D., Koretzky, G. A., Lawlis, R., Plocharczyk, E., & Diel, D. G. (2023). The Cornell COVID-19 Testing Laboratory: A model to high-capacity testing hubs for infectious disease emergency response and preparedness. Viruses, 15(7), 1555. https://doi.org/10.3390/v15071555

Morrison, A. P., Tanasijevic, M. J., Goonan, E. M., Lobo, M. M., Bates, M. M., Lipsitz, S. R., Bates, D. W., & Melanson, S. E. F. (2010). Reduction in specimen labeling errors after implementation of a positive patient identification system in phlebotomy. American Journal of Clinical Pathology, 133(6), 870-877. https://doi.org/10.1309/AJCPC95YYMSLLRCX

Oakley, T., Vaz, J., da Silva, F., Allan, R., Almeida, D., Champlin, K., da Silva, E. S., Tilman, A. J., Marr, I., Smith-Vaughan, H., Yan, J., & Francis, J. R. (2025). Implementation of a Laboratory Information Management System (LIMS) for microbiology in Timor-Leste: Challenges, mitigation strategies, and end-user experiences. BMC Medical Informatics and Decision Making, 25, 32. https://doi.org/10.1186/s12911-024-02831-6

Reis de Andrade, J., Scourfield, E., Peswani-Sajnani, S. L., Poulton, K., ap Rees, T., Khooshemehri, P., Doherty, G., Ong, S., Ivan, I.-F., Goudarzi, N., Gardiner, I., Caine, E., Maguire, T. J. A., Leightley, D., Torrico, L., Gasulla, A., Menendez-Vazquez, A., Ortega-Prieto, A. M., Pickering, S., ... Martinez-Nunez, R. T. (2024). KCL TEST: An open-source inspired asymptomatic SARS-CoV-2 surveillance programme in an academic institution. Biology Methods and Protocols, 9(1), bpae046. https://doi.org/10.1093/biomethods/bpae046

Snyder, S. R., Favoretto, A. M., Derzon, J. H., Christenson, R. H., Kahn, S. E., Shaw, C. S., Baetz, R. A., Mass, D., Fantz, C. R., Raab, S. S., Tanasijevic, M. J., & Liebow, E. B. (2012). Effectiveness of barcoding for reducing patient specimen and laboratory testing identification errors: A Laboratory Medicine Best Practices systematic review and meta-analysis. Clinical Biochemistry, 45(13-14), 988-998. https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2012.06.019

Sun, D., Wu, L., & Fan, G. (2021). Laboratory information management system for biosafety laboratory: Safety and efficiency. Journal of Biosafety and Biosecurity, 3(1), 28-34. https://doi.org/10.1016/j.jobb.2021.03.001

Tang, Q., Yan, F., Yuan, L., Tang, Y., Chen, H., Sun, Y., Yang, M., & Song, G. (2024). Enhancing laboratory biosafety management: A comprehensive strategy from theory to practice. Frontiers in Public Health, 12, 1439051. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1439051

Tziakou, E., Fragkaki, A. G., & Platis, A. N. (2023). Identifying risk management challenges in laboratories. Accreditation and Quality Assurance, 28, 167-179. https://doi.org/10.1007/s00769-023-01540-3

Weemaes, M., Martens, S., Cuypers, L., Van Elslande, J., Hoet, K., Welkenhuysen, J., Goossens, R., Wouters, S., Houben, E., Jeuris, K., Laenen, L., Bruyninckx, K., Beuselinck, K., André, E., Depypere, M., Desmet, S., Lagrou, K., Van Ranst, M., Verdonck, A. K. L. C., & Goveia, J. (2020). Laboratory information system requirements to manage the COVID-19 pandemic: A report from the Belgian national reference testing center. Journal of the American Medical Informatics Association, 27(8), 1293-1299. https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa081

Yoon, S., Noh, H., Jin, H., Lee, S., Han, S., Kim, S.-H., Kim, J., Seo, J. S., Kim, J. J., Park, I. H., Oh, J., Bae, J.-Y., Lee, G. E., Woo, S.-J., Seo, S.-M., Kim, N.-W., Lee, Y. W., Jang, H. J., Hong, S.-M., ... Seong, J. K. (2022). Laboratory information management system for COVID-19 non-clinical efficacy trial data. Laboratory Animal Research, 38, 17. https://doi.org/10.1186/s42826-022-00127-2

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

EKOSİSTEMDE YABAN ARILARININ YERİ ve YABAN ARILARI İLE MÜCADELE YÖNTEMLERİ

THE ROLE OF WASPS IN THE ECOSYSTEM AND FIGHTING METHODS FOR CONTROLLING WASPS

Dr. Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir-Türkiye

ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

banu.yucel@ege.edu.tr ; ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Özet

Yaban arıları; doğal yaşamda tozlaşmaya ve beslendikleri farklı böcek türleri ile biyolojik zararlı mücadelesine sağladıkları destekle bilinen ancak sosyal yaşamları konusunda sınırlı bilgiye sahip olduğumuz arı türleridir. Genel olarak toplumda yaban arılarına karşı duyulan korku hissi, onların ve yaşadıkları doğal alanlardaki yuvalarının yok edilmesine yol açmaktadır. Yaban arısı yuvalarının doğrudan imhası ve ilkbaharda uçan ana arıların öldürülmesi, yaban arılarının giderek azalmasının önemli nedenlerini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, doğal alanların ve ormanların hızlı kaybı da yaban arılarının popülasyonlarının azalmasına etki etmektedir.

Yaban arıları, küçük yuvalar oluşturarak sınırlı büyüklükte bir popülasyon ile aktif dönemde yaşamlarını geçirir. Ana arılar ise, tek başına kış mevsimini geçirerek, ilkbaharda doğanın uyanmasıyla yuva oluşturmaya ve yumurtlamaya başlayarak kolonisini geliştirir. Pek çok türü sosyal böcek olarak değerlendirilen yaban arılarının çoğu etçil beslenirler. Besinlerini oluşturmak amacıyla doğada bulunan birçok böceği avlayarak hem zararlı hem de yararlı böcek popülasyonlarını etkileyebilirler. Bu özellikleri nedeniyle ekosistemde önemli bir rol üstlenmekte ve özellikle tarımsal zararlıların doğal yolla baskılanmasına, biyolojik mücadeleye katkı sağlamaktadırlar. Bununla birlikte, özellikle sarıca arılar (*Vespula* spp.) ve eşek arıları (*Vespa* spp.), bal arısı (*Apis mellifera*) kolonileri üzerinde de avcı baskısı oluşturarak arıcılık işletmelerinde ekonomik kayıplara neden olabilmektedirler. Yaban arıları ile mücadelede yuva içi ve dışı mücadele yöntemleri kullanılmaktadır. Yaban arısı türleri ile mücadele kaçınılmaz

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ise, bu işlemlerin doğanın dengesini bozmadan, doğal yöntemlerle gerçekleştirilmesi sürdürülebilir bir doğal yaşam için öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Ekosistem, yaban arısı, mücadele yöntemleri.

1. Giriş

Yaban arıları, doğal, tarımsal ve kentsel ekosistemlerde yaşayan ve yetiştiriciliği yapılan bal arısından (Apis mellifera) farklı olarak insan yönetimi altında bulunmayan geniş bir arı grubunu kapsamaktadır (Mallinger ve ark., 2017; Koh ve ark., 2015; Ockermüller ve ark., 2025). Dünya genelinde yaklaşık 20.000 türle temsil edilen yaban arıları, gerek doğal bitki topluluklarının devamlılığında gerekse tarımsal üretimde gerçekleştirdikleri tozlaşma faaliyetleri nedeniyle önemli bir ekolojik role sahiptir (Mallinger ve ark., 2017). Bu topluluklar; sosyal ve yalnız yaşayan türlerin yanı sıra toprakta veya farklı boşluklarda yuva yapan, besin kaynağı seçiminde genelci ya da belirli bitkilere özelleşmiş türleri içermekte ve bu çeşitlilik farklı habitat ve çevre koşullarından yararlanmalarına olanak sağlamaktadır (MacInnis ve ark., 2023). Yaban arılarının en önemli ekosistem hizmetlerinden biri bitkisel üretimin devamlılığını sağlayan tozlaşmadır. Yabani arı topluluklarının böceklerle tozlaşan tarım ürünlerinin üretimine hektar başına ortalama 3.000 doların üzerinde ekonomik katkı sağladığı ve bu değerin yetiştirilen bal arılarının sağladığı katkıyla karşılaştırılabilir düzeyde olduğu bildirilmektedir (Kleijn ve ark., 2015). Bununla birlikte yaban arılarının önemi yalnızca toplam ziyaret sayılarıyla açıklanamamaktadır. Elma, çilek ve tatlı kiraz gibi bazı tarım ürünlerinde yabani arıların bal arılarından daha etkili tozlayıcılar olabildiği belirtilmektedir (Ockermüller ve ark., 2025). Ayrıca yabani arı tür zenginliğinin, yalnızca arı bolluğuna kıyasla tozlaşma başarısının daha güçlü bir göstergesi olduğu ve farklı türlerden oluşan tozlayıcı topluluklarının değişen çevre koşulları altında daha istikrarlı bir tozlaşma hizmeti sağlayabildiği ortaya konulmuştur (Rogers ve ark., 2014). Tozlayıcı çeşitliliğinin korunması, çevresel ve iklimsel değişimlere karşı tozlaşma hizmetlerinin dayanıklılığını artırmakta ve doğal bitki topluluklarında ortaya çıkabilecek polen kısıtlamasının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Katumo ve ark., 2022). Yaban arılarının ekolojik önemi tarımsal üretimle sınırlı değildir. Kentsel ekosistemlerde yabani arıların ağaçlara gerçekleştirdiği ziyaretler ile bitkilerin üreme başarısı arasında pozitif bir ilişki bulunduğu bildirilmiştir (Hausmann ve ark., 2016). Doğal habitatlarda ise farklı yabani arı türlerinin bir arada bulunması bitki çeşitliliğinin ve ekosistem işlevlerinin sürdürülebilmesi açısından önem taşımaktadır (Mallinger ve ark., 2017; Iwasaki & Hogendoorn, 2022). Yaban arıları aynı zamanda farklı organizmalar için av veya konak oluşturarak ekosistem içerisindeki

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

besin ağlarının devamlılığına katkıda bulunmaktadır (MacInnis ve ark., 2023). Yaban arılarının daha az dikkat çeken ekolojik işlevlerinden biri de toprak özellikleri üzerindeki etkileridir. Yabani arı türlerinin önemli bir bölümünün yuvalarını toprak içerisinde oluşturması, bu canlıların aynı zamanda birer ekosistem mühendisi olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yuva yapımı sırasında toprağın kazılması, taşınması ve karıştırılması; toprak gözenekliliğinin ve fiziksel yapısının değişmesine, organik karbon ve besin maddelerinin yeniden dağılımına ve yüzey akışı ile erozyon süreçlerinin etkilenmesine neden olabilmektedir (Tschanz ve ark., 2025). Bunun yanında bazı tozlayıcı grupları çevresel kirliliğin izlenmesinde biyolojik gösterge olarak değerlendirilebilmekte ve ekolojik işlevlerinin yanı sıra kültürel ve estetik değer de taşımaktadır (Katumo ve ark., 2022). Tüm bu ekolojik ve ekonomik önemlerine karşın yaban arısı toplulukları günümüzde çok sayıda çevresel baskıyla karşı karşıyadır. Habitat kaybı ve arazi kullanımındaki değişimler bu baskıların başında gelmektedir. Nitekim doğal habitatların tarım alanlarına dönüştürülmesiyle ilişkili olarak 2008–2013 yılları arasında ABD kara alanının %23'ünde yabani arı popülasyonlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Koh ve ark., 2015). Sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişimler de yabani arı bolluğu ve tür zenginliğini belirleyen önemli faktörler arasında yer almakta ve iklim değişikliğinin yabani arı toplulukları üzerindeki baskısını artırmaktadır (Kammerer ve ark., 2021). Yabani arıların korunması açısından değerlendirilmesi gereken bir diğer unsur, yetiştiriciliği yapılan bal arıları ile yabani türler arasındaki etkileşimdir. Bal arılarının yüksek yoğunluklarda bulunduğu alanlarda besin kaynakları için rekabet, patojenlerin türler arasında aktarılması ve doğal bitki-tozlayıcı etkileşimlerinin değişmesi gibi mekanizmalar aracılığıyla yabani arı topluluklarının olumsuz etkilenebildiği bildirilmektedir. Bu konudaki çalışmaların %66'sında yetiştirilen bal arılarının yabani arılar üzerinde olumsuz etkilerinin belirlenmiş olması, özellikle doğal ve korunan alanlardaki arıcılık faaliyetlerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Iwasaki & Hogendoorn, 2022; Valido ve ark., 2019; Lázaro ve ark., 2021). Yaban arısı popülasyonlarının korunmasında habitatların korunması ve iyileştirilmesi temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Ekolojik restorasyon çalışmalarının yabani arı bolluğu ve tür zenginliği üzerinde genel olarak olumlu etkiler oluşturduğu, ancak restorasyon uygulamalarında arıların yuvalanma ve beslenme gereksinimlerinin doğrudan dikkate alınmasının bu çalışmaların etkinliğini daha da artırabileceği belirtilmektedir (Tonietto & Larkin, 2018). Bununla birlikte yalnızca yaygın ve yüksek bolluğa sahip türlerin korunması, ekosistemlerin uzun vadeli işlevselliğinin güvence altına alınması açısından yeterli değildir. Farklı çevresel koşullar ve coğrafi ölçeklerde ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilmesi,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

nispeten nadir türler de dahil olmak üzere daha geniş bir arı çeşitliliğinin varlığını gerektirmektedir (Winfree ve ark., 2018). Tarımsal tozlaşmanın önemli bir bölümünün yaygın birkaç tür tarafından gerçekleştirilebilmesine ve tehdit altındaki türlerin ölçülebilir tarımsal hizmetlere katkısının görece sınırlı olmasına rağmen, yabani arı biyoçeşitliliğinin korunması yalnızca ekonomik tozlaşma değerine indirgenmemelidir (Kleijn ve ark., 2015). Dolayısıyla yaban arıları; tarımsal üretimin desteklenmesinden doğal bitki çeşitliliğinin korunmasına, besin ağlarının devamlılığından toprak süreçlerinin düzenlenmesine kadar çok yönlü ekosistem hizmetleri sağlayan önemli canlı gruplarından biridir. Habitat kaybı, iklim değişikliği, tarımsal yoğunlaşma ve yönetilen arılarla etkileşimler gibi artan baskılar dikkate alındığında, yabani arı çeşitliliğinin ve yaşam alanlarının korunması hem doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliği hem de gelecekteki tozlaşma hizmetlerinin güvence altına alınması açısından önem taşımaktadır.

2. Önemli Yaban Arısı Türlerinin Yaşam Döngüleri ve Sosyal Yapıları

Yaban arıları, Hymenoptera takımı içerisinde farklı familya ve alt familyalara ait çok sayıda türü kapsayan geniş bir gruptur. Bu bölüm kapsamında özellikle bal arıları ve arıcılık açısından önem taşıyan Vespidae familyasına ait türler üzerinde durulmaktadır. Vespidae içerisinde hem sosyal hem de yalnız yaşayan türler bulunmaktadır. Vespinae ve Polistinae alt familyaları sosyal yaşam gösteren önemli grupları içermekte; bu gruplara ait türler koloni organizasyonu, yuva yapısı, beslenme davranışı ve yaşam döngüsü bakımından farklı özellikler göstermektedir.

2.1.Vespinae

Vespinae alt familyası; *Vespa, Vespula* ve *Dolichovespula* gibi sosyal yaban arılarını içermektedir. Bu gruptaki türler genellikle yıllık koloniler oluşturur. Ilıman bölgelerde koloninin yaşam döngüsü ilkbaharda kışı geçirmiş döllenmiş genç ana arının yuva kurmasıyla başlar. Ana arı başlangıçta yuva yapımı, yumurtlama ve ilk larvaların beslenmesi görevlerini tek başına gerçekleştirir. İlk işçilerin ergin hale gelmesinden sonra besin toplama, yavru bakımı, yuva yapımı ve savunma görevleri büyük ölçüde işçilere geçerken ana arının temel görevi yumurtlama olur. Yaz sonu ve sonbaharda yeni ana arılar ve erkek bireyler üretilir; çiftleşmenin ardından işçiler, erkekler ve çoğunlukla eski ana arı ölürken döllenmiş genç ana arılar korunaklı alanlarda kışı geçirir (Kulike, 1986).

2.1.1. İri Yaban Arısı (*Vespa orientalis* L.)

Vespa orientalis, Vespinae alt familyasında yer alan iri yapılı ve sosyal bir yaban arısıdır. Eski kaynaklarda işçi bireylerin yaklaşık 20 mm, erkeklerin 24 mm ve ana arıların 28 mm uzunluğa ulaşabildiği bildirilmektedir. Baş ve toraks genel olarak kızıl-kahverengi tonlarda olup

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

abdomen üzerinde belirgin sarı bölgeler bulunmaktadır (Von Hagen, 1987). Koloni bireyleri bitkisel lifleri çiğneyerek kâğıt benzeri yuva materyali oluşturur ve yuvalarını korunaklı alanlarda meydana getirir. Erginlerin beslenmesinde karbonhidrat bakımından zengin kaynaklar önemli olmakla birlikte, koloninin gelişme döneminde larvaların protein gereksiniminin karşılanması amacıyla farklı böcekler ve diğer hayvansal kaynaklardan da yararlanılmaktadır. Bal arılarının da av olarak kullanılabilmesi nedeniyle V. orientalis, özellikle yoğun bulunduğu bölgelerde arıcılık açısından önem taşıyan predatör türlerden biridir (Von Hagen, 1987).

2.1.2. Eşek Arısı (*Vespa crabro* L.)

Vespa crabro, Avrupa ve Batı Asya'da yayılış gösteren iri yapılı sosyal bir yaban arısıdır. İşçi, erkek ve ana arılar arasında belirgin büyüklük farklılıkları bulunmakta; eski kaynaklarda işçilerin yaklaşık 22 mm, erkeklerin 24 mm ve ana arıların 30 mm uzunluğa ulaşabildiği bildirilmektedir. Baş ve toraks kızıl-kahverengi tonlarda, abdomen ise sarı ve kahverengi desenli karakteristik bir görünüme sahiptir (Kulike, 1986).

Yuvaların yapımında çürümüş veya yumuşamış odunlardan elde edilen bitkisel lifler kullanılmaktadır. İşçi arılar bu materyali çiğneyerek kâğıt benzeri bir hamura dönüştürür ve ağaç kovukları, yapı boşlukları ve diğer korunaklı alanlarda çok katlı peteklerden oluşan yuvalar meydana getirir. Peteklerin çevresi, dış ortam koşullarına karşı koruma sağlayan kâğıt benzeri bir zarfla çevrilidir (Hunt, 1996).

Koloni döngüsü ilkbaharda kışı geçirmiş genç ana arının yuva kurmasıyla başlar. Ana arı ilk işçileri tek başına yetiştirdikten sonra besin toplama, yavru bakımı, yuva genişletme ve savunma görevleri işçiler tarafından üstlenilir. Koloni yaz boyunca büyür ve sezonun ilerleyen dönemlerinde yeni ana arılar ile erkek bireylerin üretimine geçilir. Çiftleşen genç ana arılar kışlama alanlarına çekilirken işçiler, erkekler ve eski ana arı soğuk dönemin başlamasıyla ölür (Kulike,1986, Von Hagen, 1987).

Ergin *V. crabro* bireyleri nektar, bitki özsuları ve olgun meyveler gibi karbonhidrat bakımından zengin kaynaklardan yararlanırken, gelişmekte olan larvaların protein gereksiniminin karşılanması amacıyla çeşitli böcekler avlanmaktadır. İşçiler yakaladıkları avları parçalayarak larvalara taşır ve işçiler ile larvalar arasında karşılıklı besin alışverişi gerçekleşir. Meyvelerle beslenmeleri nedeniyle bazı dönemlerde bağ ve meyve bahçelerinde zarara neden olabilmektedirler. Bununla birlikte çok sayıda böceği avlamaları nedeniyle doğal ekosistemlerde predatör olarak önemli bir işleve de sahiptirler.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Vespa crabro diğer birçok sosyal yaban arısından farklı olarak düşük ışık koşullarında da aktif olabilmekte ve geceleri yapay ışık kaynaklarına yönelebilmektedir. Bal arılarını da avlayabilmesine karşın arılık üzerindeki etkisi koloni gücü, eşek arısı yoğunluğu ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Özellikle savunma gücü düşük koloniler predasyon baskısından daha fazla etkilenebilir (Von Hagen, 1987). Bal arısı kolonileri ise kovan girişinde savunma davranışları göstererek yaklaşan predatörlere karşı koyabilmektedir (Kulike, 1986). Eşek arılarının insanlara yönelik davranışları da yuva ile birey arasındaki mesafeye göre değişmektedir. Yuvadan uzakta besin veya yuva materyali arayan bireyler çoğunlukla insanlarla karşılaşmaktan kaçınırken, yuvaya yaklaşılması, yuvanın sarsılması veya girişinin engellenmesi savunma davranışını tetikleyebilir (Kulike, 1986, Von Hagen, 1987, Bambara ve Waldvogel, 1996). Bu nedenle insanlarla doğrudan çatışma oluşturmadıkları alanlardaki yuvaların gereksiz yere yok edilmesi yerine, türün ekosistemdeki predatör rolünün de dikkate alındığı kontrollü bir yaklaşım benimsenmelidir (Hunt, 1996).

2.2.Polistinae

Polistinae içerisinde yer alan *Polistes* türleri, sosyal yaşam gösteren ve yaygın olarak "kâğıt yaban arıları" olarak tanımlanan türlerdir. *Polistes fuscatus* ve *Polistes dominulus* bu grubun bilinen örnekleri arasındadır (O'Brien, 1996). Bu arılar, bitkisel lifleri ve özellikle odunsu materyali çiğneyerek kâğıt benzeri bir yapı oluşturur ve bunu yuva yapımında kullanırlar. *Polistes* türlerinin yuvaları çoğunlukla açık petek yapısında olup saçak altları, yapıların korunaklı bölümleri, dallar ve benzeri alanlarda bulunabilir. Buna karşılık *Vespa* türleri yuvalarını ağaç kovukları, bina boşlukları veya bazı türlerde toprak altındaki korunaklı alanlarda oluşturabilmektedir (Tutkun, 1988).

Ilıman bölgelerde yaşayan sosyal *Polistes* türlerinde koloni döngüsü genellikle mevsimseldir. Kışı geçiren döllenmiş genç ana arı ilkbaharda yeni bir yuva oluşturmaya başlar ve başlangıçtaki birkaç petek gözünü kendisi yaparak yumurtalarını bırakır. İlk larvaların bakım ve beslenmesi de ana arı tarafından gerçekleştirilir. İlk işçilerin ergin hale gelmesiyle birlikte ana arının yuva dışındaki faaliyetleri azalır ve koloni içerisindeki görev paylaşımı belirginleşir. Sezon sonunda üretilen yeni ana arılar çiftleşerek kışlama alanlarına çekilirken kolonin diğer bireyleri zamanla ölür (Kulike, 1986).

2.2.1. *Polistes gallicus*

Polistes gallicus, Polistinae alt familyasında yer alan sosyal bir kâğıt yaban arısıdır. Eski kaynaklarda bu türün morfolojik ve biyolojik özellikleri diğer bazı Avrupa *Polistes* türleriyle

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

karıştırılmış olabildiğinden, özellikle geçmiş literatürde verilen tür düzeyindeki bilgilerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Türün yuvası, diğer *Polistes* türlerinde olduğu gibi açık peteklerden oluşur ve genellikle korunaklı alanlara kısa bir sap aracılığıyla bağlanır (Bambara ve Waldvogel,1996).

Koloni gelişimi ilkbaharda kışı geçirmiş döllenmiş ana arının yuva kurmasıyla başlar. Ana arı ilk petek gözlerini oluşturur, yumurtalarını bırakır ve ilk işçi kuşağı ortaya çıkıncaya kadar yavruların bakımını üstlenir. İşçilerin gelişmesinden sonra yuva yapımı, besin toplama ve yavru bakım faaliyetleri giderek işçilere geçer. Erkek bireylerin temel biyolojik işlevi ise çiftleşmedir. Sezon sonunda eski koloninin devamlılığı sona ererken yeni döllenmiş ana arılar uygun alanlarda kışlayarak bir sonraki yılın kolonilerini oluşturur (Kulike, 1986).

2.3.Çömlekçi Yaban Arıları

Geleneksel kaynaklarda Eumenidae adı altında değerlendirilen çömlekçi yaban arıları güncel sınıflandırmada çoğunlukla Vespidae familyasının Eumeninae alt familyası içerisinde ele alınmaktadır. Bu grubun üyelerinin büyük bölümü yalnız yaşar. Yuvalar türlere bağlı olarak toprakta, taş veya ağaçlardaki boşluklarda, bitki saplarında ya da mevcut oyuklarda oluşturulabilir. Dişiler larvalarının beslenmesi amacıyla çeşitli böcek larvalarını avlayarak yuva gözlerine taşırlar. Özellikle bazı zararlı böceklerin populasyonlarının sınırlandırılmasına katkıda bulunmaları nedeniyle ekolojik ve tarımsal açıdan yararlı predatörler arasında değerlendirilmektedirler (Tutkun, 1988).

2.4.Arı Canavarı (*Philanthus triangulum*)

Philanthus triangulum, bal arılarını avlaması nedeniyle "arı canavarı" veya "arı kurdu" olarak bilinen yalnız yaşayan predatör bir yaban arısıdır. Eski kaynaklarda Sphecidae familyası içerisinde değerlendirilmiş olmakla birlikte güncel sınıflandırmalarda Crabronidae içerisinde ele alınmaktadır. Tür özellikle kumlu ve kazılmaya uygun topraklarda yuva oluşturur.

Dişiler bal arılarını çiçekler üzerinde veya uçuş sırasında yakalayarak sokar ve felç ettikten sonra yuvalarına taşır (Özbek, 1988). Avlanan bal arıları yetişkin dişinin doğrudan besininden ziyade gelişmekte olan larvalar için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dişi, hazırladığı yuva odacıklarına felç edilmiş arıları yerleştirerek yumurtasını bu besin kaynağıyla birlikte bırakır ve yumurtadan çıkan larva depolanan avlarla beslenerek gelişimini sürdürür (Özbek, 1988).

2.5.Marangoz Arılar

Marangoz arılar (*Xylocopa* spp.), iri vücut yapıları nedeniyle zaman zaman Bombus türleriyle karıştırılabilen yalnız yaşayan arılardır. Genellikle odun içerisinde açtıkları galerilerde

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

yuvalanırlar ve yuvalarını ölü ağaç dokusu, ahşap yapılar veya benzeri materyaller içerisinde oluşturabilirler (Bambara ve Waldvogel, 1996). Marangoz arılar gerçek anlamda yaban arısı (wasp) olmayıp Apidae familyasına ait arılardır. Ayrıca önemli tozlayıcılar olmaları nedeniyle yalnızca ahşap yapılarda ciddi yapısal sorun oluşturdukları durumlarda mücadele düşünülmeli, gereksiz kimyasal uygulamalardan kaçınılmalıdır (Tolon, 1999; Bambara ve Waldvogel, 1996,Bunn, 1988).

3. Yaban Arılarıyla Mücadele

Yaban arılarıyla mücadelede temel yaklaşım, bu canlıların yalnızca zararlı organizmalar olarak değerlendirilmemesi ve mücadele gereksiniminin tür, yoğunluk ve oluşturdukları risk dikkate alınarak belirlenmesi olmalıdır. Sosyal yaban arıları özellikle yuvalarının tehdit edildiği durumlarda savunma davranışı gösterebilmekle birlikte, bütün yaban arısı türlerinin insanlara veya diğer canlılara karşı saldırgan olduğu söylenemez. Bunun yanında bazı türlerin bal arısı kolonileri üzerinde predasyon baskısı oluşturabildiği, olgun meyvelere zarar verebildiği ve insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda sokma riski yaratabildiği bilinmektedir. Buna karşılık yaban arıları çok sayıda tarım zararlısı böceği avlamaları ve bazı bitkilerin tozlaşmasına katkıda bulunmaları nedeniyle ekosistem açısından önemli işlevlere de sahiptir. Bu nedenle yaban arılarıyla mücadelede tüm popülasyonların ortadan kaldırılmasına yönelik bir yaklaşım yerine, öncelikle koruyucu ve hedefe yönelik önlemlerin uygulanması daha uygun olacaktır. Arılıkların yoğun yaban arısı populasyonlarının bulunduğu alanlardan mümkün olduğunca uzağa kurulması, özellikle zayıf bal arısı kolonilerinde kovan girişlerinin daraltılması ve arılık çevresinde yaban arılarını çekecek açık besin kaynaklarının azaltılması alınabilecek temel önlemler arasındadır (Tolon,1999). Mücadele kararının ise yaban arısının türü, yuva konumu, bal arısı kolonileri üzerinde oluşturduğu baskı ve insan sağlığı açısından taşıdığı risk birlikte değerlendirilerek verilmesi gerekir.

Yaban arılarının biyolojik ve sosyal özelliklerinin bilinmesi, uygulanacak mücadele yönteminin başarısını doğrudan etkilemektedir. Sosyal türlerde yuvanın ortadan kaldırılması tüm koloniyi etkileyebilirken, yalnız yaşayan türlerde aynı yaklaşım gerekli veya uygun olmayabilir. Bu nedenle doğal dengeyi mümkün olduğunca koruyan, hedef dışı organizmalar üzerindeki etkileri en aza indiren ve yalnızca sorun oluşturan tür veya kolonilere yönelik bir mücadele anlayışı benimsenmelidir.

3.1.Yuva Mücadelesi

Yuva mücadelesi, özellikle insan yaşam alanlarına, meyve bahçelerine veya arılıklara yakın bölgelerde risk oluşturan sosyal yaban arısı kolonilerinin kontrolüne dayanmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Mücadeleye başlamadan önce yuva yerinin doğru biçimde belirlenmesi gerekir. Bu amaçla işçi arıların uçuş yönleri izlenerek bireylerin yuvaya giriş ve çıkışları takip edilebilir (Bunn, 1988). Yuva konumu belirlendikten sonra herhangi bir uygulamanın gerekip gerekmediği öncelikle risk düzeyine göre değerlendirilmelidir. Eski literatürde yuva mücadelesi amacıyla karbaril, malathion, rotenon, Gamma-HCH, klordan, klorpirifos ve diklorvos gibi çeşitli insektisit ve fumigantların kullanıldığı bildirilmektedir (Bambara ve Waldvogel, 1995; Bambara ve Waldvogel, 1996 ve 1997; Von Hagen,1987). Bununla birlikte bu maddelerin bir bölümü günümüzde çevresel ve toksikolojik nedenlerle kullanımdan kaldırılmış veya kullanım alanları önemli ölçüde sınırlandırılmıştır. Bu nedenle söz konusu eski uygulamalar güncel mücadele önerileri olarak değerlendirilmemeli; kimyasal mücadele gerekli olduğunda yalnızca ilgili ülkede yaban arısı mücadelesi için ruhsatlandırılmış ürünler, etiket bilgilerine ve ilgili mevzuata uygun biçimde kullanılmalıdır. Yuvanın yerleşim alanları içerisinde, duvar boşluklarında, çatılarda veya ulaşılması güç bölgelerde bulunması durumunda kontrol işlemlerinin eğitimli ve yetkili kişiler tarafından gerçekleştirilmesi tercih edilmelidir. Kimyasal uygulamalarda hedef dışı böcekler, özellikle bal arıları ve diğer tozlayıcılar üzerindeki olası etkiler de dikkate alınmalıdır. Arılıklarda uygulanacak herhangi bir insektisit kullanımında bal arısı kolonilerinin maruziyetinin önlenmesi temel önceliklerden biri olmalıdır.

3.2.Yuva Dışı Mücadele

Yuva yerinin belirlenemediği veya doğrudan yuva müdahalesinin gerekli olmadığı durumlarda yaban arısı yoğunluğunu azaltmak amacıyla yuva dışı mücadele yöntemlerinden yararlanılabilir. Bu kapsamda tuzaklar, fiziksel engeller ve çevresel düzenlemeler öncelikli yöntemler arasında değerlendirilmelidir.

3.2.1. Tuzaklar

Yaban arısı tuzakları belirli alanlardaki işçi arı yoğunluğunu azaltmak amacıyla kullanılabilmekle birlikte, tek başına uygulanmaları çoğu durumda kolonin tamamen ortadan kaldırılmasını sağlamaz. Bu nedenle tuzakların özellikle arılıklar, meyve bahçeleri, açık hava işletmeleri ve insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda tamamlayıcı bir mücadele yöntemi olarak değerlendirilmesi daha uygundur (Bambara ve Waldvogel, 1996).

Tuzakların etkinliği hedef tür, kullanılan cezbedici madde, mevsim ve tuzağın yerleştirildiği konuma göre değişebilmektedir. Besin temelli veya türe özgü cezbedicilerin kullanılması hedef dışı böceklerin yakalanma olasılığını azaltabilir. Arılıklarda kullanılan tuzakların bal arılarını çekmemesi özellikle önemlidir.

3.2.2. Spreyleme ve Dumanlama

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Eski kaynaklarda piretrum içeren aerosollerin kapalı alanlara giren bireysel yaban arılarının kontrolünde kullanılabileceği bildirilmiştir (Bambara ve Waldvogel, 1995 ve 1996). Bununla birlikte açık alanda uçuş halindeki yaban arılarına gelişigüzel insektisit püskürtülmesi etkili bir mücadele yöntemi değildir ve hedef dışı organizmaların gereksiz biçimde kimyasallara maruz kalmasına neden olabilir. Kimyasal uygulama gerekli olduğunda hedefe yönelik, ruhsatlı ürünler tercih edilmeli ve uygulama doğrudan sorun oluşturan yuva veya bireylere yönelik gerçekleştirilmelidir.

3.2.3. Işık Tuzakları

Bazı *Vespa* türleri düşük ışık koşullarında da aktif olabilmekte ve yapay ışık kaynaklarına yönelebilmektedir. Bu özellikten yararlanılarak belirli koşullarda ışık tuzaklarının yardımcı bir kontrol yöntemi olarak kullanılması mümkün olabilir (Bambara ve Waldvogel, 1996; Hunt ve Arduser, 1996; Von Hagen, 1987). Bununla birlikte ışık tuzakları çok sayıda hedef dışı gececi böceği de çekebildiğinden, ekolojik açıdan hassas alanlarda yaygın ve kontrolsüz kullanımından kaçınılması gerekmektedir.

3.2.4. Fiziksel Engelleme

Yaban arılarının ev, depo, işleme tesisi ve benzeri kapalı alanlara girişlerinin önlenmesi mücadelede en basit ve çevre dostu yöntemlerden biridir. Pencere ve diğer açıklıkların yaklaşık 3 mm gözenekli ağlarla kapatılması, kapıların mümkün olduğunca kapalı tutulması ve yapıların duvar, çatı ve benzeri bölümlerindeki çatlak ve boşlukların onarılması yuvalanma olasılığını azaltabilir (Bunn,1988, Hunt ve Arduser, 1996). Bu tür fiziksel ve önleyici uygulamalar, kimyasal mücadele gereksinimini azaltmaları bakımından öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

3.2.5. Cezbediciler ve Feromon Temelli Yaklaşımlar

Yaban arılarının kontrolünde kimyasal iletişimlerinden yararlanan cezbedici sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte eski kaynaklarda yaban arılarını yönlendirmek amacıyla önerilen sitral, nerol, geraniyol, nerolik asit ve geranik asit gibi Nasonov feromonu bileşenlerinin bu amaçla genellenmesi uygun değildir (Bunn,1988; Von Hagen, 1987). Nasonov feromonu esas olarak bal arılarının koloni içi yönlenme ve toplanma davranışlarında rol oynayan bir iletişim sistemidir. Yaban arıları için geliştirilen güncel tuzak sistemlerinde ise hedef türlere özgü kimyasal cezbediciler veya besin kokularından yararlanılabilmektedir. Ancak cezbedicilerin etkinliği türler arasında önemli ölçüde değişebildiğinden, bu sistemlerin bölgesel olarak sorun oluşturan yaban arısı türlerine göre seçilmesi gerekir. Ayrıca tuzak ve cezbedicilerin bal arıları ile diğer yararlı böcekleri mümkün olduğunca çekmemesi hedeflenmelidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3.3.Entegre Mücadele Yaklaşımı

Yaban arılarıyla mücadelede en uygun yaklaşım, entegre mücadele ilkelerinin benimsenmesidir. Buna göre ilk aşamada türün doğru tanımlanması ve gerçekten müdahale gerektirip gerektirmediğinin belirlenmesi; ardından yuvalanmayı ve besin kaynaklarına erişimi azaltan koruyucu önlemlerin uygulanması gerekir. Kovan girişlerinin daraltılması, zayıf bal arısı kolonilerinin güçlendirilmesi, açıkta bulunan şekerli veya proteinli besin kaynaklarının ortadan kaldırılması, uygun fiziksel engellerin kullanılması ve gerektiğinde seçici tuzaklardan yararlanılması kimyasal mücadeleden önce değerlendirilmelidir.Yuva, insan sağlığı veya bal arısı kolonileri açısından önemli bir risk oluşturuyorsa, hedefe yönelik kontrol uygulanabilir. Kimyasal mücadele ise diğer yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda, yalnızca ruhsatlı ürünlerle ve hedef dışı organizmalara verilebilecek zarar en aza indirilecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Böylece yaban arılarının ekosistemdeki predatör ve tozlayıcı rolleri korunurken, insanlarla ve arıcılık faaliyetleriyle ortaya çıkan çatışmaların kabul edilebilir düzeyde tutulması mümkün olabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yaban arıları, bal arıları ve diğer böcek grupları gibi doğal ekosistemlerin önemli bileşenleridir. Bu nedenle yaban arılarını yalnızca insanlara, bal arısı kolonilerine veya tarımsal ürünlere verebilecekleri zararlar üzerinden değerlendirmek yerine, ekosistem içerisindeki işlevlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu canlıların biyolojilerinin, beslenme davranışlarının ve yaşam döngülerinin iyi bilinmesi, hem ekolojik önemlerinin anlaşılması hem de gerektiğinde uygulanacak mücadele yöntemlerinin doğru biçimde belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bazı yaban arısı türleri bal arıları üzerinde predasyon baskısı oluşturabilir ve özellikle yoğun popülasyonların bulunduğu bölgelerde arıcılık açısından ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu türlerin sorun oluşturduğu durumlarda kontrollü mücadele gerekli olmakla birlikte, aynı yaklaşımın tüm yaban arısı türlerine uygulanması ekolojik açıdan uygun değildir. Yaban arılarının önemli bir bölümü çeşitli böcekleri avlayarak doğal biyolojik mücadeleye katkıda bulunmakta ve tarımsal zararlıların popülasyonlarının sınırlandırılmasında rol oynamaktadır. Bu ekolojik işlev, tarımsal ekosistemlerde kimyasal mücadeleye duyulan gereksinimin azaltılmasına katkı sağlayabilecek doğal mekanizmalardan biri olarak değerlendirilebilir. Yaban arılarının ekosistem içerisindeki bir diğer önemli işlevi ise tozlaşmaya sağladıkları katkıdır. Nektar ve diğer bitkisel kaynaklardan yararlanmak amacıyla çiçekleri ziyaret eden birçok yaban arısı türü, bu ziyaretler sırasında polen taşınmasına katkıda bulunarak yabani ve kültür bitkilerinin üreme başarısını desteklemektedir. Dolayısıyla yaban arısı popülasyonlarının

kontrolsüz biçimde ortadan kaldırılması, yalnızca doğal predatörlerin azalmasına değil, aynı zamanda bazı bitkilerin yararlandığı tozlaşma hizmetlerinin de olumsuz etkilenmesine yol açabilir. Bu nedenle yaban arılarıyla ilişkili sorunların yönetiminde temel amaç, bu canlıların tamamen ortadan kaldırılması değil, ekolojik işlevleri korunurken insan sağlığı, tarımsal üretim ve arıcılık açısından oluşturabilecekleri zararların kabul edilebilir düzeylere indirilmesi olmalıdır. Türlerin doğru tanımlanması, ekolojik rollerinin bilinmesi ve yalnızca sorun oluşturan tür veya kolonilere yönelik kontrollü mücadele yöntemlerinin uygulanması, doğal denge ile üretim faaliyetlerinin birlikte sürdürülebilmesi açısından en uygun yaklaşımı oluşturmaktadır.

Kaynaklar

Bambara, S. B., & Waldvogel, M. (1995). Carpenter bees control. *Insect Note-ENT/rsc 4*. North Carolina Entomology Extension Service, NC, USA.

Bambara, S. B., & Waldvogel, M. (1996). Controlling bald-faced hornets and yellowjackets in and around structures. *Insect Note-ENT/rsc-10*. North Carolina Entomology Extension Service, NC, USA.

Bambara, S. B., & Waldvogel, M. (1997). European hornets. *ENT/rsc-11*. North Carolina Entomology Extension Service, NC, USA.

Bunn, D. S. (1988). The nesting cycle of the hornet *Vespa crabro* L. (Hym., Vespidae). *Entomologist's Monthly Magazine*, 124, 117–122.

Hausmann, S. L., Petermann, J., & Rolff, J. (2016). Wild bees as pollinators of city trees. *Insect Conservation and Diversity*, 9. https://doi.org/10.1111/icad.12145

Hunt, J. H., & Arduser, M. S. (1996). A painless look at some of state's most interesting insects: Common wasps and bees (pp. 1–3). Department of Biology, University of Missouri-St. Louis, USA.

Iwasaki, J., & Hogendoorn, K. (2022). Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: An updated review. *Current Research in Insect Science*, 2. https://doi.org/10.1016/j.cris.2022.100043

Kammerer, M., Goslee, S., Douglas, M. R., Tooker, J., & Grozinger, C. (2021). Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, 27, 1250–1265. https://doi.org/10.1111/gcb.15485

Katumo, D. M., Liang, H., Ochola, A. C., Lv, M., Wang, Q., & Yang, C.-F. (2022). Pollinator diversity benefits natural and agricultural ecosystems, environmental health, and human welfare. *Plant Diversity*, 44, 429–435. https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.01.005

Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A., Kremen, C., M'Gonigle, L., Rader, R., Ricketts, T., Williams, N., Adamson, N. L., Ascher, J., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F. E., Biesmeijer, J., Blitzer, E. J., . . . Potts, S. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6. https://doi.org/10.1038/ncomms8414

Koh, I., Lonsdorf, E., Williams, N., Brittain, C. A., Isaacs, R., Gibbs, J., & Ricketts, T. (2015). Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 140–145. https://doi.org/10.1073/pnas.1517685113

Kulike, H. (1986). Hornissen. *Imkerfreund*, 41, 300–303.

Lázaro, A., Müller, A., Ebmer, A., Dathe, H., Scheuchl, E., Schwarz, M., Risch, S., Pauly, A., Devalez, J., Tscheulin, T., Gómez-Martínez, C., Papas, E., Pickering, J., Waser, N., & Petanidou, T. (2021). Impacts of beekeeping on wild bee diversity and pollination networks in the Aegean Archipelago. *Ecography*. https://doi.org/10.1111/ecog.05553

MacInnis, G., Normandin, É., & Ziter, C. (2023). Decline in wild bee species richness associated with honey bee (*Apis mellifera* L.) abundance in an urban ecosystem. *PeerJ*, 11. https://doi.org/10.7717/peerj.14699

Mallinger, R., Gaines-Day, H. R., & Gratton, C. (2017). Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. *PLoS ONE*, 12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189268

O'Brien, M. (1996). *Check list of the social Vespidae (Vespinae and Polistinae)*. Paper notes. University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, MI, USA.

Ockermüller, E., Kratschmer, S., Pascher, K., Hainz-Renetzeder, C., Meimberg, H., Frank, T., & Pachinger, B. (2025). Seasonal direct and indirect effects of local habitat and landscape factors on wild bees in agroecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 34, 3733–3757. https://doi.org/10.1007/s10531-025-03129-3

Özbek, H. (1988). Bazı yörelerimizde arıcılığı tehdit eden arı canavarı (*Philanthus triangulum abdelkader* Lep., Hym.: Sphecidae). *TKV Teknik Arıcılık Dergisi*, 18, 2–5.

Rogers, S., Tarpy, D., & Burrack, H. (2014). Bee species diversity enhances productivity and stability in a perennial crop. *PLoS ONE*, 9. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097307

Tolon, B. (1999). Yaban arılarıyla mücadele yöntemleri. *TKV Teknik Arıcılık Dergisi*, 64, 18–22.

Tonietto, R. K., & Larkin, D. (2018). Habitat restoration benefits wild bees: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55, 582–590. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13012

Tschanz, P., Albrecht, M., & Keller, T. (2025). Beyond pollination – The neglected contribution of ground-nesting bees to soil functions. *Basic and Applied Ecology*. https://doi.org/10.1016/j.baae.2025.02.003

Tutkun, E. (1988). Yaban arılarının yaşayışı ve zarar şekilleri. *TKV Teknik Arıcılık Dergisi*, 18, 24–27.

Valido, A., Rodríguez-Rodríguez, M., & Jordano, P. (2019). Honeybees disrupt the structure and functionality of plant-pollinator networks. *Scientific Reports*, 9. https://doi.org/10.1038/s41598-019-41271-5

Von Hagen, H. H. (1987). Wissenswertes über unsere Hornisse (*Vespa crabro* L.). *ADIZ*, 4, 109–112.

Winfree, R., Reilly, J., Bartomeus, I., Cariveau, D. P., Williams, N., & Gibbs, J. (2018). Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales. *Science*, 359, 791–793. https://doi.org/10.1126/science.aao2117

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PAKET ARICILIK SİSTEMİ VE TÜRKİYE ARICILIK SEKTÖRÜNE YANSIMASI
PACKAGE BEE SYSTEM AND REFLECTIONS OF BEEKEEPING SECTOR IN TÜRKİYE

Dr. Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir-Türkiye

ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

banu.yucel@ege.edu.tr ; ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Özet

Arıcılıkta uzun süren sert kış koşulları, büyük girdi ve önemli kış kayıplarına neden olmaktadır. Bu sebeple, daha ılıman iklim koşullarına ve zengin nektar kaynağına sahip bölgelerde arı üreterek, sert kış koşullarının sürdüğü yörelerdeki arıcılara satılan bir üretim sistemi arıcılar tarafından tercih edilebilmektedir. Bu sistem, ağır kış şartlarının hüküm sürdüğü ve arı kolonilerinin ciddi ölçüde kış kayıpları verdiği Kuzey Amerika'daki arı kolonilerini takviye etmek amacıyla, daha ılıman iklim koşullarına sahip Güney Amerika'daki arıcıların paket arı kolonileri üretimi ile başlamıştır. Artan talepler karşısında Güney bölgelerinde bulunan arıcılar, bal üretimine oranla daha güvenceli olan arı ve ana arı üretimine yönelmişler, taşıma girdilerini en aza indirmek amacıyla, arıları küçük paketler halinde çerçevesiz naklederek 'Paket Arıcılığı' adı verilen bir arıcılık sistemi oluşturmuşlardır. Ülkemizde de özellikle ilkbaharda arı üretimine uygun olan Ege ve Akdeniz bölgelerinde koloni üretimi yapılıp, kışları sert geçen fakat yoğun nektar kaynaklarına sahip; Kuzey ve Doğu Anadolu Bölgeleri'ne, erken baharın ardından gelen olumsuz hava şartlarını yaşayan; Kuzey Batı Anadolu Bölgeleri'ne arı kolonileri gönderilebilir. Böylece Ege ve Akdeniz arıcısı koloni üretimi ile güvenli ve yüksek gelir sağlarken, Kuzey, Kuzey batı ve Doğu Anadolu'daki arı üreticileri, kışlatmadan kaynaklanan koloni kaybından daha az etkilenecek ve ilkbahardaki nektar akımından yeterince faydalanabilecektir. Paket arıcılığın ülkemizde uygulanması ile birlikte, arıcıların daha sağlıklı, verimli kolonilerle çalışmaları ve yüksek gelir elde edebilme fırsatı elde etmeleri sağlanmış olacaktır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Anahtar kelimeler: Bal arısı, Paket arıcılık, Bal verimi, Kışlatma, Oğul üretimi

1. Giriş

Paket arıcılık, farklı iklim koşullarına sahip bölgeler arasındaki mevsimsel avantajlardan yararlanılarak geliştirilen bir arıcılık uygulamasıdır. Bu sistemde, ılıman iklim bölgelerindeki güçlü kolonilerden belirli miktarda işçi arı alınarak peteksiz şekilde özel taşıma kutularına yerleştirilmekte ve daha soğuk bölgelerdeki arıcılara gönderilmektedir. İlk uygulamaları 19. yüzyılın sonlarında ABD'de başlayan paket arıcılığın geliştirilmesinde, koloni nakliye maliyetlerinin azaltılması ve özellikle yavru hastalıklarının bölgeler arasında taşınma riskinin sınırlandırılması etkili olmuştur. Geleneksel koloni naklinde petek ve kovanların taşınması hem toplam ağırlığı hem de ihtiyaç duyulan taşıma alanını artırdığından, arıların peteksiz olarak sevk edilmesi daha ekonomik ve pratik bir alternatif olarak değerlendirilmiştir (Doğaroğlu, 2004). Ayrıca paket arıcılık, belirli sayıda işçi arının bir kraliçe arı ile birlikte özel paketler halinde satılması veya başka yerlere nakledilmesi yoluyla uygulanan bir arıcılık türü olarak da tanımlanmaktadır (Tahirov ve ark., 2025). Paket arıcılık, koloni kayıplarının yüksek olduğu veya kışlama sonrasında kolonilerin yeterli güce ulaşamadığı bölgelerde arı populasyonunun hızlı bir şekilde desteklenmesi açısından da önem taşımaktadır. Nitekim Avrupa'da yaşanan yüksek kış kayıpları sonucunda kolonilerin yaklaşık dörtte birinin kaybedildiği ve bal hasadı döneminde kolonilerin yeterli güce ulaşamaması nedeniyle Avusturya'dan paket arı temin edildiği bildirilmiştir. Erken ilkbahar döneminde kovanlara yerleştirilen bu paket arılardan başarılı sonuçlar elde edilmesi, uygulamanın koloni kayıplarının telafisi ve üretim sezonuna güçlü kolonilerle başlanması açısından önemli bir seçenek olabileceğini göstermektedir (Peyvel, 2002). Paket arıcılık; Amerika, Kanada, Yeni Zelanda, Avustralya ve Rusya başta olmak üzere farklı iklim özelliklerine sahip birçok ülkede uygulanan bir üretim modelidir. Sistemin temelinde, iklim koşullarının arı yetiştiriciliğine daha elverişli olduğu bölgelerde fazla miktarda arı populasyonu üretilmesi ve bu arıların, kışlama koşullarının daha ağır olduğu bölgelere aktarılması yer almaktadır. Böylece soğuk bölgelerde faaliyet gösteren arıcılar, kolonilerin kışlatılması sırasında ortaya çıkan bakım, besleme ve koloni kayıplarına bağlı maliyetleri azaltırken, üretim sezonuna güçlü kolonilerle başlayabilmektedir. Ilıman bölgelerdeki arıcılar açısından ise paket arı üretimi, uygun iklim ve flora koşullarının ekonomik değere dönüştürülebileceği alternatif bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Nitekim bazı bölgelerde paket arı üretiminin, bal ve diğer arı ürünlerinin üretimine kıyasla önemli bir

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ekonomik faaliyet haline geldiği bildirilmektedir. Paket arı kullanımının bir diğer avantajı, uzun ve sert kış koşullarının görüldüğü bölgelerde kolonilerin kışlatılması gereksinimini azaltmasıdır. İlkbaharda temin edilen, gelişme yeteneği yüksek ve sağlıklı arılardan oluşturulan koloniler sayesinde arıcıların nektar akımı dönemine daha güçlü kolonilerle girmesi ve bal üretiminden daha etkin yararlanması mümkün olabilmektedir (Kösoğlu ve Yücel, 2007).

2. Paket Arıcılığın Koloni Verimliliğine Etkisi

Paket arıcılık, mevcut kolonilerden çiftleşmiş bir ana arıya sahip işçi arıları ayırarak yeni koloniler oluşturmak, kış kayıplarını telafi etmek ve zayıf aileleri güçlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Tahirov ve ark., 2025; Evans ve ark., 2021). Paket arılardan kurulan kolonilerin, bir yıl sonra çekirdek (nucleus) kolonilere kıyasla %23 daha yüksek hayatta kalma oranları sergilediği; bunun başlıca nedeninin, paketlerin tamamen yeni ekipmanla başlaması ve hastalık veya pestisit barındırabilecek aktarılmış kuluçka ya da petek içermemesi olduğu bildirilmektedir (Findlay ve ark., 2015). Ayrıca, koloni oluşturma sırasında balmumu petek, çerçeve veya kovan malzemesi aktarılmadığından, paket arılar başlangıçta daha düşük patojen yükü taşımaktadır (Findlay ve ark., 2015). Paket arılar, diğer koloni çoğaltma yöntemleri ile doğrudan karşılaştırıldığında, bir yıllık izleme süresince yöntemler arasında koloni gücü açısından istatistiksel bir fark görülmemiştir (Maucourt ve ark., 2018; Maucourt ve ark., 2017). Bununla birlikte, yapılan çalışmalara göre; paket arılar ilk yıllarında daha yavaş gelişmekte ve enerjilerini bal üretiminden ziyade aile oluşumu ve balmumu üretimine yönlendirmektedir (Tahirov ve ark., 2025). Paketlerin açık kuluçka çerçevelerine yerleştirilmesinin, koloni büyümesini önemli ölçüde desteklediği ve ana arının erken değiştirilmesini azalttığı; kuluçka ile güçlendirilmiş kolonilerde %86,7 ana arı kabul oranı elde edilirken, kontrol grubunda bu oranın %33,3 olduğu bildirilmektedir (Tarpy ve ark., 2020). Paket arıcılık, koloni oluşturma sürecinde çeşitli avantajlar sağlamakla birlikte, özellikle yerleştirmeyi izleyen ilk haftalarda bazı önemli biyolojik ve yönetimsel sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Yeni oluşturulan paket arı kolonilerinde kritik kabul edilen ilk 6–8 haftalık dönemde ana arı kayıplarının yaklaşık %25 düzeyine ulaşabildiği bildirilmektedir (Withrow ve ark., 2019). Benzer şekilde, kolonilerin %48,9'unun ilk 12 hafta içerisinde ana arı hücresi oluşturduğu ve yavru bulunmayan kontrol kolonilerinde paketle birlikte verilen ana arının reddedilme olasılığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tarpy ve ark., 2020). Bu durumun, taşıma ve yerleştirme sürecinde yavru sinyalinin uzun süre kesintiye uğramasıyla ilişkili olabileceği; yavru feromonlarının bulunmamasının işçi arıların ana arıya yönelik davranışlarını değiştirerek ana arının değiştirilmesini teşvik edebileceği düşünülmektedir (Tarpy ve ark., 2020).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Paket arı kullanımında dikkate alınması gereken bir diğer konu hastalık ve parazitlerin bölgeler ve işletmeler arasında taşınma olasılığıdır. Paket arılarda üreticilere bağlı olarak Varroa düzeylerinin arı başına 0,004–0,054 akar arasında değişebildiği, Nosema enfeksiyon oranlarının ise %0 ile %75 arasında farklılık gösterebildiği bildirilmiştir (Findlay ve ark., 2015). Ayrıca yaz döneminde oğul vermeyen paket arı kökenli kolonilerde Varroa populasyonunun sonbahara doğru yüksek seviyelere ulaşabildiği görülmektedir. Buna karşılık, ilkbaharda oksalik asit uygulamasının yaz döneminde oluşturulan yavrusuz dönemle birlikte kullanılması, kış dönemine girerken parazit yükünün önemli ölçüde azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Evans ve ark., 2021). Paket arıcılığın başarısı yalnızca koloni sağlığına değil, uygulamanın ekonomik sürdürülebilirliğine de bağlıdır. Kış kayıplarını paket arı satın almak yerine koloni bölme yöntemiyle karşılayan işletmelerin, özellikle ana arılarını kendilerinin yetiştirmesi durumunda, koloni başına daha yüksek kârlılık sağlayabildiği belirtilmektedir (Bixby ve ark., 2023). Bunun yanında, paket arı maliyetlerindeki artışın işletme kârlılığını önemli ölçüde etkilediği; %35–49 düzeyindeki kış kayıplarında bal üretiminden elde edilen kârın koloni başına −6 ile 44 dolar arasında değişebildiği bildirilmiştir (Bixby ve ark., 2023). Kolonilerin oluşturulma zamanı da paket arıcılıktan elde edilecek verimi belirleyen önemli faktörlerden biridir. Mayıs ayı başında oluşturulan paket kolonilerinden ortalama 24,5 ± 2,3 kg bal elde edilirken, bunun yaklaşık 8 kg'ının pazarlanabilir nitelikte olduğu; Haziran ortasında oluşturulan kolonilerin ise yalnızca kışlama gereksinimlerini karşılayabilecek miktarda bal depolayabildiği belirlenmiştir (Tahirov ve ark., 2025). Bu bulgular, paket kolonilerin nektar akımından yeterince yararlanabilmesi ve kış öncesinde gerekli koloni gücüne ulaşabilmesi açısından erken dönemde oluşturulmasının önemini ortaya koymaktadır. Paket arıcılığın biyolojik ve ekonomik performansı bölgesel koşullara göre de değişebilmektedir. Fraser Vadisi'nde çekirdek kolonilerin paket arı kolonilerine göre hem biyolojik performans hem de ekonomik getiri bakımından daha avantajlı olduğu; Peace River bölgesinde ise iki sistem arasında biyolojik açıdan belirgin bir farklılık görülmemesine rağmen paket arı kolonilerinin ekonomik getirisinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Punnett, 1986).

Sonuç olarak paket arıcılık, temiz ve hastalık etmenlerinden arındırılmış ekipmanla yeni kolonilerin oluşturulmasına olanak sağlaması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte sistemin başarısı; paketlerin oluşturulma ve yerleştirilme zamanı, ana arının kabulü ve devamlılığı, yavru desteği, hastalık ve parazitlerin kontrolü ile bölgenin iklimsel ve ekonomik koşulları gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda faktöre bağlıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. Paketlerin Özellikleri

Paket arıların taşınmasında, arıların yeterli hava almasını sağlayacak şekilde tasarlanmış özel kutular kullanılmaktadır. Geleneksel olarak ahşaptan üretilen bu kutuların genellikle iki yüzeyi havalandırmayı sağlamak amacıyla tel örgü ile kaplanmakta, günümüzde ise plastik malzemeden üretilmiş farklı modeller de kullanılmaktadır. Bu özel taşıma kutuları içerisinde, belirli miktarda işçi arının peteksiz olarak satışa sunulması "paket arı" olarak tanımlanmaktadır. Paketlerin boyutları üretim bölgesine ve içerdiği arı miktarına göre farklılık gösterebilmekle birlikte, 15 × 25 × 35 cm ve 15 × 22,5 × 40 cm ölçülerindeki kutular yaygın olarak kullanılmaktadır. Ticari paketlerde bulunan arı miktarı çoğunlukla ağırlık esasına göre belirlenmektedir. Paket ağırlığı genellikle 1,5 kg civarında olmakla birlikte, ihtiyaca bağlı olarak 1–2,5 kg arasında değişebilmektedir. Yaklaşık 1 kg işçi arının 7.000 civarında bireye karşılık geldiği kabul edilmektedir. Paket arılar ana arılı veya ana arısız olarak hazırlanabilmektedir. Ana arılı paketlerde belirli miktardaki genç işçi arılara ek olarak kafes içerisinde döllenmiş bir ana arı ile taşıma süresince arıların beslenmesini sağlayan bir yemlik bulunmaktadır. Paket arılar çoğunlukla kış döneminde kaybedilen kolonilerin yerine yenilerinin oluşturulması veya arılıkta koloni sayısının artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle paket arıların temini ve kolonilere yerleştirilmesi ağırlıklı olarak ilkbahar döneminde gerçekleştirilmektedir (Doğaroğlu, 1987; Öder, 1997; Kandemir, 2004).

4. Paketlerin Hazırlanması ve Taşınması

Paket arıların hazırlanmasında, uygun kolonilerden seçilen işçi arıların peteklerden silkelenerek taşıma kutularına aktarılması esasına dayanan farklı yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak "silkme kutusu" ve "silkme hunisi" yöntemleri kullanılmaktadır (Doğaroğlu, 1987). Silkme kutusu yönteminde arılar, içerisinde ana arı ızgarası bulunan geniş bir toplama kabına silkelenmektedir. İşçi arılar ızgaradan geçerek kabın alt bölümünde toplanırken, daha iri vücut yapısına sahip ana arı ve erkek arıların geçişi engellenmektedir. Böylece ana arı kolaylıkla ayrılarak tekrar kendi kolonisine verilebilmekte ve paketlerin doldurulmasında kullanılacak işçi arılar toplu olarak hazırlanabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle yöntem, özellikle çok sayıda paketin hazırlanmasında uygulama kolaylığı sağlamaktadır (Doğaroğlu, 1987). Silkme hunisi yönteminde ise arılar, peteklerden doğrudan bir huni aracılığıyla paket içerisine aktarılmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasından önce koloninin ana arısının bulunarak güvenli bir şekilde ayrılması gerekmektedir. Ana arı geçici olarak bir kafese veya ayrı bir çerçeveye alınarak silkme sırasında pakete karışması

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

önlenmektedir. Paketlerin mümkün olduğunca genç işçi arılardan oluşturulması istendiğinden, özellikle yavrulu çerçeveler üzerindeki arıların tercih edilmesi önerilmektedir. Yaşlı işçi arılar ile erkek arıların paketlere karışmasını azaltmak amacıyla işlemin öğleden sonra gerçekleştirilmesi uygun görülmektedir. Paket içerisinde bulunacak arı miktarı ise silkme işlemi sırasında tartılarak belirlenmektedir (Doğaroğlu, 1987). Ana arılı olarak hazırlanacak paketlerde genç ve yumurtlama yeteneğine sahip bir ana arının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılacak ana arılar genellikle aşılama yöntemiyle yetiştirilmektedir. İşçi arıların pakete aktarılması ve gerekli ağırlığın sağlanmasının ardından ana arı, kafesiyle birlikte paketin üst bölümünde bulunan uygun alana sabitlenmektedir. Daha sonra taşıma süresince arıların besin ihtiyacını karşılamak amacıyla yemlik yerleştirilmekte ve yaklaşık 1 L şeker şurubu eklenmektedir. Paket kapatıldıktan sonra sevkiyata hazır hale gelmektedir (Fıratlı ve ark, 2004). Hazırlama ve taşıma sürecinde sıcaklık ve havalandırmanın kontrol altında tutulması paket arıların yaşama gücü açısından büyük önem taşımaktadır. Yetersiz havalandırılan veya uygun olmayan çevre koşullarında bekletilen paketlerde kısa sürede arı kayıpları meydana gelebileceğinden, doldurulan paketlerin sevkiyata kadar serin ve iyi havalandırılan bir ortamda muhafaza edilmesi gerekmektedir. Paketlerin uzun mesafelere nakliyesinde çoğunlukla bu amaç için düzenlenmiş taşıma araçlarından yararlanılmaktadır. Araçların doğal veya mekanik havalandırmaya sahip olması ve paketlerin çevresinde yeterli hava dolaşımına olanak verecek biçimde yüklenmesi gerekmektedir. Bir araçla yaklaşık 1500–2000 paket taşınabilmektedir. Paketlerin hem elle taşınmasını kolaylaştırmak hem de sevkiyat sırasında hava dolaşımını sürdürmek amacıyla paketler çıtalar yardımıyla birbirine sabitlenmekte ve aralarında yaklaşık 30 cm boşluk bırakılmaktadır (Doğaroğlu, 1987).

Taşıma sürecinin en kritik noktalarından biri sıcaklığın kontrolüdür. Ortam sıcaklığının yükselmesi arıların hareketliliğini artırmakta, artan aktivite ise paket içerisinde daha fazla metabolik ısı oluşmasına neden olmaktadır. Böylece sıcaklığın giderek yükseldiği bir süreç ortaya çıkabileceğinden, sevkiyat boyunca yeterli havalandırmanın sağlanması ve paketlerin aşırı ısınmasının önlenmesi gerekmektedir.

5. Paket Arı Üretim Kolonilerin Özellikleri

Paket arı üretiminde başarılı bir sonuç elde edilebilmesi, üretimde kullanılacak kolonilerin önceden hazırlanmasına bağlıdır. Bu amaçla koloni hazırlıklarına Ağustos ayından itibaren başlanması önerilmektedir. Öncelikle kolonilerin ana arıları değerlendirilerek yaşlı veya yeterli performans göstermeyen ana arılar yenilenmelidir. Üretime ayrılan kolonilerde

yaklaşık 25–30 kg bal ile 1.300–3.800 cm² polen alanının bulunması uygun kabul edilmektedir (Doğaroğlu, 1987). Kolonilerin bu düzeyde besin rezervine sahip olmadığı durumlarda ise eksikliklerin üretici tarafından tamamlanması gerekmektedir. Bal stoklarının yetersiz olması durumunda şeker şurubu, polen kaynaklarının sınırlı olması durumunda ise polen keki veya uygun polen ikame yemleri kullanılarak koloniler desteklenebilir. Besin rezervlerinin yanı sıra koloni sağlığı da paket arı üretiminin temel koşullarından biridir. Üretimde kullanılacak kolonilerin yavru ve ergin arı hastalıkları yönünden sağlıklı olması ve özellikle Varroa ile mücadele uygulamalarının zamanında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ana arılı paket üretilecekse, paketin gönderileceği bölgenin çevre ve yetiştiricilik koşullarına uygun genotipte, genç ve yüksek nitelikli ana arıların önceden temin edilmesi önem taşımaktadır (Kumova ve Korkmaz,1999). Paket arı dağıtım döneminin başlangıcında üretim kolonilerinin yaklaşık 18.000 arıdan oluşan bir populasyona ulaşmış olması beklenmektedir. Sonbahar bakım ve beslemesi uygun şekilde gerçekleştirilen koloniler bu düzeye daha kolay ulaşabilmektedir. Koloniden alınabilecek arı miktarı ise koloni gücüne göre belirlenmelidir. Normal koşullarda yaklaşık 10 günlük aralıklarla 2 kg arı alınabilirken, 35.000–45.000 arılık populasyona ulaşmış güçlü kolonilerden aynı aralıklarla yaklaşık 2,5 kg arı alınabilmektedir. Yaklaşık 60 günlük üretim döneminde teorik olarak bir koloniden toplam 17 kg düzeyinde arı elde edilebilmesine karşın, kolonin gelişimini korumak amacıyla bu miktarın yaklaşık 14,5 kg ile sınırlandırılması önerilmektedir (Doğaroğlu, 1987). Koloniden kapasitesinin üzerinde işçi arı alınması; kuluçka faaliyetlerinin aksamasına, genç larvaların bakımında görev yapan işçi arı sayısının azalmasına ve dolayısıyla yavru gelişimi ile koloni sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir.

6. Paketlerin Kovanlara Aktarılması

Paket arıların yeni kolonilerini geliştirebilmeleri ve bölgedeki nektar akımından etkin biçimde yararlanabilmeleri için varış zamanının ana nektar akımından yaklaşık 8–12 hafta öncesine denk gelecek şekilde planlanması önerilmektedir. Paketler ulaşmadan önce arılık alanı belirlenmeli; kovanlar, çerçeveler ve besleme ekipmanları kullanıma hazır hale getirilmelidir. Paketlerin arılığa ulaşmasının hemen ardından doğrudan kovanlara aktarılması yerine, kısa bir süre serin ve karanlık bir ortamda dinlendirilmeleri uygun görülmektedir. Nakliye sırasında besin yetersizliği yaşadığı düşünülen arılara, paketlerin tel yüzeylerinden 1:1 oranında hazırlanan şeker şurubu fırçalama veya püskürtme yoluyla verilebilir. Arılarda aşırı hareketlilik gözlenmesi durumunda ise aktarma öncesinde hafif miktarda su püskürtülerek uçuş aktiviteleri geçici olarak azaltılabilir (Kösoğlu ve Yücel, 2007). Koloninin yerleştirileceği kovanın önceden uygun şekilde düzenlenmesi de paket arıların adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır. Kovanın

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

merkezine ana arının kısa sürede yumurtlamaya başlayabilmesi için 3–4 adet kabartılmış petekli çerçeve yerleştirilebilir. Bunların iki tarafına daha önceki sezondan muhafaza edilmiş bal ve polen içeren çerçevelerin eklenmesi, yeni koloninin başlangıç dönemindeki besin gereksiniminin karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca koloni kendisini savunabilecek güce ulaşıncaya kadar kovan girişlerinin daraltılması önerilmektedir (Fıratlı ve ark, 2004). Aktarma işleminin serin havalarda veya günün ilerleyen saatlerinde yapılması, arıların yeni kovanlarına uyum sağlamaları açısından avantajlıdır. Akşam saatlerinde yerleştirilen arılar gece boyunca yeni yuvalarına alışabilmekte ve ertesi gün çevreyi tanıma uçuşlarına başlayabilmektedir. Böylece arıların şaşırarak farklı kovanlara yönelmesinden kaynaklanabilecek kayıplar azaltılabilir. Buna karşılık çok soğuk ve karlı hava koşullarında arıların koloni düzenini oluşturması güçleştiğinden paketlerin kovanlara aktarılması önerilmemektedir (Kaftanoğlu, 1994). Paket arıların kovana yerleştirilmesinde iki temel yöntemden yararlanılmaktadır. İlk yöntemde kovanın merkezindeki 3–4 çerçeve geçici olarak çıkarılmakta, paketteki yemlik alındıktan sonra işçi arılar yemlik açıklığından doğrudan kovan içerisine silkelenmektedir. Ardından ana arı kafesi açılarak ana arı işçi arı kümesinin üzerine bırakılmakta ve çıkarılan çerçeveler tekrar kovana yerleştirilmektedir. Diğer yöntemde ise yemlik çıkarıldıktan sonra ana arı paket içerisindeki işçi arıların arasına serbest bırakılmaktadır. Kovandan dört çerçeve alınarak yeterli boşluk oluşturulmakta, paketin tel yüzeylerinden biri açılmakta ve kutu doğrudan bu boşluğa yerleştirilmektedir. Arılar kendiliğinden kovana geçtikten sonra boş paket çıkarılarak çerçeveler eski konumlarına getirilmektedir. Bu aktarma yönteminin arı kayıpları üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı bildirilmektedir (Fıratlı ve ark, 2004).

7. Paket Arı Kolonilerinin Bakımı

Paket arıların kovana yerleştirilmesini izleyen dönemde yapılacak bakım ve kontroller, koloninin başarılı bir şekilde kurulması açısından önemlidir. Ana arının serbest kalmasından yaklaşık 3–4 gün sonra ilk koloni kontrolü yapılmalıdır. Peteklerde günlük yumurtaların görülmesi, ana arının işçi arılar tarafından kabul edildiğinin ve yumurtlamaya başladığının önemli bir göstergesidir. Ana arının bulunmadığı veya kaybedildiği belirlenirse koloniye gecikmeden yeni bir ana arı verilmelidir. Daha sonraki kontrollerde ana arı kaybıyla birlikte yalancı ana gelişimi belirlenmesi durumunda ise koloninin durumuna göre yeniden analandırılması veya güçlü bir koloniyle birleştirilmesi değerlendirilebilir. Yeni oluşturulan paket kolonilerin gelişme döneminde yeterli besin kaynağına ulaşması sağlanmalı ve kovan içerisindeki besin stokları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Gerektiğinde şeker şurubuyla

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

destekleme yapılmalıdır. Gelişme dönemindeki bir paket arı kolonisinin aylık şeker şurubu tüketiminin yaklaşık 10–15 kg düzeyine ulaşabileceği bildirilmektedir (Doğaroğlu, 1987; Öder, 1997; Kandemir, 2004). Paket arıların yerleştirilmesini takip eden ilk haftalarda populasyon büyüklüğünde geçici bir azalma görülmesi beklenen bir durumdur. Yaklaşık üçüncü haftada başlangıçtaki arı populasyonunun %35 kadar azalabildiği, daha sonra yeni işçi arıların çıkışıyla birlikte bu eğilimin tersine döndüğü bildirilmektedir. Yaklaşık dört haftanın sonunda paketi oluşturan başlangıç populasyonunun önemli ölçüde yenilenmesiyle koloni büyümesi hızlanmakta ve koloni normal gelişme sürecine girmektedir (Doğaroğlu, 1987; Öder, 1997; Kandemir, 2004).

8. Türkiye'de Paket Arıcılığın Uygulanabilirliği

Türkiye'nin bölgeleri arasında önemli farklılıklar gösteren iklim ve flora özellikleri, paket arıcılık sisteminin uygulanması açısından dikkate değer bir potansiyel oluşturmaktadır. Özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde arıcılık sezonunun erken başlaması ve kolonilerin ilkbahar döneminde hızlı gelişebilmesi, bu bölgeleri paket arı üretimi açısından avantajlı hale getirmektedir. Buna karşılık Kuzey, Kuzeydoğu ve Doğu Anadolu'da uzun ve sert geçen kışlar, kolonilerin kışlatılmasını güçleştirmekte; bakım, besleme ve koloni kayıplarına bağlı olarak işletme maliyetlerini artırabilmektedir. Bölgeler arasındaki bu iklimsel farklılıkların paket arıcılık sistemi içerisinde değerlendirilmesi, arı popülasyonunun üretim sezonuna göre bölgeler arasında planlı biçimde aktarılmasına olanak sağlayabilir. Ege ve Akdeniz bölgelerinde erken ilkbaharda geliştirilen güçlü kolonilerden elde edilen paket arılar, ana nektar akımından yeterli süre önce Kuzey ve Doğu Anadolu'daki arıcılık işletmelerine ulaştırılabilir. Böyle bir sistem, soğuk bölgelerde faaliyet gösteren işletmelerin kışlatmaya ilişkin bakım ve besleme giderleri ile koloni kayıplarını azaltırken, ılıman bölgelerdeki arıcılar için bal ve diğer arı ürünleri üretimine alternatif veya tamamlayıcı bir gelir kaynağı oluşturabilir. Paket arılar yalnızca yeni kolonilerin oluşturulmasında değil, mevcut kolonilerin güçlendirilmesinde de değerlendirilebilir. Özellikle ilkbaharda yeterli işçi arı popülasyonuna ulaşamayan kolonilere ana arısız paket arı verilmesi, kolonilerin yaklaşan nektar akımına daha güçlü bir populasyonla girmesine yardımcı olabilir. Ancak bu uygulamanın başarısı; kolonin mevcut gücü, paketteki arıların yaşı ve sağlık durumu, uygulama zamanı ve bölgenin nektar akım dönemi gibi faktörlere bağlı olarak değerlendirilmelidir. Paket arıcılığın geliştirilmesi, Türkiye'de yaygın olarak uygulanan gezginci arıcılığa farklı bir üretim alternatifi sunması bakımından da önem taşımaktadır. Ilıman bölgelerdeki işletmeler, yalnızca bal üretimi amacıyla sezon boyunca çok sayıda bölge değiştirmek yerine faaliyetlerinin bir bölümünü paket arı üretimine

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

yönlendirebilir. Benzer şekilde soğuk bölgelerdeki üreticiler de kolonilerini kışlatmak amacıyla daha sıcak bölgelere taşımak yerine, üretim sezonunun başlangıcında paket arı temin ederek kendi bölgelerindeki nektar kaynaklarından yararlanma olanağı bulabilir. Bu yönüyle paket arıcılık, uygun koşulların sağlanması halinde işletmelerin taşıma, bakım ve iş gücü gereksinimlerinin azaltılmasına katkıda bulunabilecek tamamlayıcı bir üretim modeli olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, paket arıların bölgeler arasında taşınması yalnızca ekonomik açıdan ele alınmamalıdır. Hastalık ve parazitlerin taşınması, farklı genetik kaynakların kontrolsüz biçimde bölgelere aktarılması ve yerel arı populasyonlarının genetik yapısının etkilenmesi gibi olası riskler dikkate alınmalıdır. Bu nedenle Türkiye'de geliştirilecek bir paket arıcılık modelinin, bölgesel arı genotiplerinin korunması, ana arı ve paket arıların sağlık kontrollerinin yapılması, izlenebilirliğin sağlanması ve sevkiyatların belirli standartlara bağlanması esaslarına dayandırılması önem taşımaktadır.

9. Sonuç ve öneriler

Paket arıcılık, farklı iklim bölgelerinin sahip olduğu üretim avantajlarının birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan alternatif bir arıcılık modelidir. Türkiye'nin iklimsel ve ekolojik çeşitliliği dikkate alındığında, özellikle erken ilkbaharda hızlı koloni gelişiminin gerçekleştiği Ege ve Akdeniz bölgeleri ile kışlama koşullarının daha güç olduğu Kuzey ve Doğu Anadolu bölgeleri arasında paket arı üretimi ve kullanımına dayalı bir sistemin geliştirilmesi mümkün görünmektedir. Böyle bir yaklaşım, uygun yönetim koşullarında soğuk bölgelerdeki kışlatma maliyetlerinin ve koloni kayıplarının azaltılmasına katkıda bulunurken, ılıman bölgelerdeki arıcılara yeni bir üretim ve gelir modeli sunabilir. Paket arıcılığın yaygınlaştırılması aynı zamanda koloni sayısını artırmak veya mevcut kolonilerini güçlendirmek isteyen işletmeler için farklı bir arı materyali temin yöntemi oluşturabilir. Bunun yanı sıra bölgesel koşullara uygun ana arı yetiştiriciliğinin geliştirilmesi, paket arı ve ana arı üretiminde uzmanlaşmış işletmelerin kurulması ve bu alanda yeni istihdam olanaklarının oluşturulması açısından da önemli fırsatlar bulunmaktadır. Sistem, doğru planlandığında gezginci arıcılığa olan bağımlılığın ve buna bağlı taşıma giderlerinin azaltılmasına da katkı sağlayabilir. Bununla birlikte paket arıcılığın Türkiye'de yaygınlaştırılması yalnızca ekonomik avantajları üzerinden değerlendirilmemelidir. Paket arılarla birlikte hastalık ve parazitlerin farklı bölgelere taşınması, ana arı kabul sorunları, kolonilerin gelişme performansındaki farklılıklar ve yerel bal arısı genetik kaynaklarının kontrolsüz gen akışından etkilenmesi sistemin önemli sınırlılıkları arasında yer almaktadır. Bu nedenle paket arı üretiminin sağlık kontrolleri yapılmış kolonilerden gerçekleştirilmesi, Varroa ve diğer hastalık etmenleri

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

bakımından düzenli denetimlerin yapılması, bölge koşullarına uygun ana arıların kullanılması ve üretimden sevkiyata kadar izlenebilirliğin sağlanması gerekmektedir. Türkiye'de paket arıcılığın doğrudan geniş ölçekli uygulamaya geçirilmesinden önce farklı bölgelerde pilot üretim modellerinin oluşturulması yararlı olacaktır. Bu çalışmalarda paketlerin üretim ve yerleştirme zamanı, uygun paket ağırlığı, ana arı kabul oranı, koloni gelişimi, bal verimi, kışlama başarısı, hastalık ve parazit düzeyleri ile üretim maliyetleri birlikte değerlendirilmelidir. Ayrıca geleneksel koloni yönetimi, bölme yoluyla koloni çoğaltma ve paket arı kullanımı gibi farklı sistemlerin biyolojik ve ekonomik açıdan karşılaştırılması, Türkiye koşullarına en uygun modelin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak paket arıcılık, uygun üretim standartları, sağlık kontrolleri ve bölgesel planlama ile desteklendiğinde Türkiye arıcılığının sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilecek alternatif bir üretim modeli olarak değerlendirilebilir. Sistemin başarılı biçimde geliştirilmesi ise arıcıların eğitimi, nitelikli ve bölgeye uygun ana arı üretimi, hastalık ve parazit kontrolü, genetik kaynakların korunması ve üniversiteler, kamu kurumları, arıcı örgütleri ve yetiştiriciler arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesini gerektirmektedir.

Kaynaklar

Bixby, M. E. F., Scarlett, R., & Hoover, S. (2023). Winter mortality, diversification, and self-sufficiency affect honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony profit in Canada: A model of commercial Alberta beekeepers. *Journal of Economic Entomology*, *116*, 686–696.

Doğaroğlu, M. (1987). Türkiye için ideal bir sistem: Paket arıcılığı. *Hasad Dergisi*, (23–24), 12–15.

Evans, K. C., Underwood, R., & López-Uribe, M. (2021). Combined effects of oxalic acid sublimation and brood breaks on *Varroa* mite (*Varroa destructor*) and deformed wing virus levels in newly established honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Journal of Apicultural Research, 61,* 197–205.

Findlay, J., Eborn, B., & Jones, W. (2015). Effects of colony creation method and beekeeper education on honeybee (*Apis mellifera*) mortality. *Journal of Extension*.

Fıratlı, Ç., Genç, F., Karacaoğlu, M., & Gençer, H. V. (2004). Türkiye arıcılığı karşılaştırmalı analiz sorunları-öneriler. *Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi*, 17–21 Ocak 2000, Ankara, 811–826.

Kaftanoğlu, O. (1994). Türkiye arıcılığının genel durumu ve paket arıcılığını uygulama olanakları. *Türkiye Ziraat Mühendisliği III. Teknik Kongresi*, 8–12 Ocak, Ankara, 52–53.

Kandemir, İ. (2004). Paket arıcılık ve paket arıcılığın kurulması. *Uludağ Arıcılık Dergisi, 4*(3), 100–103.

Kösoğlu, M., & Yücel, B. (2007). Ülkemiz için paket arıcılık sistemi. *Ulusal Zootekni Bilim Kongresi*, 5–8 Eylül, Van, 119.

Kumova, U., & Korkmaz, A. (1999). Paket arı üretim sistemi ve Türkiye arıcılığı açısından kullanılma olanakları. *Teknik Arıcılık Dergisi*, 63, 2–10.

Lait, C., Borden, J., Kovács, E., Moeri, O., Campbell, M., & Machial, C. M. (2012). Treatment with synthetic brood pheromone (SuperBoost) enhances honey production and improves overwintering survival of package honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies. 304–312.

Maucourt, S., Fournier, V., & Giovenazzo, P. (2018). Comparison of three methods to multiply honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Apidologie, 49*, 314–324.

Öder, E. (1997). *Uygulamalı ana arı yetiştiriciliği* (ss. 307–329). İstanbul.

Peyvel, C. (2002). Experience and use of package bees imported from overseas countries. *Apiacta*, (3), 1–4.

Punnett, E. (1986). *The feasibility of producing spring packages and nuclei of honey bees (Apis mellifera L.) in the Fraser Valley area of southwestern British Columbia*.

Tahirov, A., Huseynov, H., & Rustamli, Y. (2025). The impact of pack bees on honey production. *Bulletin of Science and Practice*.

Tarpy, D., Talley, E., & Metz, B. (2020). Influence of brood pheromone on honey bee colony establishment and queen replacement. *Journal of Apicultural Research, 60*, 220–228.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Withrow, J., Pettis, J., & Tarpy, D. (2019). Effects of temperature during package transportation on queen establishment and survival in honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, *112*(3), 1043–1049.

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
August 7 – 9, 2026 – IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SIĞIRLARDA BABESİOSİS HASTALIĞININ PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. NİHAT YUMUŞAK

Harran Üniversitesi,

nihatyumusak@harran.edu.tr - 0000-0002-9299-2902

ÖZET

Babesiosis, sığır, koyun ve keçiler başta olmak üzere birçok türde görülen, tüm dünyada ekonomik kayba neden olan ve bazen zoonoz olabilen, babesia türü protozoon parazitler tarafından oluşturulan bir hastalıktır. Özellikle genç ve bağışıklık sistemi zayıf sığırlarda karşılaşılır. Babesia bovis ve B. Bigemina sığırlarda en yaygın görülen parazit türleridir. Hastalık ixodes türü keneler tarafından sağlıklı hayvanlara bulaştırılır. Hastalığın karakteristik klinik bulgusu yüksek ateştir. Solunum sayısında artış, süt veriminde azalma, halsizlik en yaygın görülen diğer klinik bulgulardır. Hastalığın karakteristik makroskopik patolojik bulgusu ise hızla gelişen hemolitik anemi ve sarılık tablosudur. Ayrıca dalakta ve karaciğerde büyüme, karaciğerde konjesyon, safra kesesinde koyu kıvamlı safra içeriği ve böbreklerde konjesyon görülür. Şiddetli olgularda ise peteşi tarzında kanamalar görülebilir. Histolojik olarak özelikle karaciğer ve böbrekteki lezyonlar dikkati çeker. Karaciğerde şiddetli konjesyon ve yer yer kanama ve yangı hücrelerinden hücre birikimleri görülür. Safra kanalında ise hiperplazik değişiklikler görülür. Böbreklerde ise şiddetli konjesyon dikkati çeker. Damar ve tubul çevrelerinde yangısal hücre birikimleri görülür. Ayrıca tubullerde dejenerasyon vardır. Bu çalışmada ülkemizde de sığırlarda yaygın olarak görülen babesiosis hastalığının patomorfolojik değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Babesiosis, Sığır, Patoloji

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SIĞIRLARDA BABESİOSİS HASTALIĞININ PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

ETİYOLOJİ

Babeziosis, Babesia türü protozonlar tarafından oluşturulan parazitik bir hastalıktır. Sığırlarda başlıca hastalık yapan parazitler Babesia bovis, Babesia Bigemina ve Babesia Divergens türleridir. Hastalık sadece sığırlarda değil ayrıca koyun, keçi, domuz ve köpeklerde de görülür. Özellikle tropikal iklimin hakim olduğu bölgelerde hastalıkla daha sık karşılaşılır. Hastalık kenelerin kan emmeleri ile bulaşır. Ayrıca hastalık gebelik yoluyla da yavruya geçebilir (1-11).

KLİNİK BULGULARI

Klinik olarak, etkenin yapmış olduğu hemolize bağlı şiddetli anemi tablosu görülür. İlerlemiş olgularda oluşan anemi sonucu hasta hayvanlarda ölüm şekillenebilir Ayrıca mukozalarda ve iç organlarda sarılık belirgindir. Yüksek ateş, solunum sayısında artış, halsizlik, iştahsızlık ve süt veriminde azalma diğer klinik bulgulardır. İdrar koyu renkte olup hemoglobinüri vardır. İleri gebe hayvanlarda abort şekillenebilir (12-17).

MAKROSKOPİK BULGULAR

Kadavrada şiddetli sarılık ve hemolitik anemi tablosu görülür. Karaciğerde büyüme, konjesyon, ve safra kesesinde koyu kıvamlı safra içeriği görülür. Dalak büyümüş ve frajildir. Böbrekler ise konjesyone görünümde ve koyu renktedir. Akciğerler ödemlidir. Şiddetli olgularda ise kalp kasında peteşiyal kanamalar görülebilir (8-20).

MİKROSKOBİK BULGULAR

Histolojik olarak özelikle karaciğer ve böbrekteki lezyonlar dikkati çeker. Karaciğerde şiddetli konjesyon, kanama ve makrofajlardan oluşan yangısal hücre birikimleri görülür. Safra kanalında ise hiperplazik değişiklikler görülür. Böbreklerde ise şiddetli konjesyon dikkati çeker. böbrekte damar ve tubul çevrelerinde yangısal hücre birikimleri görülür. Ayrıca tubullerde dejenerasyon vardır (8-20).

TANI

Hastalıkta tanı klinik bulgular ve kan frotilerinde etkene ait yapıların görülmesi ile yapılabilir. Ayrıca serolojik testler ve moleküler yöntemler de kullanılır (19-23).

KORUMA VE TEDAVİ

Hastalıktan korunma amacıyla kene mücadelesine önem verilmelidir. Bazı ülkelerde hastalığa yönelik aşılama yapılmaktadır. Günümüzde hastalığın tedavisinde diminazen aseturat ve imidokarb türevi ilaçlar tercih edilir. Ayrıca sıvı tedavisi, antibiotik ve kortikositeroidler ile tedavi desteklenmelidir (1-10, 20-25).

KAYNAKÇA

[1] Bock R, Jackson L, de Vos A, et al. Babesiosis of cattle. Parasitology, 129, 2004.
[2] Gray JS, Estrada-Peña A, Zintl A. Vectors of babesiosis. Annu Rev Entomol, 64, 2019.

[3] Wodaje, A., Adudna, B., Hamid, M. A Review on Bovine Babesiosis. – Int. J. Adv. Res. Biol. Sci 6, 1, 2019.
[4] Young KM, Corrin T, Wilhelm B, et al. Zoonotic Babesia: A scoping review of the global evidence. PLoS One, 14, 1, 2019.
[5] Solano-Gallego L, Sainz Á, Roura X, et al. A review of canine babesiosis: the European perspective. Parasit Vectors, 9, 1, 2016.
[6] Guswanto, A., Allamanda P., Mariamah, E. S. et al. Molecular and Serological Detection of Bovine Babesiosis in Indonesia. – Parasites & Vectors, 10, 1, 2017
[7] Mahmmod, Y. Natural Babesia Bovis Infection in Water Buffaloes (Bubalus Bubalis) and Crossbred Cattle under Field Conditions in Egypt: A Preliminary Study. – Journal of Arthropod-Borne Diseases 8, 1, 2014.
[8] Allsopp MT, Allsopp BA. Molecular sequence evidence for the reclassification of some Babesia species. Ann N Y Acad Sci. 1081, 2006.
[9] Arisue N., Hashimoto T. Phylogeny and evolution of apicoplasts and apicomplexan parasites. Parasitol. Int. 64, 2015.
[10] Almazán, C., Scimeca, R. C., Reichard, M. V., Mosqueda, J. Babesiosis and Theileriosis in North America. – Pathogens, 11, 2, 2022.
[11] Terkawi, M.A., Alhasan, H., Huyen, N.X., Sabagh, A., Awier, K., Cao, S., Goo, Y.-K., Aboge, G., Yokoyama, N., Nishikawa, Y. Molecular and serological prevalence of Babesia bovis and Babesia bigemina in cattle from central region of Syria. Vet. Parasitol. 187, 2012.
[12] Sivakumar T., Tuvshintulga B., Zhyldyz A., Kothalawala H., Yapa P.R., Kanagaratnam R., Vimalakumar S.C., Abeysekera T.S., Weerasingha A.S., Yamagishi J., Igarashi I., Silva S.S.P. & Yokoyama N. Genetic analysis of Babesia isolates from cattle with clinical babesiosis in Sri Lanka. J. Clin. Microbiol., 56, 2018.
[13] Masih, A., Azhar, R., Siddique et al. Babesia Bovis in Large Ruminants in PakistanMolecular Detection and Haemato-Biochemical Alterations. – Acta Scientiae Veterinariae 50, 2022.
[14] Suarez, C. E., Alzan, H. F., Silva, M. G., Rathinasamy, V., Poole, W. A., & Cooke, B. M. Unravelling the cellular and molecular pathogenesis of bovine babesiosis: is the sky the limit?. *International journal for parasitology*, *49*, 2, 2019.
[15] Adjou Moumouni PF, Aboge GO, Terkawi MA, Masatani T, Cao S, et al. Molecular detection and characterization of Babesia bovis, Babesia bigemina, Theileria species and Anaplasma marginale isolated from cattle in Kenya. Parasit Vectors., 8, 2015.
[16] Henning, A., Clift, S. C., Leisewitz, A. L. The Pathology of the Spleen in Lethal Canine Babesiosis Caused by Babesia Rossi. – Parasite Immunology 42, 5, 2020.
[17] Alsulami, M. Histopathological and biochemical analysis of selected organs of cattle infected with bovine babesiosis. *Applied Ecology & Environmental Research*, *23*, 2, 2025.
[18] Schneider, D. A., Yan, H., Bastos, R. G., Johnson, W. C., Gavin, P. R., Allen, A. J., Barrington, G. M., Hermann-Hoesing, L. M., Knowles, D. P., Goff, W. L. Dynamics of Bovine Spleen Cell Populations during the Acute Response to Babesia Bovis Infection: An Immunohistological Study. – Parasite Immunology 33, 1, 2011.

[19] Sharma, A., Das Singla, L., Ashuma, Batth, B. K., Kaur, P. ClinicopathoBiochemical Alterations Associated with Subclinical Babesiosis in Dairy Animals. – Journal of Arthropod-borne Diseases 10, 2, 2016.
[20] Nasreldin, N., Ewida, R. M., Hamdon, H., Elnaker, Y. F. Molecular Diagnosis and Biochemical Studies of Tick-Borne Diseases (Anaplasmosis and Babesiosis) in Aberdeen Angus Cattle in New Valley, Egypt. – Veterinary World 13, 9, 2020.
[21] Abdalla, A. H., Fangama, M. I. M., Suliman, S. E., Abdedalla, A. M. Study of Some Hematological and Biochemical Parameters of Babesiosis in Sheep In Shikan Locality–North Kordufan State–Sudan. – International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9, 8, 2021.
[22] Alvarez, J. A., Rojas, C., Figueroa, J. V. Diagnostic Tools for the Identification of Babesia Sp. in Persistently Infected Cattle. – Pathogens 8, 3, 2019.
[23] Lempereur L, Beck R, Fonseca I, et al. Guidelines for the detection of Babesia and Theileria parasites. Vector Borne Zoonotic Dis 17, 1, 2017.
[24] Sharma, M., Sindhu, N., Kumar, T., Jain, V. K. (2020): Diagnosis and Therapeutic Management of Babesiosis in a Murrah Buffalo. – Intas Polivet 21, 1, 2020.
[25] Hashem, M., Neamat-Allah, A. N., Gheith, M. A. (2018): A Study on Bovine Babesiosis and Treatment with Reference to Hematobiochemical and Molecular Diagnosis. – Slovenian Veterinary Research 55, 20, 2018.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KÜÇÜK RUMİNANTLARDA EKTİMA HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR

Dr. NİHAT YUMUŞAK

Harran Üniversitesi,

nihatyumusak@harran.edu.tr - 0000-0002-9299-2902

ÖZET

Ektima ya da bulaşıcı pustuler dermatitis, özellikle genç koyun ve keçilerin ağız çevresinde, göz kapaklarında ve burunlarında hiperkeratozla karakterize lezyonlara neden olan oldukça bulaşıcı bir hastalıktır. Yetişkin hayvanlarda ise meme derisinde benzer lezyonlara neden olur. Enfekte hayvanların etini tüketen insanlarda da hastalık bildirilmiştir. Hastalık etkeni Parapoxvirus ailesinden Orf Virustur. Etken dış şartlara oldukça dirençlidir. Bu nedenle hastalığın bulaşması kontamine teçhizat ve bakıcılar aracılığıyla olabilmektedir. Klinik olarak hasta hayvanlarda yüksek ateş, iştahsızlık ve solunum güçlüğü görülür. Makroskobik olarak ise, hasta hayvanların özellikle ağız çevresinde, göz kapaklarında, burun deliklerinde ve burun çevresinde, şiddetli olgularda ise bacaklarda ve meme derisinde yerleşim gösteren proliferatif tarzda püstüler lezyonlar görülür. Bu lezyonların çoğu nekrotik manzaradadır. Histolojik olarak, lezyonlu bölgelerden hazırlanan preparatlarda epitelde şiddetli hiperplazi görülür. Epitelin üzerinde yoğun hiperkeratozis vardır. Bu alanlarda şiddetli nekroz ve yangısal hücre birimleri görülür. Ayrıca epitel hücre sitoplazmalarında eosinofilik inklüzyon cisimcikleri vardır. Bu çalışmada ülkemizde de küçük baş hayvanlarda yaygın olarak görülen ektima hastalığının patomorfolojik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ektima, Koyun, Keçi, Patoloji

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KÜÇÜK RUMİNANTLARDA EKTİMA HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR

1. ETİYOLOJİ

Ektima, Orf veya bulaşıcı püstüler dermatit olarak adlandırılan, dünya genelinde evcil ve yabani küçük ruminantlarda ekonomik kayıplara neden olan viral hastalıktır. Hastalık etkeni, Poxviridae ailesinden epitelyotropik bir virüs olan Orf virüsüdür. Hastalık hemen her yaştaki koyun ve keçilerde görülse de genç kuzu ve oğlaklar daha çok etkilenirler ve daha şiddetli seyreder. Viral bulaşma esas olarak enfekte hayvanlarla temas yoluyla veya kontamine ekipman, yemlikler ve yataklıklar yoluyla gerçekleşir (1-8).

2. KLİNİK BULGULAR

Hasta hayvanlarda belirgin yüksek ateş, iştahsızlık ve solunum güçlüğü vardır. Hayvanların başta durun ve ağız çevresinde olmak üzere, diş eti, burun delikleri, göz kapakları, kulaklar ve meme uçlarında hızla gelişen vezikül, püstül, ülser ve proliferatif kabuklara dönüşen eritemli papüller gelişir. Genç hayvanlardaki ağız lezyonları süt emmeyi ve beslenmeyi engelleyerek hayvanların zayıflamasına ve bakteriyel enfeksiyonlara yatkın hale getirir (3, 5-11).

3. MAKROSKOBİK BULGULAR

Ektimada lezyonların görünümü, enfeksiyonun evresine, anatomik konuma, konakçı bağışıklığına ve sekonder bakteriyel enfeksiyonların varlığına göre değişikliklere gösterebilir. Lezyonlar genellikle ağız çevresine yakın bölgelerde başlar ve burun, burun delikleri ve diş etine yayılır. Hastalığın başlangıcında lezyonlar küçük eritematöz maküller şeklinde olup papüller aşamaya dönüşür. Hastalığın ilerlemesi ile lezyonlar, yangısal reaksiyonlar ve ödemle birlikte epidermal hiperplaziye dönüşerek kabarcıklar şeklini alır. Daha sonra yangının şiddetiyle lezyonlar eroziv, ülseratif püstüller bir forma dönüşür. Son olarak iyileşen bu lezyonların üzerinde sarımsı kahverenginde kabuklanmalar oluşur. Bazen lezyonlarda nekroz ve kanmaya bağlı olarak bu kabuklanmaların siyah bir yapı aldığı görülür (1-5, 9-13).

4. MİKROSKOBİK BULGULAR

Histopatolojik olarak enfekte deride şiddetli proliferatif, dejeneratif ve yangısal değişikliklerle karşılaşılır. Epidermiste hiperkeratoz belirgin olup parakeratotik keratin birikimleri vardır. Epidermiste şiddetli ve akantozis yapan epidermal hiperplazi görülür. Özellikle stratum spinosumda multifokal spongiozise ait hücresel değişikler görülür. Bu hücrelerde belirgin hücre içi ödem ve solgun sitoplazma mevcuttur. Hastalık için tanımlayıcı patolojik bulgu ise stratum spinosumdaki hücre sitoplazmalarında eozinofilik intrasitoplazmik inklüzyon cisimciklerinin varlığıdır. Ayrıca epidermis ve dermite geniş alanlar şeklinde nekroz, konjesyon, ödem, kanama ile birlikte makrofaj, lenfosit ve nötrofillerden oluşan hücre birikimleri görülür (1-5, 9-13).

5. TEDAVİ

Ektima hastalığı için özel bir tedavi yöntemi yoktur. Çoğunlukla sekonder enfeksiyonlar oluşmayan vakalarda destekleyici tedavilerle hastalık kendiliğinden iyileşir ve lezyonlar ortadan kalkar. Özellikle genç hayvanlarda iyi besleme, sıvı takviyeleri ve sekonder bakteriyel enfeksiyonların önüne geçmek amacıyla antibiyotik tedavi uygulanmalıdır (14-16).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KAYNAKÇA

[1] da Costa RA, Cargnelutti JF, Schild CO, Flores EF, Riet-Correa F, Giannitti F. Outbreak of contagious ecthyma caused by orf virus (Parapoxvirus ovis) in a vaccinated sheep flock in Uruguay. Braz J Microbiol. 50, 2, 2019.

[2] de Oliveira CH, Assis FL, Neto JD, Oliveira CM, Lopes CT, Bomjardim Hdos A, Vinhote WM, Silva AG, Abrahão JS, Kroon EG. Multifocal cutaneous orf virus infection in goats in the Amazon region, Brazil. Vector Borne Zoonotic Dis. 12, 4, 2012.

[3] Spyrou, V., and G. Valiakos. "Orf virus infection in sheep or goats." Veterinary microbiology 181, 1-2, 2015.

[4] Büttner, Mathias, and H-J. RZIHA. "Parapoxviruses: from the lesion to the viral genome." Journal of Veterinary Medicine, Series B 49, 1, 2002.

[5] Konig GA, Peralta A. Contagious ecthyma in sheep and goats. In: Winter AL, Moses MA, editors. The Merck veterinary manual.Rathway, NJ: Merck and Co; 2023.

[6] Reichen C, Beirão BCB, Monteiro ALG. Contagious ecthyma in small ruminants: from etiology to vaccine challenges—a review. Vet Res Commun. 49, 2025.

[7] Small E, Cresswell E, Lovatt F, et al. Do UK sheep farmers use orf vaccine correctly and could their vaccination strategy affect vaccine efficacy?Vet Rec. 185, 10, 2019.

[8] Abu Ghazaleh R, Al-Sawalhe M, Abu Odeh I, El Ibrahim J, AlTurman B, Makhamreh J. Host range, severity and transboundary transmission of orf virus (ORFV). Infect Genet Evol. 112, 2023.

[9] Nandi, S., Ujjwal K. De, and Sumit Chowdhury. "Current status of contagious ecthyma or orf disease in goat and sheep—A global perspective." Small ruminant research 96, 2-3, 2011.

[10] Guo, J., et al. "Characterization of a North American orf virus isolated from a goat with persistent, proliferative dermatitis." Virus research 93,2, 2003.

[11] De La Concha-Bermejillo, A., et al. "Severe persistent orf in young goats." Journal of veterinary diagnostic investigation 15, 5, 2003.

[12] McElroy, Máire C., and Hugh F. Bassett. "The development of oral lesions in lambs naturally infected with orf virus." The Veterinary Journal 174, 3, 2007.

[13] Billinis, Charalambos, et al. "Phylogenetic analysis of strains of Orf virus isolated from two outbreaks of the disease in sheep in Greece." Virology journal 9, 1, 2012.

[14] Ortín, Aurora, et al. "The Treatment of Contagious Ecthyma in Lambs with a Local Anaesthetic/Antiseptic Wound Formulation Lowers Serum Amyloid A Responses." Animals 16, 1, 2025.

[15] Delano, Margaret L., Scott A. Mischler, and Wendy J. Underwood. "Biology and diseases of ruminants: sheep, goats, and cattle." Laboratory animal medicine, 519, 2007.

[16] Underwood, Wendy J., et al. "Biology and diseases of ruminants (sheep, goats, and cattle)." Laboratory animal medicine. Academic Press, 2015.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ALG KAYNAKLI İMMÜNOSTİMÜLANLARIN BALIK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

Doç. Dr. ŞAMİL ÖZTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversites, samilozturk16@hotmail.com – 0000-0002-9435-8139

ÖZET

Akuakültür sektörünün hızla büyümesi, yoğun yetiştiricilik koşullarına bağlı olarak enfeksiyon hastalıklarının artmasına ve buna bağlı ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Antibiyotik kullanımının oluşturduğu direnç gelişimi ve çevresel riskler nedeniyle sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Bu kapsamda alg kaynaklı immünostimülanlar, balık sağlığını destekleyen doğal ve çevre dostu biyolojik ajanlar olarak dikkat çekmektedir. Mikroalgler ve makroalgler; polisakkaritler, karotenoidler, fenolik bileşikler, peptitler ve çeşitli biyoaktif metabolitler bakımından zengin olup, balıkların bağışıklık sistemini güçlendirme potansiyeline sahiptir. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, alg bazlı yem katkılarının büyüme performansı, yem değerlendirme oranı ve hayatta kalma oranı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle levrek, çipura, alabalık, sazan ve karides gibi ekonomik öneme sahip türlerde yapılan araştırmalar, alg kaynaklı biyoaktif bileşiklerin bağışıklık parametrelerini iyileştirdiğini ve hastalık direncini artırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, farklı alg türlerinin etkinliklerinin değişkenlik göstermesi, optimum dozların belirlenmesi ve uzun dönem uygulamaların değerlendirilmesi gerekliliği bu alandaki önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Sonuç olarak alg kaynaklı immünostimülanlar, akuakültürde antibiyotik kullanımını azaltma, balık sağlığını iyileştirme ve sürdürülebilir üretim sistemlerini destekleme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, yeni biyoaktif bileşiklerin keşfi, etki mekanizmalarının aydınlatılması ve ticari uygulamaların geliştirilmesine odaklanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akuakültür, balık sağlığı, bağışıklık sistemi, mikroalgler, makroalgler.

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, dünya nüfusunun artan hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında stratejik öneme sahip sektörlerden biridir. Ancak yetiştiricilik faaliyetlerinin yoğunlaşması, balıkların çevresel stres faktörlerine daha fazla maruz kalmasına ve buna bağlı olarak enfeksiyon hastalıklarının görülme sıklığının artmasına neden olmaktadır. Geçmişte bu hastalıkların kontrolünde yaygın olarak kullanılan antibiyotikler, dirençli bakteri suşlarının gelişmesi, çevresel kirlilik ve gıda güvenliği açısından oluşturduğu riskler nedeniyle yerini daha sürdürülebilir alternatiflere bırakmaktadır. Bu alternatiflerin başında mikroalg ve makroalglerden elde edilen doğal immünostimülanlar gelmektedir. Alglerde bulunan sülfatlanmış polisakkaritler, β-glukanlar, karotenoidler, fenolik bileşikler, vitaminler ve çoklu

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

doymamış yağ asitleri, balıkların bağışıklık sistemini güçlendirerek hastalıklara karşı dirençlerini artırmaktadır. Ayrıca bu bileşikler büyüme performansını desteklemekte, antioksidan savunmayı güçlendirmekte ve stres toleransını artırmaktadır (Shalaby ve ark., 2020;, Van Hai, 2015). Son yıllarda dünya genelinde akuakültür üretimi hızla artış göstermiş ve balık yetiştiriciliği, küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli bir üretim alanı hâline gelmiştir. Bununla birlikte yetiştiricilik yoğunluğunun artması, su kalitesindeki değişimler, sıcaklık dalgalanmaları, yüksek stok yoğunluğu ve taşıma işlemleri gibi stres faktörleri balıkların bağışıklık sistemini olumsuz etkileyerek enfeksiyon hastalıklarının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum hem ekonomik kayıpları artırmakta hem de sürdürülebilir üretimi tehdit etmektedir. Akuakültürde uzun yıllardır bakteriyel hastalıkların kontrolünde antibiyotiklerden yararlanılmıştır. Ancak antibiyotiklerin bilinçsiz ve yoğun kullanımı sonucunda dirençli mikroorganizmaların ortaya çıkması, çevrede antibiyotik kalıntılarının birikmesi ve insan sağlığı açısından oluşturduğu riskler nedeniyle alternatif yaklaşımların geliştirilmesi zorunlu hâle gelmiştir (Wang ve ark., 2019). Bu kapsamda doğal kökenli immünostimülanlar, balıkların doğal bağışıklık sistemini güçlendirerek hastalıklara karşı direnç kazandırmaları nedeniyle büyük önem kazanmıştır. Algler, içerdikleri zengin biyolojik aktif bileşikler sayesinde akuakültürde kullanılan en önemli doğal immünostimülan kaynaklarından biridir. Mikroalgler ve makroalgler; polisakkaritler, karotenoid pigmentler, fenolik bileşikler, vitaminler, mineraller ve omega-3 yağ asitleri bakımından oldukça zengin organizmalardır. Bu bileşenler yalnızca bağışıklık sistemini desteklemekle kalmamakta, aynı zamanda antioksidan savunmayı güçlendirmekte, büyüme performansını artırmakta ve çevresel streslere karşı toleransı yükseltmektedir. (Yousefi ve ark., 2021; Zuo ve ark., 2023).

2. BALIKLARDA BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

Balıkların bağışıklık sistemi, doğuştan (innate) ve kazanılmış (adaptif) bağışıklık olmak üzere iki temel mekanizmadan oluşmaktadır. Doğuştan bağışıklık sistemi, patojenlere karşı ilk savunma hattını oluşturmakta ve oldukça hızlı yanıt vermektedir. Bu sistem içerisinde makrofajlar, nötrofiller, doğal öldürücü hücreler, kompleman sistemi, lizozim enzimi ve fagositoz mekanizması yer almaktadır (Esteban, 2012). Özellikle makrofajların gerçekleştirdiği fagositoz ve oksidatif patlama reaksiyonları, patojen mikroorganizmaların kısa sürede etkisiz hâle getirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Kazanılmış bağışıklık sistemi ise antijenlere özgü yanıt oluşturan B ve T lenfositlerini kapsamaktadır. Bu sistem antikor üretimi ve immün hafızanın gelişmesini sağlayarak aynı patojenle tekrar karşılaşıldığında daha hızlı ve etkili bir bağışıklık yanıtı oluşturur. Ancak balıklarda adaptif bağışıklığın gelişmesi memelilere kıyasla daha yavaş gerçekleştiğinden, doğal bağışıklık mekanizmalarının güçlendirilmesi hastalıklarla mücadelede büyük önem taşımaktadır. Alg kaynaklı immünostimülanlar özellikle doğuştan gelen bağışıklık sistemini aktive ederek balıkların enfeksiyonlara karşı ilk savunmasını önemli ölçüde artırmaktadır (Lieke ve ark., 2020; Ringo ve ark., 2018).

3. ALGLERDE BULUNAN İMMÜNOSTİMÜLAN BİLEŞİKLER

Algler çok sayıda biyolojik aktif metabolit sentezlemekte olup bu bileşiklerin önemli bir kısmı bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etkilere sahiptir. Özellikle kahverengi, kırmızı ve yeşil alglerden elde edilen sülfatlanmış polisakkaritler akuakültürde en fazla araştırılan doğal immünostimülan bileşikler arasında yer almaktadır. Fucoidan, laminarin, ulvan, agar ve

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

carrageenan gibi polisakkaritler makrofaj aktivitesini artırmakta, fagositik hücreleri uyarmakta ve sitokin üretimini desteklemektedir. Böylece balıkların bakteriyel ve viral enfeksiyonlara karşı doğal savunma kapasitesi önemli ölçüde yükselmektedir. Alglerde bulunan β-glukanlar da bağışıklık sisteminin uyarılmasında önemli rol oynayan polisakkaritlerdir. Bu bileşikler özellikle lizozim aktivitesini artırmakta, kompleman sistemini aktive etmekte ve fagositik hücrelerin etkinliğini güçlendirmektedir. β-glukanların düzenli olarak yem katkısı şeklinde kullanılması sonucunda balıklarda enfeksiyonlara karşı daha güçlü bir bağışıklık yanıtı geliştiği birçok araştırmada gösterilmiştir. Karotenoid pigmentler, özellikle astaksantin, β-karoten, lutein ve zeaksantin, güçlü antioksidan özellikleri sayesinde bağışıklık sistemini destekleyen önemli bileşiklerdir. Astaksantin hücre zarlarını serbest radikal hasarına karşı korurken inflamatuvar süreçlerin dengelenmesine katkı sağlamakta ve bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını iyileştirmektedir. Bunun yanında alglerde bulunan fenolik bileşikler serbest radikallerin uzaklaştırılmasını sağlayarak oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunmakta ve bağışıklık sistemiyle ilişkili genlerin düzenlenmesinde görev almaktadır. Alglerin içerdiği vitaminler ve omega-3 yağ asitleri de bağışıklık sisteminin sağlıklı çalışmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle C ve E vitaminleri güçlü antioksidan özellik gösterirken DHA ve EPA gibi uzun zincirli omega-3 yağ asitleri hücre zarının bütünlüğünü koruyarak inflamasyonun kontrol edilmesine katkı sağlamaktadır.

4. AKUAKÜLTÜRDE KULLANILAN ALG TÜRLERİ

Akuakültürde immünostimülan amaçlı kullanılan alg türleri hem mikroalgleri hem de makroalgleri kapsamaktadır. En yaygın kullanılan mikroalglerden biri olan *Spirulina platensis*, yüksek protein içeriği, fikosiyanin pigmenti ve β-karoten sayesinde balıklarda büyüme performansını artırırken bağışıklık sistemini de güçlendirmektedir. Benzer şekilde *Chlorella vulgaris*, içerdiği polisakkaritler, vitaminler ve klorofil sayesinde fagositik aktiviteyi artırmakta ve antioksidan savunmayı desteklemektedir. Makroalgler arasında yer alan *Laminaria japonica* ve *Ascophyllum nodosum*, fucoidan ve laminarin bakımından oldukça zengin olup özellikle doğal bağışıklık sisteminin aktivasyonunda etkili bileşikler içermektedir. *Ulva lactuca* ise ulvan adı verilen sülfatlanmış polisakkarit açısından zengin olup lizozim aktivitesini ve fagositozu artırmaktadır. Astaksantin üretiminde önemli bir mikroalg olan *Haematococcus p*luvialis ise güçlü antioksidan kapasitesi sayesinde balıkların oksidatif strese karşı korunmasına katkı sağlamaktadır (Ahmad ve ark., 2011; Araujo ve ark., 2021).

5. ALGLERİN BALIK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ VE MOLEKÜLER ETKİ MEKANİZMALARI

Alg kaynaklı immünostimülanların balık sağlığı üzerindeki olumlu etkileri çok sayıda deneysel çalışma ile ortaya konmuştur. Alg katkılı yemlerle beslenen balıklarda lizozim aktivitesinin arttığı, fagositik hücrelerin daha etkin çalıştığı ve kompleman sisteminin güçlendiği belirlenmiştir. Bunun yanında serum immünoglobulin düzeylerinin yükseldiği ve antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı bildirilmektedir. Alg ekstraktları aynı zamanda oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunarak karaciğer ve diğer dokuların korunmasını sağlamaktadır (Banarjee ve ark., 2022; Carbone ve ark., 2023). Özellikle yoğun yetiştiricilik koşullarında görülen çevresel stres faktörlerine karşı balıkların toleransını artırdığı ve büyüme performansını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir. Çeşitli araştırmalarda *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio*

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

türleri ve *Edwardsiella tarda* gibi önemli balık patojenleri ile yapılan enfeksiyon denemelerinde alg katkılı yem tüketen balıklarda ölüm oranlarının anlamlı düzeyde azaldığı rapor edilmiştir. Son yıllarda moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler, alg kaynaklı immünostimülanların yalnızca hücresel bağışıklık mekanizmalarını değil, aynı zamanda bağışıklık sistemi ile ilişkili genlerin ekspresyonunu da düzenlediğini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalar, fucoidan ve diğer alg polisakkaritlerinin Toll-benzeri reseptörler (TLR'ler) üzerinden sinyal iletim yollarını aktive ettiğini ve bunun sonucunda NF-κB gibi transkripsiyon faktörlerinin uyarıldığını göstermektedir. Bu süreç; IL-1β, TNF-α, IL-8 ve IFN-γ gibi sitokinlerin üretimini artırarak enfeksiyonlara karşı daha güçlü ve hızlı bir bağışıklık yanıtı oluşmasını sağlamaktadır (Citas ve ark., 2024; Dawood ve ark., 2016; Dawood ve ark., 2018).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akuakültür sektörünün hızla gelişmesiyle birlikte balık yetiştiriciliğinde karşılaşılan enfeksiyon hastalıkları, üretim verimliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliği olumsuz etkileyen en önemli sorunlardan biri hâline gelmiştir. Geleneksel olarak hastalıkların kontrolünde kullanılan antibiyotiklerin aşırı ve bilinçsiz kullanımı, antibiyotik direncinin yaygınlaşması, çevresel kirlilik ve su ürünlerinde kalıntı oluşumu gibi önemli problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle çevre dostu, güvenilir ve sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesi günümüz akuakültür araştırmalarının temel hedeflerinden biri olmuştur. Alg kaynaklı immünostimülanlar, doğal yapıları, biyolojik etkinlikleri ve geniş biyoteknolojik kullanım potansiyelleri sayesinde bu alternatifler arasında öne çıkmaktadır. Mikroalg ve makroalglerden elde edilen fucoidan, laminarin, ulvan, β-glukanlar, karotenoidler, fenolik bileşikler, vitaminler ve omega-3 yağ asitleri gibi biyoaktif bileşenler, balıkların hem doğuştan gelen hem de adaptif bağışıklık sistemini destekleyerek hastalıklara karşı dirençlerinin artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bileşikler yalnızca bağışıklık hücrelerinin aktivitesini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda antioksidan savunma sistemini güçlendirmekte, oksidatif stresi azaltmakta, inflamatuvar süreçleri düzenlemekte ve bağışıklıkla ilişkili genlerin ekspresyonunu etkileyerek daha etkili bir immün yanıt oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bunun sonucunda enfeksiyonlara bağlı mortalite oranları azalmakta, büyüme performansı ve yemden yararlanma oranı iyileşmekte, balıkların çevresel stres koşullarına uyumu artmaktadır. Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Laminaria japonica*, *Ulva lactuca* ve *Ascophyllum nodosum* gibi alg türlerinin farklı balık türlerinde bağışıklık parametrelerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle lizozim aktivitesi, fagositik aktivite, kompleman sistemi, serum immünoglobulin düzeyleri ve antioksidan enzim aktivitelerinde gözlenen artışlar, alg katkılı yemlerin balık sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini açıkça göstermektedir. Ayrıca bakteriyel, viral ve paraziter enfeksiyonlara karşı daha yüksek direnç sağlanması, bu doğal ürünlerin akuakültürde koruyucu sağlık yönetiminin önemli bir parçası olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, alg kaynaklı immünostimülanların etkinliği kullanılan alg türüne, ekstraksiyon yöntemine, biyolojik aktif bileşenlerin konsantrasyonuna, uygulama süresine, balık türüne ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı alg türlerinin biyolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesine, optimum uygulama dozlarının standardize edilmesine ve uzun süreli kullanımın fizyolojik etkilerinin ortaya konulmasına

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

odaklanması gerekmektedir. Ayrıca genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik gibi ileri moleküler yaklaşımların kullanılması, alg bileşiklerinin bağışıklık sistemi üzerindeki etki mekanizmalarının daha ayrıntılı anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Önümüzdeki yıllarda alg biyoteknolojisi, nanoteknoloji ve yem teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde alg kökenli immünostimülanların biyoyararlanımının artırılması, kontrollü salım sistemlerinin geliştirilmesi ve türlere özgü fonksiyonel yem katkılarının üretilmesi mümkün olacaktır. Bu gelişmeler, yalnızca balık sağlığının korunmasına değil, aynı zamanda antibiyotik kullanımının azaltılmasına, çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine ve tüketicilere daha güvenli su ürünleri sunulmasına da önemli katkılar sağlayacaktır. Sonuç olarak, alg kaynaklı immünostimülanlar; doğal, güvenilir, çevre dostu ve yüksek biyolojik aktiviteye sahip yem katkıları olarak sürdürülebilir akuakültür uygulamalarında önemli bir potansiyele sahiptir. Mevcut bilimsel bulgular, bu biyoaktif bileşiklerin balıkların bağışıklık sistemini güçlendirdiğini, hastalıklara karşı dirençlerini artırdığını ve üretim performansını iyileştirdiğini açıkça göstermektedir. Gelecekte gerçekleştirilecek disiplinler arası araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar ile alg temelli immünostimülanların ticari kullanım alanlarının daha da genişlemesi ve sürdürülebilir balık yetiştiriciliğinde temel biyoteknolojik çözümlerden biri hâline gelmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmad, M. T., Shariff, M., Yusoff, F. M., Goh, Y. M., & Banerjee, S. (2011). Applications of microalgae in aquaculture. Reviews in Aquaculture, 3(4), 206-218.

Araújo, M., Ribeiro, L., Azevedo, I. C., & Costas, B. (2021). Functional feeds in aquaculture: Current knowledge and future perspectives. Reviews in Aquaculture, 13(4), 1977-2004.

Banerjee, G., Ray, A. K., & Das, S. K. (2022). Microalgae as sustainable ingredients in aquafeeds: Nutritional and functional perspectives. Aquaculture International, 30(6), 2759-2785.

Carbone, D., Faggio, C., & Fazio, F. (2023). Seaweed-derived bioactive compounds as immunostimulants in aquaculture: Recent advances and future prospects. Aquaculture Reports, 31, 101648.

Citas, L., Peixoto, D., Valente, L. M. P., & Costas, B. (2024). Functional feed additives for sustainable aquaculture: Current trends and future directions. Reviews in Aquaculture, 16(1), 215-240.

Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2016). Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: A review. Aquaculture, 454, 243-251.

Dawood, M. A. O., Koshio, S., Esteban, M. Á., & El-Sabagh, M. (2018). Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: A review. Reviews in Aquaculture, 10(4), 950-974.

Esteban, M. Á. (2012). An overview of the immunological defenses in fish skin. ISRN Immunology, 2012, Article 853470.

Lieke, T., Meinelt, T., Hoseinifar, S. H., Pan, B., Straus, D. L., & Steinberg, C. E. W. (2020). Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. Reviews in Aquaculture, 12(2), 943-965.

Ringø, E., Hoseinifar, S. H., Ghosh, K., Van Doan, H., Beck, B. R., & Song, S. K. (2018). Lactic acid bacteria in finfish-An update. Frontiers in Microbiology, 9, 1818.

Shalaby, S. M., El-Marakby, K. M., & El-Ashram, A. M. M. (2022). Seaweed polysaccharides as natural immunostimulants in aquaculture: A review. Aquaculture International, 30(5), 2147-2174.

Van Hai, N. (2015). The use of medicinal plants as immunostimulants in aquaculture: A review. Aquaculture, 446, 88-96.

Wang, W., Ishikawa, M., Koshio, S., Yokoyama, S., Dawood, M. A. O., & Esteban, M. Á. (2019). Effects of dietary supplementation with algal products on fish immunity and health. Fish & Shellfish Immunology, 95, 308-318.

Yousefi, M., Hoseinifar, S. H., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G., & Maradonna, F. (2021). Immunoregulatory and growth-promoting effects of algae and algal-derived products in finfish aquaculture: A review. Reviews in Aquaculture, 13(3), 1639-1663.

Zuo, R., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Wang, J., & Xu, H. (2023). Marine algae-derived functional ingredients for improving fish health and disease resistance. Aquaculture Nutrition, 2023, Article 9973145.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ALG BİYOREFİNERİLERİ VE DÖNGÜSEL BİYOEKONOMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR BİYOBAZLI ENDÜSTRİLER İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM

Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

Doç. Dr. ŞAMİL ÖZTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, samilozturk16@hotmail.com – 0000-0002-9435-8139

ÖZET

Fosil kaynakların tükenmesi, iklim değişikliği ve artan sürdürülebilirlik gereksinimleri, biyolojik kaynaklara dayalı üretim sistemlerine olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu kapsamda alg biyorefinerileri, döngüsel biyoekonomi yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Mikroalgler ve makroalgler; yüksek fotosentetik verimlilikleri, hızlı büyüme kapasiteleri, karbondioksiti etkin şekilde kullanabilmeleri ve tarıma elverişsiz alanlarda üretilebilmeleri nedeniyle sürdürülebilir biyokütle kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda biyoteknoloji, metabolik mühendislik, yapay zekâ uygulamaları ve süreç optimizasyonu alanlarında kaydedilen gelişmeler, alg biyorefinerilerinin verimliliğini ve ticari uygulanabilirliğini artırmıştır. Bununla birlikte yüksek üretim maliyetleri, hasat ve işleme teknolojilerindeki kısıtlamalar ile ölçek büyütme süreçlerinde karşılaşılan teknik zorluklar, bu teknolojilerin yaygınlaşmasının önündeki temel engeller olarak varlığını sürdürmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, biyokütle verimliliğinin artırılması, entegre biyorefineri sistemlerinin geliştirilmesi ve tekno-ekonomik analizlerin güçlendirilmesi üzerine yoğunlaşması beklenmektedir. Sonuç olarak alg biyorefinerileri, düşük karbonlu ve kaynak verimliliği yüksek bir ekonomiye geçişte, döngüsel biyoekonominin önemli bir yapı taşı olarak sürdürülebilir gıda, enerji, çevre ve biyoprodukt üretimi için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroalg, makroalg, biyokütle değerlendirme, biyoyakıt.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, fosil yakıt rezervlerinin azalması ve çevresel sürdürülebilirlik gereksinimleri, biyobazlı üretim sistemlerine olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda alg biyorefinerileri, biyokütlenin çok yönlü değerlendirilmesini sağlayan ve döngüsel biyoekonomi ilkeleriyle uyumlu yenilikçi üretim sistemleri olarak öne çıkmaktadır. Mikroalgler ve makroalgler, yüksek biyokütle üretim kapasitesi, hızlı büyüme hızları, karbon dioksiti etkin şekilde bağlama yetenekleri ve atık suların arıtılmasına katkıları sayesinde sürdürülebilir endüstriyel uygulamalar için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Alg biyorefinerisi yaklaşımı, aynı biyokütleden biyoyakıt, gıda, yem, biyoplastik, farmasötik bileşikler ve yüksek katma değerli kimyasalların birlikte elde

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

edilmesini mümkün kılarak ekonomik verimliliği artırmaktadır. Son yıllarda dünya genelinde artan enerji talebi, fosil yakıt kullanımının neden olduğu sera gazı emisyonları ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Paris İklim Anlaşması ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda düşük karbonlu ekonomi modellerine geçiş hız kazanmıştır (United Nations, 2015; Singh ve diğ., 2005). Bu dönüşüm sürecinde döngüsel ekonomi ve biyobazlı üretim sistemleri önemli stratejiler arasında yer almaktadır. Döngüsel biyoekonomi, biyolojik kaynakların sürdürülebilir biçimde üretilmesi, işlenmesi, yeniden kullanılması ve ekonomik değere dönüştürülmesini hedefleyen bütünleşik bir üretim modelidir (European Commission, 2018). Bu yaklaşım doğrusal üretim sistemlerinden farklı olarak atık oluşumunu en aza indirmekte, kaynak verimliliğini artırmakta ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Algler, özellikle mikroalgler, döngüsel biyoekonomi kapsamında en dikkat çekici biyolojik kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir. Tarım arazilerine ihtiyaç duymadan yetiştirilebilmeleri, kısa sürede yüksek biyokütle oluşturabilmeleri ve endüstriyel baca gazlarındaki karbondioksiti biyokütleye dönüştürebilmeleri nedeniyle sürdürülebilir biyorefineri sistemlerinin temel hammaddelerinden biri haline gelmiştir (Chisti, 2007; Fukuda ve diğ., 2001).

2. ALG BİYOREFİNERİSİ KAVRAMI

Biyorefineri, biyokütlenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler kullanılarak farklı ürünlere dönüştürüldüğü entegre üretim tesislerini ifade etmektedir. Petrol rafinerilerinin ham petrolden birçok ürün üretmesine benzer şekilde biyorefineriler de biyokütleden enerji, yakıt ve kimyasal ürünler elde etmektedir (Cherubini, 2010).

Alg biyorefinerileri ise mikroalg ve makroalg biyokütlesini maksimum verimlilikle değerlendiren sistemlerdir. Geleneksel biyoyakıt üretiminde yalnızca yağ fraksiyonu değerlendirilirken biyorefineri yaklaşımında lipitler biyodizel üretiminde, karbonhidratlar biyoetanol üretiminde, proteinler yem veya gıda katkısı olarak, pigmentler ise kozmetik ve ilaç sanayisinde kullanılmaktadır (Khan ve ark., 2018).

Mikroalgler %20-70 oranında lipit, %30-60 protein ve önemli miktarda karbonhidrat içerebilmektedir. Bunun yanında omega-3 yağ asitleri, karotenoidler, klorofil, fikosiyanin ve antioksidan bileşikler açısından oldukça zengindir. Bu nedenle aynı biyokütleden birçok yüksek katma değerli ürünün eş zamanlı elde edilmesi mümkün olmaktadır (Mata ve ark., 2010).

Biyorefineri sistemlerinde öncelikle alg biyokütlesi kültür ortamında üretilmekte, ardından hasat edilmekte ve kurutulmaktadır. Daha sonra biyokimyasal içeriklerine göre ekstraksiyon işlemleri uygulanmaktadır. Yağ ekstraksiyonundan sonra kalan biyokütle biyogaz üretiminde veya organik gübre olarak değerlendirilebilmektedir. Böylece sistemde atık oluşumu minimum seviyeye indirilmektedir.

3. DÖNGÜSEL BİYOEKONOMİDE ALG BİYOREFİNERİLERİNİN ROLÜ

Döngüsel biyoekonominin temel amacı kaynak kullanımını optimize ederek atıkları yeniden üretim sürecine kazandırmaktır. Alg biyorefinerileri bu hedefe doğrudan katkı sağlamaktadır. Alglerin en önemli avantajlarından biri fotosentez yoluyla atmosfer veya baca gazlarından karbondioksiti biyokütleye dönüştürebilmeleridir. Yapılan araştırmalar bir kilogram mikroalg biyokütlesi üretimi sırasında yaklaşık 1,8 kilogram karbondioksitin tutulabildiğini göstermektedir (Chisti, 2007). Bu özellik karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Diğer önemli avantaj ise atık su arıtımıdır. Mikroalgler azot ve fosfor gibi besin elementlerini kullanarak belediye ve endüstriyel atık suların biyolojik arıtılmasına yardımcı olmaktadır. Böylece hem temiz su elde edilmekte hem de alg biyokütlesi üretilebilmektedir (Rawat ve ark., 2011). Döngüsel ekonomi açısından değerlendirildiğinde endüstriyel baca gazları karbon kaynağı olarak kullanılabilirken, atık sular besin kaynağı görevi görmektedir. Üretilen biyokütle ise biyoyakıt, biyoplastik, biyogübre veya biyokimyasallara dönüştürülmektedir. Üretim sonunda ortaya çıkan artık biyokütle anaerobik çürütme ile biyogaza çevrilerek enerji üretiminde kullanılabilmektedir. Böylece kapalı döngüye dayalı sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturulmaktadır.

4. ALG BİYOREFİNERİLERİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Alg biyorefinerileri birçok endüstri kolunda kullanılabilecek çok sayıda ürünün elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bunlardan biri biyoyakıt üretimidir. Mikroalglerden biyodizel, biyogaz, biyohidrojen ve biyoetanol üretilebilmektedir. Özellikle yüksek yağ içeriğine sahip türler biyodizel üretiminde önemli potansiyel taşımaktadır (Demirbas ve Demirbas, 2011). Gıda sektöründe mikroalgler yüksek protein içerikleri nedeniyle fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedir. *Spirulina* ve *Chlorella* türleri vitamin, mineral ve antioksidan bakımından oldukça zengin olup birçok ülkede besin takviyesi olarak kullanılmaktadır (Becker, 2007). Kozmetik sektöründe alglerden elde edilen karotenoidler, polisakkaritler ve doğal pigmentler cilt bakım ürünlerinde kullanılmaktadır. Astaksantin, beta-karoten ve fikosiyanin gibi bileşikler güçlü antioksidan özellikleri nedeniyle yaşlanma karşıtı ürünlerde tercih edilmektedir. Farmasötik endüstride alg kaynaklı biyoaktif bileşikler antiviral, antikanser, antibakteriyel ve antiinflamatuar özellikleri nedeniyle yeni ilaç geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda biyoplastik üretimi de önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Alglerden elde edilen polisakkaritler biyobozunur plastik hammaddesi olarak değerlendirilebilmektedir. Böylece petrol kökenli plastik kullanımının azaltılması hedeflenmektedir (Pulz ve Gross, 2004).

Görsel 1. Avrupa'nın ilk biyo-rafinerisi, Boğaziçi Üniversitesi-2022 (https://www.euronews.com/green/2022/03/07/a-radical-carbon-negative-project-in-turkey-is-turning-algae-into-bio-jet-fuel?)

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

5. ALG BİYOREFİNERİLERİNİN AVANTAJLARI VE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Alg biyorefinerileri çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan birçok avantaj sunmaktadır. İlk olarak alg üretimi için verimli tarım arazilerine ihtiyaç duyulmaması, gıda üretimi ile rekabeti önlemektedir. Ayrıca birçok alg türü tuzlu su veya atık sularda yetiştirilebildiğinden tatlı su tüketimi de önemli ölçüde azalmaktadır. İkinci olarak alglerin fotosentetik verimliliği kara bitkilerine göre oldukça yüksektir. Aynı alanda çok daha fazla biyokütle üretilebilmektedir. Bu durum hektar başına biyoyakıt üretim kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır (Mata ve ark., 2010). Bunun yanında alg biyorefinerileri sera gazı emisyonlarını azaltmakta, atık suların geri kazanımını desteklemekte ve endüstriyel atıkların değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Alg biyorefinerilerinin sunduğu avantajlara rağmen ticari ölçekte yaygınlaşmasını sınırlayan bazı önemli sorunlar bulunmaktadır. En büyük sorunlardan biri üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Özellikle fotobiyoreaktör sistemleri, hasat işlemleri ve biyokütlenin kurutulması yüksek enerji gerektirmektedir. Bir diğer önemli problem ekstraksiyon teknolojilerinin yeterince ekonomik olmamasıdır. Lipit, protein ve pigmentlerin ayrıştırılması için kullanılan yöntemler enerji yoğun süreçler içermektedir. Bu nedenle biyorefineri sistemlerinin ekonomik fizibilitesi halen geliştirilme aşamasındadır. Ayrıca iklim koşulları, ışık yoğunluğu, sıcaklık değişimleri ve kontaminasyon riski alg üretimini doğrudan etkileyebilmektedir. Büyük ölçekli üretim tesislerindeYapay zekâ destekli biyoproses optimizasyonu, genetik mühendisliği uygulamaları ve ileri biyoteknolojik yöntemler alg biyorefinerilerinin geleceğini şekillendirmektedir. Genetiği geliştirilmiş mikroalg türleri sayesinde daha yüksek lipit üretimi, daha hızlı büyüme ve stres koşullarına dayanıklılık hedef süreç kontrolü önemli teknik uzmanlık gerektirmektedir (Khan ve ark., 2018).

6. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Yapay zekâ destekli biyoproses optimizasyonu, genetik mühendisliği uygulamaları ve ileri biyoteknolojik yöntemler alg biyorefinerilerinin geleceğini şekillendirmektedir. Genetiği geliştirilmiş mikroalg türleri sayesinde daha yüksek lipit üretimi, daha hızlı büyüme ve stres koşullarına dayanıklılık hedeflenmektedir. Karbon yakalama teknolojileri ile entegre çalışan alg biyorefinerileri gelecekte enerji santralleri ve ağır sanayi tesislerinde sera gazlarının azaltılmasında önemli rol oynayabilir. Ayrıca biyoplastik, biyogübre ve yeşil kimyasalların üretiminde alg biyokütlesinin kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir. Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı kapsamında biyobazlı sanayilere yapılan yatırımlar alg biyorefinerilerinin ekonomik uygulanabilirliğini artırmaktadır. Önümüzdeki yıllarda teknolojik gelişmeler sayesinde üretim maliyetlerinin düşmesi ve ticari uygulamaların yaygınlaşması beklenmektedir. Alg biyorefinerileri, döngüsel biyoekonominin temel ilkelerini destekleyen yenilikçi ve sürdürülebilir üretim sistemleri arasında yer almaktadır. Mikroalglerin yüksek biyokütle üretim kapasitesi, karbon tutma potansiyeli, atık su arıtımındaki etkinliği ve çok çeşitli biyobazlı ürünlerin üretimine olanak sağlaması bu teknolojiyi geleceğin biyobazlı endüstrileri açısından stratejik hale getirmektedir. Her ne kadar yüksek yatırım maliyetleri ve teknik sınırlamalar ticari uygulamaları kısıtlasa da biyoteknoloji, proses mühendisliği ve yapay zekâ alanındaki gelişmeler alg biyorefinerilerinin ekonomik uygulanabilirliğini giderek artırmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda alg biyorefinerileri, düşük

karbonlu ekonomiye geçişte önemli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle üniversite-sanayi iş birliklerinin artırılması, araştırma yatırımlarının desteklenmesi ve biyobazlı üretim politikalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. Biotechnology Advances, 25(2), 207–210.

Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. Energy Conversion and Management, 51(7), 1412–1421.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances, 25(3), 294–306.

Demirbas, A., & Demirbas, M. F. (2011). Importance of algae oil as a source of biodiesel. Energy Conversion and Management, 52(1), 163–170.

Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering, 92(5), 405–416.

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. Microbial Cell Factories, 17(36), 1–21.

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1), 217–232. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020

Pulz, O., & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, 65(6), 635–648.

Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, *88*(10), 3411–3424.

Singh, S., Kate, B. N., & Banerjee, U. C. (2005). Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, *25*(3), 73–95.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

https://www.euronews.com/green/2022/03/07/a-radical-carbon-negative-project-in-turkey-is-turning-algae-into-bio-jet-fuel?

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SABİT KANAT İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA NAVİGASYON LED SİSTEMLERİNİN İRTİFAYA BAĞLI TERMAL PERFORMANS ANALİZİ

Elektrik Elektronik Mühendisi, Alperen Haydar IŞIK
Marmara Üniversitesi, alperen.haydar@marun.com.tr - 0009-0006-4127-3250
Prof Dr. İsmail KIYAK
Marmara Üniversitesi, imkiyak@marmara.edu.tr - 0000-0002-5061-6378

ÖZET

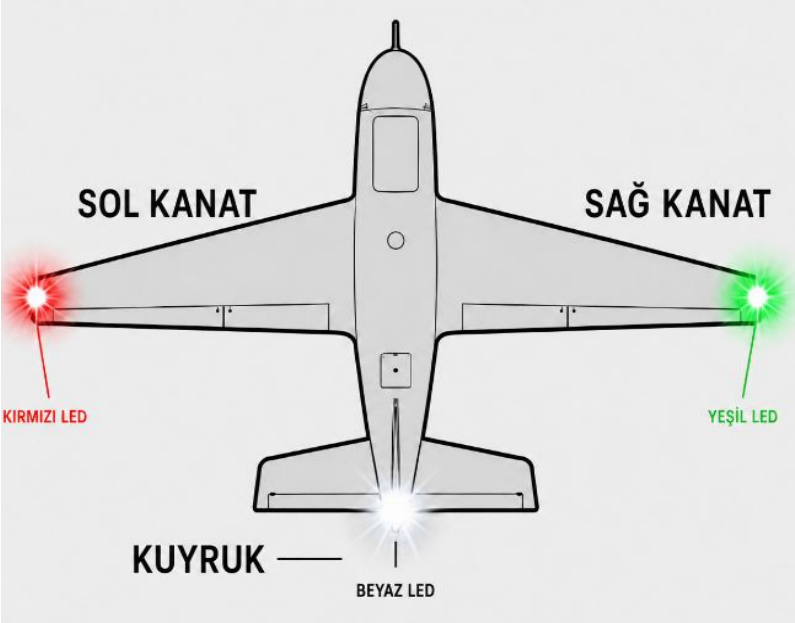
Sabit kanat insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon LED sistemleri, gece operasyonlarında görünürlük ve uçuş güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, navigasyon LED'lerinin termal performansı irtifaya bağlı değişen atmosferik koşullar altında analitik olarak incelenmiştir. Analizlerde hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığının irtifaya bağlı değişimi dikkate alınarak atmosferik ve termal bir model oluşturulmuştur. Hava yoğunluğunun irtifa ile azalmasının doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini zayıflattığı ve eşdeğer termal direnci artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, sadeleştirilmiş atmosfer modeli kapsamında ortam sıcaklığının troposfer bölgesinde azalması junction sıcaklığı üzerinde düşürücü bir etki oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında kırmızı, yeşil ve beyaz navigasyon LED'leri için junction sıcaklıkları hesaplanmış ve farklı LED tiplerinin termal davranışları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kullanılan parametreler altında ortam sıcaklığındaki azalmanın termal direnç artışına göre daha baskın olduğunu göstermiştir. Bu nedenle tüm LED tiplerinde junction sıcaklığı yaklaşık 12000 m irtifaya kadar azalma eğilimi göstermiş, daha yüksek irtifalarda ise ortam sıcaklığının yaklaşık sabit kalmasına rağmen hava yoğunluğunun azalmaya devam etmesi nedeniyle junction sıcaklıklarında yeniden artış gözlenmiştir. Ayrıca tüm irtifa seviyelerinde beyaz LED'in en yüksek, kırmızı LED'in ise en düşük junction sıcaklığına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, 6000 m irtifada kırmızı LED için junction sıcaklığı yaklaşık −0,48 °C, yeşil LED için 7,63 °C ve beyaz LED için 10,33 °C olarak bulunmuştur. Bu çalışma, sabit kanat insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon LED sistemlerinin atmosferik koşullar altında termal davranışının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Anahtar Kelimeler: Navigasyon LED'i, termal analiz, junction sıcaklığı, doğal konveksiyon, insansız hava aracı.

1. GİRİŞ

Sabit kanat insansız hava araçları, uzun menzil, yüksek irtifa kabiliyeti ve enerji verimliliği gibi avantajları sayesinde hem askeri hem de sivil uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Özellikle gece operasyonlarında uçuş güvenliğinin sağlanabilmesi için çeşitli destek sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler arasında yer alan navigasyon LED'leri, hava aracının konumunun belirlenmesi, yön bilgisinin iletilmesi ve çarpışma riskinin azaltılması açısından kritik bir rol üstlenmektedir [2]. Bu nedenle navigasyon LED sistemlerinin güvenilir ve kesintisiz çalışması büyük önem taşımaktadır. Sabit kanat insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon LED yerleşimi Görsel 1'de gösterilmiştir. Bu yerleşimde sol kanatta kırmızı LED, sağ kanatta yeşil LED ve arka kısımda beyaz LED kullanılarak hava aracının yönünün farklı açılardan algılanabilmesi sağlanmaktadır.



Görsel 1. İHA navigasyon LED konumları

Yüksek güçlü LED'ler çalışma sırasında elektriksel enerjinin önemli bir kısmını ısıya dönüştürmektedir [4], [5]. Oluşan bu ısı, LED junction noktası sıcaklığının artmasına neden olmakta ve sıcaklık artışı; ışık şiddetinde azalma, renk kayması ve bileşen ömründe kısalma gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır [6], [7], [8], [9]. Bu nedenle LED sistemlerinde termal yönetim, performans ve güvenilirlik açısından kritik bir tasarım parametresi olarak öne çıkmaktadır [10], [11].

Literatürde LED'lerin termal davranışı, elektro-termal modelleme yöntemleri ve soğutma teknikleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [12], [13], [14], [15]. Bu çalışmaların büyük bir kısmı sabit atmosfer koşulları altında yürütülmüş olup, ortam koşullarının LED termal performansı üzerindeki etkisi sınırlı olarak ele alınmıştır [6], [12]. Ancak sabit kanat

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

insansız hava araçları farklı irtifalarda görev yapmakta ve bu durum atmosferik koşulları doğrudan etkilemektedir [1], [2].

İrtifa arttıkça hava yoğunluğunun azalması, doğal konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferini zayıflatmakta ve sistemin soğutma kapasitesini düşürmektedir [16], [17], [18], [19], [20], [21]. Bununla birlikte sadeleştirilmiş atmosfer modeli kapsamında ortam sıcaklığının da irtifa ile değiştiği kabul edilmiştir. Troposfer bölgesinde ortam sıcaklığı yaklaşık olarak 6.5 °C/km oranında azalmaktadır. Tropopoz yüksekliği ise coğrafi konuma ve atmosferik koşullara bağlı olarak değişebilmekte; kutup bölgelerinde daha alçak, ekvatoral bölgelerde ise daha yüksek seviyelerde görülebilmektedir. Bu çalışmada ISA sıcaklık gradyeninden yararlanılarak oluşturulan atmosfer yaklaşımı esas alınmış ve tropopoz seviyesi yaklaşık 11 km olarak kabul edilmiştir. Bu seviyeden sonra sıcaklık değişiminin sınırlı hale geldiği varsayılmış ve alt stratosfer bölgesinde ortam sıcaklığı yaklaşık sabit alınmıştır [3].

Bu çalışmada, sabit kanat insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon LED sistemlerinin termal performansı, irtifaya bağlı değişen atmosferik koşullar altında analitik bir model kullanılarak incelenmiştir. Atmosferik model kapsamında hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığının irtifaya bağlı değişimi dikkate alınmış, ardından kırmızı, yeşil ve beyaz navigasyon LED'leri için birleşim noktası sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, farklı LED renklerinin ısı üretim karakteristikleri ve irtifaya bağlı çevresel koşullar açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMİ

2.1. Atmosferik ve Termal Modelleme

Sabit kanat insansız hava araçlarında görev yapan navigasyon LED sistemlerinin termal performansı, büyük ölçüde içinde bulunulan atmosferik koşullara bağlıdır. Özellikle irtifa artışı ile birlikte hava yoğunluğu, basınç ve sıcaklık gibi parametrelerde meydana gelen değişimler, LED'lerin ısı transfer mekanizmalarını doğrudan etkilemektedir [1], [2].

Atmosferik modelleme kapsamında, hava yoğunluğunun irtifaya bağlı değişimi temel parametre olarak ele alınmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan modele göre hava yoğunluğu, irtifa arttıkça üstel olarak azalmaktadır [18], [20]. Bu durum aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\rho(h) = \rho_0 \times e^{\frac{-h}{H}} \quad (1)$$

Burada $\rho_0$deniz seviyesindeki hava yoğunluğunu, h irtifayı ve H ise atmosferik ölçek yüksekliğini temsil etmektedir. Hava yoğunluğundaki bu azalma, akışkanın ısı taşıma kapasitesini düşürmekte ve özellikle doğal konveksiyon mekanizmasını doğrudan zayıflatmaktadır [16], [17].

Bu çalışmada kullanılan sadeleştirilmiş atmosfer modelinde, ortam sıcaklığının irtifaya bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir. Troposfer bölgesinde sıcaklık yaklaşık olarak 6.5 °C/km oranında azalmakta, yaklaşık 11 km irtifada bulunan tropopoz seviyesinden sonra ise sıcaklık değişimi oldukça sınırlı hale gelmektedir [3]. Bunun nedeni, troposfer ile stratosfer arasındaki

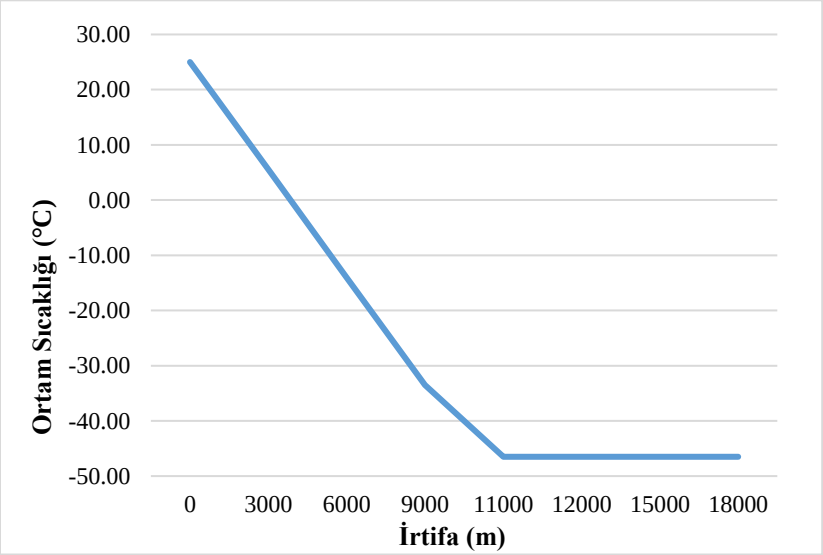
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

geçiş bölgesi olan tropopozda atmosferik sıcaklık gradyeninin önemli ölçüde azalmasıdır. Bu nedenle, 11 km üzerindeki irtifalarda sıcaklık değişiminin LED termal performansı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu kabul edilmiş ve modelin sadeleştirilmesi amacıyla ortam sıcaklığı yaklaşık sabit alınmıştır [3]. Bu kabule göre sıcaklık değişimi Çizelge 1 ve Görsel 2'de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında ortam sıcaklığı aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

$$T_{amb}(h) = T_0 - 6{,}5 \times h_{km} \tag{2}$$

Çizelge 1. İrtifaya bağlı ortam sıcaklığı değişimi [3]

İrtifa (m)	Sıcaklık (°C)
0	25,00
3000	5,50
6000	-14,00
9000	-33,50
11000	-46,50
12000	-46,50
15000	-46,50
18000	-46,50



Görsel 2. İrtifaya göre ortam sıcaklığı değişim grafiği

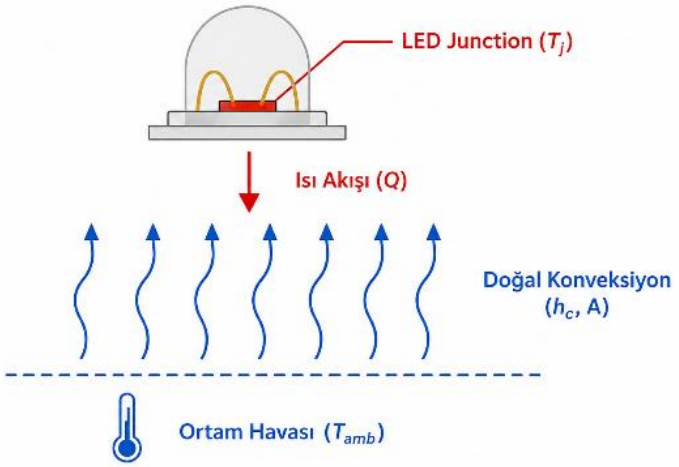
Navigasyon LED'lerinde oluşan ısının çevreye aktarılmasında baskın mekanizma doğal konveksiyondur. Konvektif ısı transferi, yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkına ve konvektif ısı transfer katsayısına bağlı olarak ifade edilmektedir [18]:

$$Q = h_C \times A \times (T_j - T_{amb}(h)) \tag{3}$$

Burada Q ısı transferi miktarını, h_C konvektif ısı transfer katsayısını, A ısı transfer yüzey alanını, T_j LED junction sıcaklığını ve $T_{amb}(h)$ ortam sıcaklığını temsil etmektedir. Navigasyon LED sisteminde doğal konveksiyon ile gerçekleşen ısı transfer mekanizması Görsel 3'te gösterilmiştir. Konvektif ısı transfer katsayısı, akışkanın fiziksel özelliklerine bağlı olup, özellikle hava yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir [19]

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Bu çalışmada, literatürdeki yaklaşımlar doğrultusunda konvektif katsayının hava yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Buna göre, irtifa arttıkça azalan hava yoğunluğu nedeniyle konvektif ısı transfer katsayısının da azaldığı varsayılmıştır [20].



Görsel 3. Navigasyon LED sisteminde doğal konveksiyon ile gerçekleşen ısı transfer modeli

LED'lerin termal davranışının modellenmesinde, elektriksel giriş gücünün önemli bir kısmının ısıya dönüştüğü kabul edilmektedir [4], [14]. Bu ısı, LED junction noktasından paket yapısı ve çevre ile olan etkileşim üzerinden dış ortama aktarılmaktadır. Termal analizde yaygın olarak kullanılan yaklaşım, sistemin bir termal direnç ağı ile modellenmesidir [10], [11]. Şekil 3'te LED junction sıcaklığı ile ortam arasındaki temel ısı transfer mekanizması basitleştirilmiş olarak gösterilmiştir. Bu modele göre LED junction sıcaklığı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_j = T_{amb}(h) + P_{ısı} \times R_{th} \quad (4)$$

Burada R_{th} toplam termal direnci temsil etmektedir ve LED paket yapısı, lehim bağlantıları ve soğutma yüzeyleri gibi bileşenlerin etkisini içermektedir [7], [15]. İrtifa artışı ile konvektif ısı transfer katsayısının azalması, sistemin etkin termal direncinin artmasına neden olmakta ve bu durum LED junction sıcaklığının yükselmesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada modelin sadeleştirilmesi amacıyla bazı kabuller yapılmıştır. Radyatif ısı transferi ve zorlanmış taşınım etkileri ihmal edilerek yalnızca doğal konveksiyon dikkate alınmıştır. Ayrıca hesaplamalar irtifaya göre değişen hava sıcaklığı ve sabit LED sürme akımı altında gerçekleştirilmiştir. Bu kabuller, modelin hesaplanabilirliğini artırırken, irtifanın konvektif soğutma üzerindeki etkisinin daha net bir şekilde ortaya konmasına olanak sağlamaktadır.
Sonuç olarak, oluşturulan atmosferik ve termal model ile irtifaya bağlı değişen çevresel koşulların LED junction sıcaklığı üzerindeki etkisi analitik olarak ifade edilmiştir. Bu model, ilerleyen bölümlerde gerçekleştirilecek LED termal analizi ve junction sıcaklığı hesaplamaları için temel bir altyapı sunmaktadır.

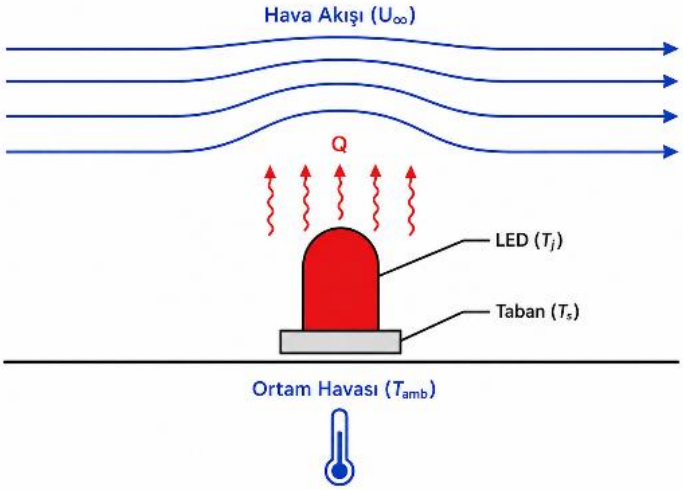
Bununla birlikte, navigasyon LED sistemlerinde kullanılan farklı renklerdeki LED'ler (kırmızı, yeşil ve beyaz), yarı iletken malzeme yapıları ve elektriksel karakteristikleri nedeniyle farklı

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

termal davranışlar sergileyebilmektedir. Bu farklılıklar, LED tarafından üretilen ısı miktarını ve dolayısıyla junction sıcaklığını etkileyebilmektedir.

2.2. Zorlanmış Taşınım Altında Termal Model

Sabit kanatlı insansız hava araçlarında LED sistemlerinin termal davranışı yalnızca ortam koşullarına bağlı olmayıp, aynı zamanda uçuş dinamiklerinden de önemli ölçüde etkilenmektedir. Araç hareket halindeyken LED yüzeyi etrafında oluşan hava akışı, ısı transfer mekanizmasını doğal taşınımın ötesine taşıyarak zorlanmış taşınım etkisini baskın hale getirmektedir. Bu nedenle, gerçek uçuş koşullarında LED'lerin termal performansının doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için zorlanmış taşınım etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Görsel 4'te uçuş sırasında LED yüzeyi etrafında oluşan hava akışı ve buna bağlı zorlanmış taşınım mekanizması basitleştirilmiş olarak gösterilmiştir.



Görsel 4. Zorlanmış taşınım altında termal model

Zorlanmış taşınım altında ısı transfer katsayısı (h), akışkan özellikleri ve akış parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Dış akış problemlerinde bu ilişki genellikle Nusselt sayısı üzerinden ifade edilmektedir [3], [21]. Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olup, akış rejimine bağlı olarak değişmektedir. Reynolds sayısı aşağıdaki şekilde tanımlanır [3]:

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} \tag{5}$$

Bu bağıntıdan görüleceği üzere Reynolds sayısı, hava yoğunluğu (ρ) ve uçuş hızı (v) ile doğru orantılıdır [20]. Dolayısıyla, irtifa arttıkça hava yoğunluğunun azalması Reynolds sayısını düşürerek ısı transferini olumsuz yönde etkilerken, uçuş hızındaki artış Reynolds sayısını artırarak ısı transferini iyileştirmektedir. Bununla birlikte, irtifa artışı yalnızca hava yoğunluğunu değil, aynı zamanda ortam sıcaklığını da değiştirmektedir. Standart atmosfer modeline göre troposfer bölgesinde ortam sıcaklığı yaklaşık olarak 6.5 °C/km oranında azalmakta, yaklaşık 11 km irtifadan sonra ise sıcaklık değişimi oldukça sınırlı hale gelmektedir [3]. Bu nedenle gerçek uçuş koşullarında LED termal davranışının değerlendirilmesinde hem hava yoğunluğu hem de ortam sıcaklığı birlikte dikkate alınmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Zorlanmış taşınım koşulları altında ısı transfer katsayısının yaklaşık olarak hava yoğunluğu ve akış hızı ile aşağıdaki şekilde değiştiği kabul edilebilir [17]:

$$h \propto \rho^{0.5} \times v^{0.8} \tag{6}$$

Bu durumda LED'in termal direnci, ısı transfer katsayısının tersine bağlı olduğundan:

$$R_{th} \propto \frac{1}{h} \tag{7}$$

şeklinde ifade edilir. Bu ilişki, irtifa ile azalan hava yoğunluğunun termal direnci artırdığını, buna karşılık uçuş hızındaki artışın termal direnci azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

LED junction sıcaklığı, ısı üretimi ve ısı transfer mekanizması dikkate alınarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_j = T_{amb}(h) + \frac{P}{h(v,\rho)\times A} \tag{8}$$

Bu bağıntıya göre uçuş hızındaki artış ısı transfer katsayısını artırarak junction sıcaklığını düşürmekte ve LED'in daha verimli çalışmasına katkı sağlamaktadır. Buna karşılık irtifa artışıyla birlikte hava yoğunluğunun azalması termal direnci artırmakta ve LED'in ortam sıcaklığına göre sıcaklık yükselmesini artırmaktadır. Ancak aynı zamanda ortam sıcaklığının azalması junction sıcaklığını düşürücü yönde etki etmektedir. Bu nedenle LED junction sıcaklığı, hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığındaki değişimlerin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmektedir.

Sonuç olarak, zorlanmış taşınım etkisi altında LED termal davranışı; irtifa, uçuş hızı, hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığının birlikte belirlediği çok parametreli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Uçuş hızındaki artış zorlanmış taşınım mekanizmasını güçlendirerek LED'in soğutulmasını iyileştirirken, yüksek irtifalarda azalan hava yoğunluğu termal performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Buna karşın ortam sıcaklığındaki düşüş junction sıcaklığını azaltıcı bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle gerçek uçuş koşullarının değerlendirilmesinde hem hava yoğunluğu hem de ortam sıcaklığındaki değişimlerin birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yalnızca doğal taşınım altında elde edilen sonuçlar konservatif bir yaklaşım olarak değerlendirilmiş, zorlanmış taşınım modeli ise gerçek uçuş koşullarındaki davranışın açıklanması amacıyla genişletilmiş bir yaklaşım olarak sunulmuştur.

2.3. Doğal Taşınım Altında Temel Termal Analiz

Navigasyon LED sistemlerinde oluşan junction sıcaklığı, yalnızca çevresel koşullara değil, aynı zamanda kullanılan LED'in elektriksel ve optik karakteristiklerine de bağlıdır. Sabit kanat insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon ışıkları genel olarak sol kanatta kırmızı, sağ kanatta yeşil ve arka bölümde beyaz olacak şekilde konumlandırılmaktadır [2], [18]. Bu LED'lerin görevleri benzer olsa da yarı iletken malzeme yapıları, ileri yön gerilimleri, elektro-optik verimleri ve ısı üretim karakteristikleri farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle aynı irtifa ve ortam koşullarında çalıştırılan farklı renklerdeki LED'lerin termal davranışları da birbirinden farklı olmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Yüksek güçlü LED sistemlerinde elektriksel giriş gücünün tamamı ışığa dönüşmemekte, önemli bir kısmı ısı olarak açığa çıkmaktadır [4], [5], [14]. Bu ısının LED junction bölgesinde birikmesi, junction sıcaklığının yükselmesine ve buna bağlı olarak optik performansın bozulmasına neden olmaktadır [6], [8], [9]. Literatürde LED paket yapısı, termal direnç, sürme koşulları ve soğutma koşullarının junction sıcaklığı üzerinde belirleyici olduğu belirtilmektedir [7], [12], [15].

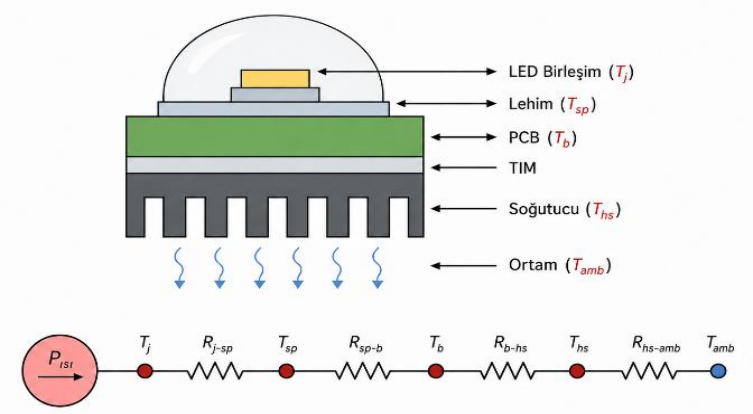
Bu amaçla, her bir LED için önce elektriksel giriş gücü hesaplanmış, ardından ışığa dönüşmeyen kısmın ısıya dönüştüğü kabul edilmiştir. Elektriksel giriş gücü aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır:

$$P_{el} = V_f \times I_f \tag{9}$$

Burada P_{el} elektriksel giriş gücünü, V_f LED'in ileri yön gerilimini ve I_f sürme akımını göstermektedir. LED'in ışık üretim verimi η_{opt} ile gösterilmiş olup, çalışmada farklı renklerdeki yüksek güçlü LED'lerin tipik elektro-optik davranışlarını temsil eden renk bazlı optik verim değerleri kullanılmıştır. Bu kapsamda kırmızı, yeşil ve beyaz LED'ler için farklı ηopt değerleri tanımlanmış ve ışığa dönüşmeyen elektriksel gücün ısıya dönüştüğü kabul edilmiştir [4], [5], [9]. Buna göre, ısıya dönüşen güç aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$P_{ısı} = P_{el} \times (1 - \eta_{opt}) \tag{10}$$

Burada $P_{ısı}$ LED tarafından ısı olarak açığa çıkarılan gücü temsil etmektedir. Bu yaklaşım, LED'lerin elektro-termal modellenmesinde yaygın olarak kullanılan basitleştirilmiş ama fiziksel olarak anlamlı bir yöntemdir [4], [8], [14].



Görsel 5. LED termal direnç gösterimi

Görsel 5'te LED sisteminin sadeleştirilmiş termal direnç ağı ve ısı transfer yolu gösterilmektedir. LED içerisinde elektriksel gücün ışığa dönüşmeyen kısmı ısı olarak açığa çıkmakta ve bu ısı öncelikle LED junction bölgesinde oluşmaktadır. Oluşan ısı, junction bölgesinden lehim noktasına, PCB yapısına, soğutucu yüzeye ve son olarak ortam havasına doğru aktarılmaktadır. Bu ısı transfer yolu üzerinde sırasıyla junction sıcaklığı (T_j), lehim

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

noktası sıcaklığı (T_{sp}), PCB sıcaklığı (T_b), soğutucu sıcaklığı (T_{hs}) ve ortam sıcaklığı (T_{amb}) tanımlanmaktadır.

Gerçek LED sisteminde her katman arasındaki ısı geçişi farklı bir termal direnç ile temsil edilebilmektedir. Bu dirençler; junction-lehim noktası termal direnci (R_{j-sp}), lehim noktası-PCB termal direnci (R_{sp-b}), PCB-soğutucu termal direnci (R_{b-hs}) ve soğutucu-ortam termal direnci (R_{hs-amb}) olarak ifade edilebilir. Bu durumda toplam eşdeğer termal direnç aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$R_{th} = R_{j-sp} + R_{sp-b} + R_{b-hs} + R_{hs-amb} \tag{11}$$

Bu çalışmada katman bazlı termal dirençler ayrı ayrı hesaplanmamış, LED sisteminin toplam ısı transfer davranışı tek bir eşdeğer termal direnç $R_{th}(h)$ile temsil edilmiştir. Bu yaklaşımda, LED paket yapısı, lehim bağlantısı ve PCB gibi iç termal direnç bileşenlerinin sabit kaldığı; irtifaya bağlı değişimin ise baskın olarak soğutucu-ortam arasındaki konvektif ısı transferinden kaynaklandığı kabul edilmiştir. Bu nedenle kullanılan $R_{th}(h)$değeri, mutlak katalog termal direnci olmaktan ziyade, konveksiyon etkisinin baskın kabul edildiği sadeleştirilmiş bir eşdeğer termal direnç olarak değerlendirilmelidir.

Bu yaklaşım doğrultusunda eşdeğer termal direnç hava yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$R_{th}(h) = R_{th0} \times \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho(h)}} \tag{12}$$

şeklinde alınmıştır. Bu bağıntı, hava yoğunluğundaki azalmanın konvektif soğutmayı zayıflatması sonucu eşdeğer termal direncin arttığını temsil eden sadeleştirilmiş bir mühendislik yaklaşımıdır. Hava yoğunluğunun irtifaya bağlı değişimi ise Denklem 1'de verilen bağıntı ile modellenmiştir.

bağıntısı ile modellenmiştir [11], [14]. Böylece junction sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_j = T_{amb}(h) + P_{ısı} \times R_{th}(h) \tag{13}$$

Burada T_j belirli bir h irtifasındaki junction sıcaklığını, T_{amb} irtifaya göre değişen ortam sıcaklığını, $P_{ısı}$ ısıya dönüşen gücü ve R_{th} irtifaya bağlı eşdeğer termal direnci göstermektedir.

Bu çalışmada karşılaştırmalı analiz amacıyla ortak bir görev senaryosu tanımlanmıştır. Tüm LED'ler için ortam sıcaklığı irtifaya göre değişken, sürme akımı 0.7 A, deniz seviyesindeki hava yoğunluğu 1.225 kg/m³, ve deniz seviyesindeki eşdeğer termal direnç 10 °C/W olarak alınmıştır. Böylece LED sürme akımı ve sistem parametreleri sabit tutulurken, irtifaya bağlı olarak değişen hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığının LED termal performansı üzerindeki etkileri birlikte değerlendirilmiştir. Farklı renklerdeki LED'ler arasındaki termal davranış farklılıkları ise ileri yön gerilimi ve optik verim değerleri kullanılarak modele dahil edilmiştir.

Analizde kullanılan örnek LED parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Buradaki değerler belirli bir ticari ürüne ait katalog verileri değil, literatürdeki genel LED davranışına uygun değerlerdir [4], [5], [6], [7], [8], [14].

Çizelge 2: Renk bazlı LED parametreleri [4], [5], [6], [7], [8], [14]

LED rengi	**İleri yön gerilimi V_f (V)**	**Elektriksel güç P_{el} (W)**	**Optik verim η_{opt}**	**Isıya dönüşen güç $P_{ısı}$ (W)**
Kırmızı	2,2	1,54	0,38	0,95
Yeşil	3,2	2,24	0,32	1,52
Beyaz	3,4	2,38	0,28	1,71

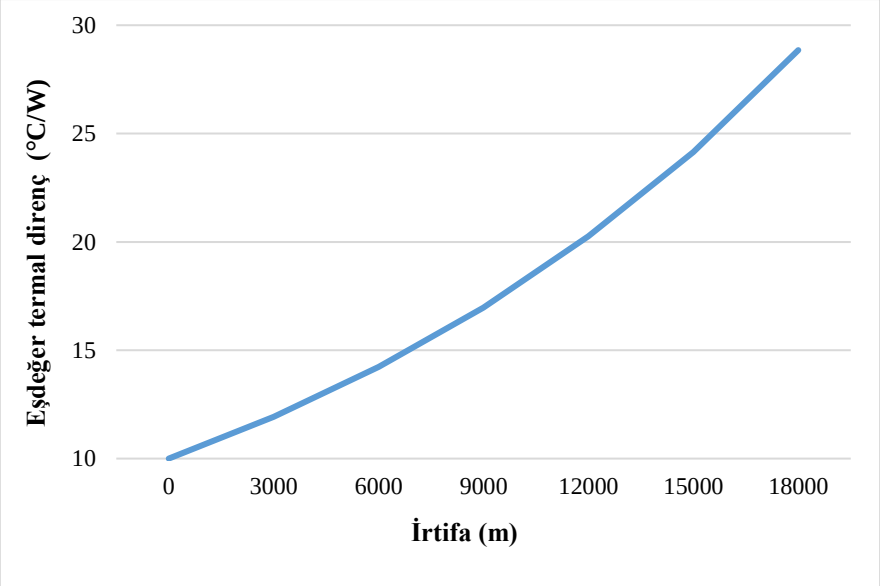
Çizelge 2 incelendiğinde, aynı sürme akımı altında beyaz LED'in en yüksek elektriksel güce sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca beyaz LED için seçilen optik verim değeri nedeniyle ısıya dönüşen güç de en yüksek seviyededir. Kırmızı LED ise daha düşük ileri yön gerilimi ve görece daha düşük ısı üretimi nedeniyle termal açıdan daha avantajlı bir yapı sergilemektedir. Yeşil LED ise bu iki durum arasında yer almaktadır. Bu sonuç, farklı LED renklerinin ileri yön gerilimi ve optik verim gibi elektro-termal parametreler nedeniyle termal tasarım açısından ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Sayısal analizde önce irtifaya bağlı eşdeğer termal direnç hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3: İrtifaya göre hava yoğunluğu ve eşdeğer termal direnç değişimi [3], [18], [20], [21]

İrtifa (m)	**Hava yoğunluğu $\rho(h)$ (kg/m³)**	**Eşdeğer termal direnç $R_{th}(h)$ (°C/W)**
0	1,225	10
3000	0,861	11,93
6000	0,605	14,23
9000	0,426	16,96
12000	0,299	20,26
15000	0,211	24,15
18000	0,148	28,85

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Görsel 6. İrtifaya göre hava yoğunluğu grafiği



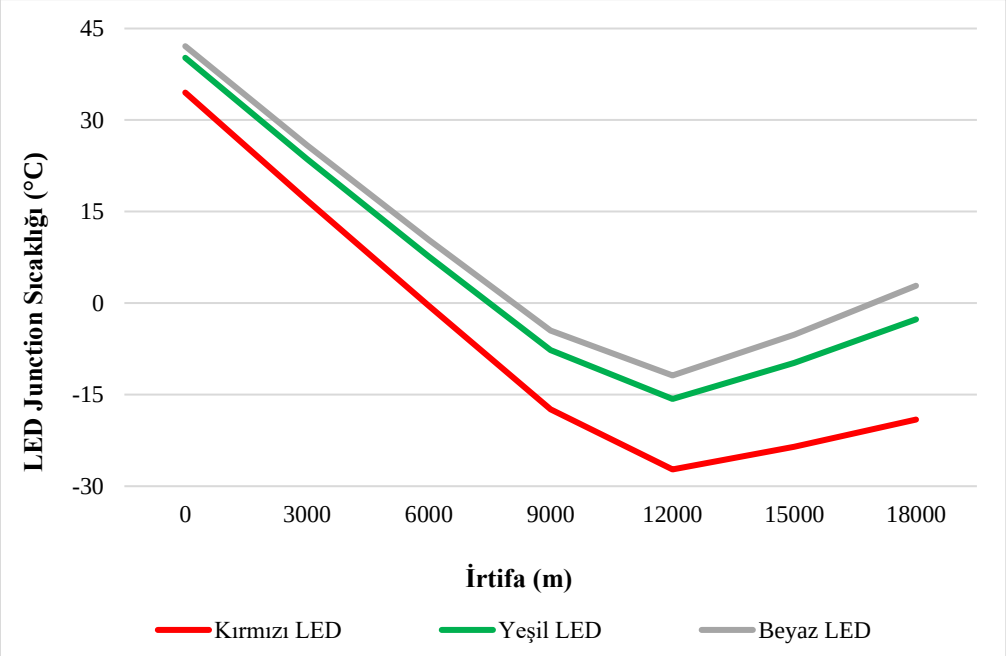
Görsel 7. İrtifaya göre eşdeğer termal direnç grafiği

Çizelge 3, Görsel 6 ve Görsel 7'den görüldüğü üzere irtifa arttıkça hava yoğunluğu azalmakta, buna bağlı olarak eşdeğer termal direnç artmaktadır. Eşdeğer termal dirençteki bu artış, aynı ısı yükü altında LED junction sıcaklığının ortam sıcaklığına göre daha fazla yükselmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmada ortam sıcaklığı sabit kabul edilmemiş; irtifaya bağlı olarak değişken alınmıştır. Bu nedenle LED junction sıcaklığı, yalnızca termal direnç artışıyla değil, aynı zamanda irtifa arttıkça düşen ortam sıcaklığı ile değerlendirilmiştir. Özellikle 9000 m ve üzerindeki irtifalarda termal dirençteki artış daha belirgin hale gelirken, ortam sıcaklığındaki azalma junction sıcaklığını düşürücü yönde etki etmektedir. Bu durum, yüksek irtifa koşullarında LED termal davranışının iki karşıt etkinin sonucu olarak ortaya çıktığını göstermektedir [16], [17], [18], [20].

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Çizelge 2'de verilen ısı güçleri, Çizelge 3'te verilen eşdeğer termal direnç değerleri ve irtifaya bağlı ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak Denklem 13'e göre farklı renklerdeki LED'ler için junction sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 4. İrtifaya göre farklı renklerdeki LED'lerin junction sıcaklığı [16], [17], [18], [20]



İrtifa (m)	Ortam sıcaklığı $T_{amb}(h)$ (°C)	Eşdeğer termal direnç R_{th} (°C/W)	Kırmızı LED T_j (°C)	Yeşil LED T_j (°C)	Beyaz LED T_j (°C)
0	25,0	10,00	34,50	40,20	42,10
3000	5,5	11,93	16,83	23,63	25,90
6000	-14,0	14,23	-0,48	7,63	10,33
9000	-33,5	16,96	-17,39	-7,72	-4,50
12000	-46,5	20,26	-27,25	-15,70	-11,85
15000	-46,5	24,15	-23,56	-9,79	-5,20
18000	-46,5	28,85	-19,09	-2,65	2,83

"Hesaplamalarda kırmızı, yeşil ve beyaz LED'ler için sırasıyla $P_{ısı}$= 0,95 W, $P_{ısı}$= 1,52 W ve $P_{ısı}$= 1,71 W değerleri kullanılmıştır [4], [8], [18]. Ortam sıcaklığı deniz seviyesinde 25 °C kabul edilmiş, ISA sıcaklık gradyeninden yararlanılarak oluşturulan sadeleştirilmiş atmosfer modeli kapsamında yaklaşık 6,5 °C/km sıcaklık düşüşü uygulanmış ve 11 km üzerindeki irtifalarda sıcaklık −46,5 °C seviyesinde sabit alınmıştır [3].

Görsel 8. İrtifaya göre farklı renklerdeki LED'lerin junction sıcaklığı grafiği

Çizelge 4 ve Görsel 8 incelendiğinde, LED junction sıcaklığının yalnızca irtifaya bağlı termal direnç değişiminden değil, aynı zamanda ortam sıcaklığındaki değişimden de önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. İrtifa arttıkça hava yoğunluğunun azalması nedeniyle eşdeğer termal direnç artmakta ve bu durum junction sıcaklığını yükseltici yönde etki etmektedir. Buna karşılık, tanımlanan atmosfer modeline göre ortam sıcaklığı irtifa ile birlikte azaldığından junction sıcaklığı üzerinde düşürücü bir etki oluşturmaktadır. Sonuç olarak LED junction sıcaklığı, bu iki karşıt etkinin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Görsel 8'de tüm LED tipleri için benzer bir eğilim gözlenmektedir. Deniz seviyesinde en düşük junction sıcaklığı kırmızı LED'de, en yüksek junction sıcaklığı ise beyaz LED'de elde edilmiştir. Bu durum, LED'lerin elektriksel güç tüketimleri ve ısıya dönüşen güç miktarlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Beyaz LED daha yüksek ısı üretimi nedeniyle tüm irtifa seviyelerinde en yüksek junction sıcaklığı değerlerini verirken, kırmızı LED en düşük junction sıcaklığına sahiptir. Yeşil LED ise bu iki durum arasında yer almaktadır.

Grafik incelendiğinde, 0–12000 m irtifa aralığında tüm LED tiplerinin junction sıcaklıklarının azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, bu çalışmada kullanılan parametreler için ortam sıcaklığındaki düşüşün, hava yoğunluğunun azalmasına bağlı olarak artan termal direnç etkisinden daha baskın olduğunu göstermektedir. Örneğin 6000 m irtifada kırmızı LED için junction sıcaklığı yaklaşık −0,48 °C, yeşil LED için 7,63 °C ve beyaz LED için 10,33 °C olarak hesaplanmıştır.

12000 m irtifadan sonra ise junction sıcaklıklarında yeniden artış eğilimi gözlenmektedir. Bunun nedeni, 11 km irtifada bulunan tropopoz seviyesinden sonra sıcaklık değişiminin oldukça sınırlı hale gelmesidir. Çalışmanın atmosfer modelinde ortam sıcaklığının 11 km irtifa sonrası sabit kabul edilmesine rağmen hava yoğunluğunun azalmaya devam etmesi ve buna bağlı olarak eşdeğer termal direncin artışını sürdürmesidir. Bu bölgede termal dirençteki artışın etkisi daha belirgin hale gelmekte ve junction sıcaklıklarında yeniden yükselme meydana gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar, yüksek irtifa koşullarında LED termal performansının yalnızca hava yoğunluğu dikkate alınarak değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır. Hava yoğunluğundaki azalma doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini zayıflatırken, ortam sıcaklığındaki düşüş junction sıcaklığını azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu nedenle yüksek irtifa koşullarında LED termal performansının değerlendirilmesinde her iki atmosferik etkinin birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca tüm irtifa seviyelerinde beyaz LED'in en yüksek, kırmızı LED'in ise en düşük junction sıcaklığına sahip olması, LED rengine bağlı elektriksel ve optik parametrelerin termal davranış üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sabit kanatlı insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon LED sistemlerinin termal performansı, irtifaya bağlı değişen atmosferik koşullar altında analitik bir model kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı renklerdeki LED'lerin elektriksel ve termal özellikleri dikkate alınmış, hava yoğunluğu ve ortam sıcaklığının irtifaya bağlı değişiminin LED junction sıcaklığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Atmosferik analiz sonuçları, irtifa arttıkça hava yoğunluğunun azaldığını ve buna bağlı olarak doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferinin zayıfladığını göstermiştir. Bu durum eşdeğer termal direncin artmasına neden olmaktadır. Ancak aynı zamanda ortam sıcaklığının da irtifaya bağlı olarak azalması, LED junction sıcaklığı üzerinde ters yönde bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle yüksek irtifa koşullarındaki LED termal davranışı, yalnızca hava yoğunluğu veya

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

yalnızca ortam sıcaklığı dikkate alınarak açıklanamamakta, her iki atmosferik etkinin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada kullanılan parametreler altında ortam sıcaklığındaki azalmanın etkisinin, eşdeğer termal dirençteki artışa kıyasla daha baskın olduğu görülmüştür. Bu nedenle tüm LED tiplerinde junction sıcaklığı, deniz seviyesinden yaklaşık 12000 m irtifaya kadar azalma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte 12000 m sonrasında ortam sıcaklığının yaklaşık sabit kabul edilmesine karşın hava yoğunluğunun azalmaya devam etmesi nedeniyle eşdeğer termal direnç artışını sürdürmüş ve junction sıcaklıklarında yeniden yükselme eğilimi gözlenmiştir.

LED renkleri arasında yapılan karşılaştırmada, kırmızı LED'in tüm irtifa seviyelerinde en düşük junction sıcaklığına sahip olduğu belirlenmiştir. Beyaz LED ise daha yüksek elektriksel güç tüketimi ve daha yüksek ısı üretimi nedeniyle en yüksek junction sıcaklığı değerlerini vermiştir. Yeşil LED ise termal performans bakımından bu iki LED tipi arasında yer almıştır. Bu sonuçlar, LED renginin ileri yön gerilimi ve optik verim gibi elektro-termal parametreler üzerinden birleşim noktası sıcaklığını etkileyen önemli bir tasarım değişkeni olduğunu göstermektedir.

Çalışma sonuçları, yüksek irtifa koşullarında navigasyon LED sistemlerinin termal performansının değerlendirilmesinde ortam sıcaklığının ihmal edilmesinin yanıltıcı sonuçlara yol açabileceğini ortaya koymuştur. Hava yoğunluğunun azalması doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini zayıflatırken, ortam sıcaklığındaki düşüş junction sıcaklığını azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu nedenle yüksek irtifa uygulamalarında gerçekleştirilecek termal analizlerde her iki atmosferik etkinin birlikte dikkate alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, irtifaya bağlı atmosferik değişimlerin navigasyon LED sistemlerinin termal performansı üzerinde önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek irtifa koşullarında LED sistemlerinin yalnızca elektriksel özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmesinin yeterli olmadığını, atmosferik parametrelerin de tasarım sürecine dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmanın, insansız hava araçlarında kullanılan navigasyon aydınlatma sistemlerinin daha güvenilir ve etkin şekilde tasarlanmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Elde edilen bulgular, yüksek irtifa koşullarında navigasyon LED sistemlerinin termal performansının yalnızca hava yoğunluğu dikkate alınarak değerlendirilemeyeceğini, ortam sıcaklığındaki değişimin de mutlaka analizlere dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, doğal taşınım etkisinin baskın kabul edildiği sadeleştirilmiş analitik model kapsamında değerlendirilmelidir. Gerçek uçuş koşullarında LED yüzeyi etrafında oluşan hava akışı nedeniyle zorlanmış taşınım etkisi ortaya çıkabilmekte ve bu durum ısı transfer katsayısını artırarak birleşim noktası sıcaklığını düşürebilmektedir. Ayrıca radyatif ısı transferi, LED lens geometrisi, PCB bakır alanı, soğutucu yapısı, gövdeye iletim ve uçuş hızına bağlı akış rejimi bu çalışmada doğrudan hesaba katılmamıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar mutlak tasarım değeri olarak değil, irtifaya bağlı atmosferik değişimlerin LED termal davranışı üzerindeki etkisini gösteren karşılaştırmalı sonuçlar olarak değerlendirilmelidir.

Gelecek çalışmalarda zorlanmış taşınım etkisinin uçuş hızı ve LED yerleşim geometrisiyle birlikte sayısal veya deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Austin, R. (2010). *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*. Wiley.

[2] Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (Eds.). (2015). *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Springer.

[3] Anderson, J. D. (2015). *Introduction to flight* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

[4] Arık, M., Becker, C., Weaver, S., & Petroski, J. (2004). Thermal management of LEDs: Package to system. *Proceedings of SPIE*, 5187, 64–75. https://doi.org/10.1117/12.512731

[5] Sümer, Y., Karaman, O., & Karaman, C. (2021). Design and thermal analysis of high power LED light. *European Mechanical Science*, 5(1), 28–33. https://doi.org/10.26701/ems.825141

[6] Baran, K., Różowicz, A., Wachta, H., Różowicz, S., & Mazur, D. (2019). Thermal analysis of the factors influencing junction temperature of LED panel sources. *Energies*, 12(20), 3941. https://doi.org/10.3390/en12203941

[7] Kim, L., & Shin, M. W. (2007). Thermal resistance measurement of LED package with multichips. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 30(4), 632–636.

[8] Meneghini, M., Trevisanello, L. R., Meneghesso, G., & Zanoni, E. (2008). A review on the reliability of GaN-based LEDs. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 8(2), 323–331.

[9] Narendran, N., & Gu, Y. (2005). Life of LED-based white light sources. *IEEE/OSA Journal of Display Technology*, 1(1), 167–171.

[10] Bar-Cohen, A., & Kraus, A. D. (Eds.). (2003). *Advances in thermal modeling of electronic components and systems*. ASME Press.

[11] Yeh, L. T., & Chu, R. C. (2002). *Thermal management of microelectronic equipment: Heat transfer theory, analysis methods, and design practices*. ASME Press.

[12] Christensen, A., & Graham, S. (2009). Thermal effects in packaging high power light emitting diode arrays. *Applied Thermal Engineering*, 29(2–3), 364–371. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.03.019

[13] Feng, J., & Qiu, Y. (2012). Optimization of heat sink design for high power LED lighting. *Applied Thermal Engineering*, 38, 54–60.

[14] Gu, Y., Narendran, N., & Freyssinier, J. P. (2006). Electro-thermal modeling of high power LED systems. *Microelectronics Journal*, 37(10), 1250–1257.

[15] Luo, X., & Liu, S. (2007). Thermal and mechanical analysis of high-power LED packages. *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 30(3), 475–482.

[16] Bejan, A. (2013). *Convection heat transfer* (4th ed.). Wiley.

[17] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

[18] Incropera, F. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.

[19] Kays, W. M., Crawford, M. E., & Weigand, B. (2005). *Convective heat and mass transfer* (4th ed.). McGraw-Hill.

[20] Lasance, C. J. M. (1999). Adjusting temperatures for high altitude. *Electronics Cooling*.

[21] Kakaç, S., & Yener, Y. (1995). *Convective heat transfer* (2nd ed.). CRC Press.

Not: Bu çalışmada yer alan tüm görseller yazar tarafından oluşturulmuştur.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

MATERIAL, MECHANICAL, AND ELECTROMAGNETIC CO-DESIGN IN FLEXIBLE AND TEXTILE WEARABLE ANTENNAS: FABRICATION METHODS, DEFORMATION ROBUSTNESS, AND REAL-USE VALIDATION

Lecturer Eray Mert TEKİN
Mersin University, emtekin@mersin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6578-1061
Prof. Dr. Ali AKDAĞLI
Mersin University, akdagli@mersin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3312-992X

ABSTRACT

Flexible wearable antennas enable electronic functions to be integrated with garments, patches, wristbands, and soft device surfaces, making them an important research field for Wireless Body Area Networks. Their success cannot be explained only by compact size and low profile; substrate and conductor selection, fabrication method, bending and twisting behavior, environmental durability, body proximity, and user comfort must be considered together. This study provides a comparative review of current flexible, textile, thin-film, elastomeric, and nanomaterial-based antenna research, organized around materials, fabrication, mechanical reliability, and real-use performance. The relevant studies are evaluated in terms of material properties, fabrication technique, antenna architecture, operating band, mechanical tests, environmental tests, on-body measurements, Specific Absorption Rate, and link validation. The synthesis shows that textile structures are advantageous for comfort and garment integration, thin polymer films for low thickness and printable manufacturing, elastomers for stretchability, and nanomaterials for emerging functions. However, dielectric uncertainty, conductor cracking, contact resistance, moisture, perspiration, washing, and cyclic deformation can change performance over time. Fully textile patch antennas, reconfigurable low-profile antennas, broadband monopole and Vivaldi antennas, printed thin film antennas, metasurface-supported circular polarization antennas, and flexible multi-antenna systems meet diverse requirements. Instead of relying on a single bending demonstration, the study proposes a six-stage validation chain combining mechanical cycling, environmental durability, body loading, and dynamic link tests. Reliable flexible antenna design therefore requires the coordinated treatment of materials, mechanical loading, and radio frequency behavior within one co-design process.

Keywords: Flexible Antenna, Textile Antenna, Wearable Antenna, Wireless Body Area Network, Deformation Robustness, Specific Absorption Rate, Smart Clothing

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

Wearable electronics integrate sensing, processing, energy management, and wireless communication functions into products that remain in continuous contact with the human body. For sensors used in health monitoring, rehabilitation, sports, military operations, occupational safety, and personal communication applications to form a reliable network, the antenna must be not only electromagnetically efficient but also lightweight, conformal, and durable in daily use. A Wireless Body Area Network (WBAN) is the basic framework that coordinates communication between nodes distributed on the body and external gateways. Within this network, a flexible antenna is a radio-frequency interface that can be integrated into a garment, a soft patch, or a curved surface (Ali et al., 2020; Kirtania et al., 2020; Ali et al., 2023). Whereas preserving geometry is the main advantage of rigid antennas, the objective of flexible antennas is to maintain electrical functionality despite the intended deformation. This distinction directly extends the design problem into materials science and mechanical reliability. The weave direction, porosity, and moisture retention of a fabric; the fatigue behavior of a thin film; changes in elastomer thickness under strain; and the surface resistance of conductive fabric, silver ink, copper foil, or graphene can produce different results for the same antenna geometry. Cutting, embroidery, printing, coating, bonding, and connector-assembly steps during fabrication are also part of the electromagnetic tolerance chain (Mahfuz et al., 2022; Marterer et al., 2024; Manikandan et al., 2024). Flexibility alone is not an indicator of quality. As an antenna conforms to the body, its resonant frequency, impedance matching, gain, efficiency, radiation pattern, and polarization may change. A design that appears stable under uniaxial bending may fail under twisting or wrinkling, while a conductive layer that operates in dry conditions may show increased resistance after exposure to perspiration, washing, or friction. The high permittivity and lossy nature of human tissues affect the field distribution near the body and the Specific Absorption Rate (SAR). Flexible antenna assessment should therefore establish a measurable balance between mechanical conformity and electromagnetic stability (Mahmood et al., 2020; John et al., 2022).

In the existing literature, flexible antennas are generally examined through a specific material, operating band, or antenna topology. By contrast, studies that combine material selection, fabrication scalability, repeated mechanical loading, environmental aging, and link performance within the same comparison remain more limited. The purpose of this paper is to evaluate flexible and textile-based antennas comprehensively in terms of materials, mechanical behavior, environmental durability, and service life. The study offers four contributions: a value chain extending from material selection to real use; a functional classification of flexible antenna architectures; a six-stage durability and validation framework; and a research agenda that jointly addresses comfort, safety, sustainability, and link performance.

2. REVIEW SCOPE AND ANALYSIS AXES

The review was conducted on the basis of experimental studies and comprehensive review articles in the current literature. The sources were classified into general flexible antenna assessments, textile materials, fabrication and interconnection methods, reconfigurable structures, wideband and multiband antennas, body effects, metasurface-assisted designs, nanomaterial-based conductors, and real-use tests. Rigid printed-circuit-board antennas were

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

used only to explain the scope boundary and the main trade-offs; the main synthesis was based on structures intended to bend, curve, or change shape with clothing during use.

The comparison scope was defined according to three criteria. First, the substrate or conductive layer had to be flexible, textile, thin-film, or elastomeric. Second, the study had to address at least one use condition other than the flat state, such as bending, curvature, twisting, wearing, washing, or environmental exposure. Third, the antenna had to be associated with a wearable or body-centric use scenario. Implantable antennas and antennas intended only for rigid devices were not included in the main evaluation. Each publication was coded in terms of substrate, conductor, thickness, fabrication technique, antenna architecture, operating band, physical dimensions, the S_{11} scattering parameter (input reflection coefficient), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, efficiency, radiation pattern, SAR, mechanical testing, environmental testing, and on-body connectivity. For Multiple Input Multiple Output (MIMO) studies, isolation, Envelope Correlation Coefficient (ECC), Diversity Gain (DG), Channel Capacity Loss (CCL), and Total Active Reflection Coefficient (TARC) were considered. Because the studies used different frequencies, bending radii, tissue models, input powers, and fabrication methods, the raw numerical values were not converted into an absolute performance ranking. Instead, the results were interpreted in terms of deviation from the flat state, change after cycling, stability near the body, and the level of experimental evidence. This approach highlighted not only the design reporting the highest gain, but also the design that retained its function under use conditions and was validated in a reproducible manner.

3. MATERIAL AND FABRICATION ECOSYSTEM

Flexible antenna design begins with material and fabrication decisions before antenna geometry is considered. Textile substrates provide natural conformability and breathability; however, fiber structure, weave density, compression, and moisture can change their dielectric properties. Thin films such as polyimide (PI), polyethylene terephthalate (PET), polyethylene naphthalate (PEN), and liquid crystal polymer (LCP) provide smoother surfaces and higher printing accuracy. Elastomers such as polydimethylsiloxane (PDMS), Ecoflex, and thermoplastic polyurethane (TPU) offer high shape conformity, although their thickness and relative permittivity may change under strain (Kirtania et al., 2020; John et al., 2022).

Conductive-layer options involve similar trade-offs. Copper foil provides low surface resistance but may wrinkle or delaminate from the substrate under repeated bending. Conductive fabrics and embroidered yarns facilitate garment integration, whereas stitch spacing, fiber orientation, and contact points introduce additional loss. Silver-nanoparticle inks are suitable for scalable production through screen printing, inkjet printing, and coating methods. Emerging materials such as graphene, carbon nanotubes, MXene, and metal foams can provide low weight, stretchability, electromagnetic shielding, or multifunctionality; however, contact resistance, oxidation, long-term stability, and repeatability in mass production remain open issues (Wang et al., 2024; Moncayo-Rea et al., 2025). The fabrication method determines not only cost but also the actual antenna geometry. Laser cutting and copper foil provide precise edges, while an adhesive layer may introduce an additional dielectric. Embroidery allows direct integration into a wearable product, but conductor density changes at corners and along narrow lines. Printed electronics offers low material use and large-area production; however, drying temperature, ink viscosity, and fabric absorption affect conductivity continuity. Tavares et al. (2024) fabricated

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

antennas operating from 3 to 3.5 GHz on polyester and naturally derived burel fabric by using a scalable printing process with water-based silver-nanoparticle ink, and showed that the return-loss characteristics were maintained after bending and washing cycles. This approach demonstrates that performance and environmental sustainability can be combined within the same fabrication decision. Figure 1 presents the value chain extending from flexible antenna application areas to material and fabrication options and then to mechanical, environmental, and on-body validation. Table 1 compares the main material groups in terms of electromagnetic properties, mechanical advantages, fabrication options, and use-related risks.

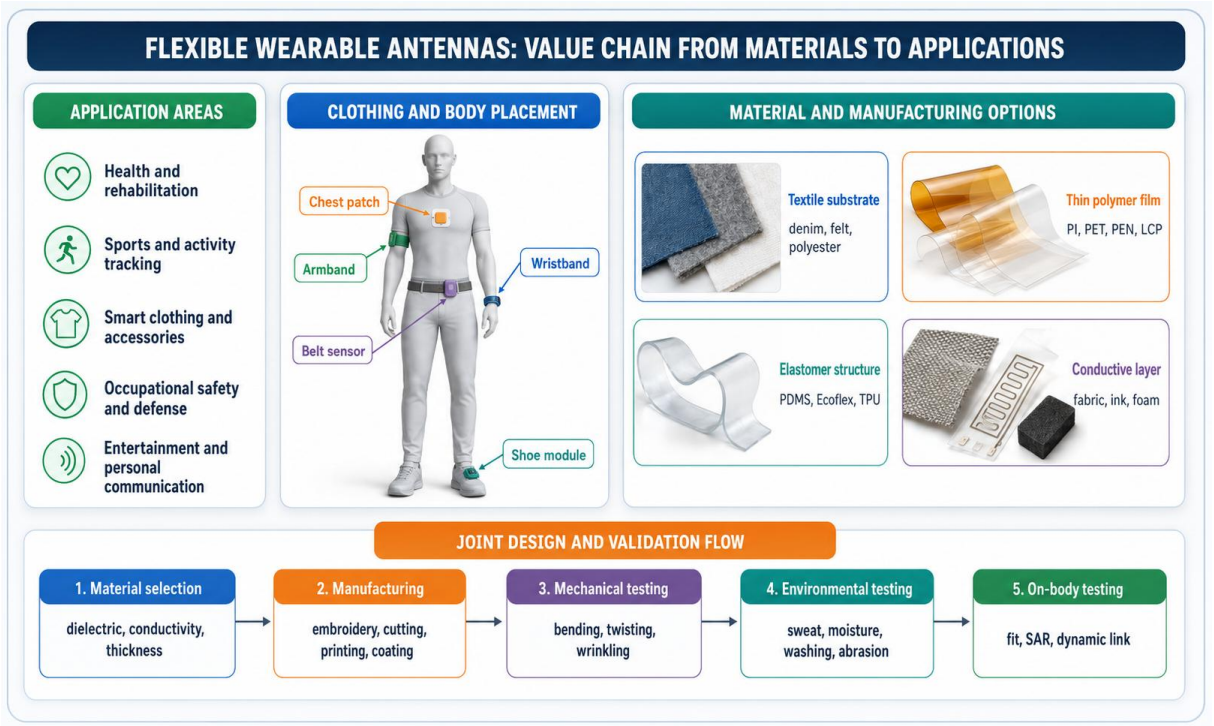


Figure 1. Value chain for materials, fabrication, body placement, and validation in flexible wearable antennas.

4. ELECTROMAGNETIC STABILITY UNDER DEFORMATION

The central promise of a flexible antenna is that it does not completely lose its function when its shape changes. During bending, the effective current path on the radiator, the distance between the antenna and the ground plane, and the surrounding field distribution change. The results may differ when the curvature axis is parallel or perpendicular to the current direction. Therefore, reporting only the bending angle is insufficient; the radius, axis, concave or convex state, specimen-fixation method, and number of test repetitions should be reported together. A wideband design may tolerate small resonance shifts, whereas a narrowband structure may move outside its operating band under the same deformation. Ali et al. (2021) evaluated a dual-band meander monopole antenna fabricated from standard commercial materials on the chest and arm of different individuals and obtained stable impedance and gain in both bands despite body loading.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Table 1. Material groups used in flexible antennas and fabrication trade-offs.

Material group	Typical examples	Main advantage	Key risk	Suitable fabrication
Textile substrate	Denim, felt, polyester, neoprene	Comfort, breathability, and garment integration	Moisture, compression, and dielectric uncertainty	Cutting, embroidery, bonding, lamination
Thin polymer film	PI, PET, PEN, LCP	Low thickness, smooth surface, and high-precision printing	Fatigue, cracking, and delamination	Photolithography; inkjet; screen printing
Elastomer substrate	PDMS, Ecoflex, TPU	Stretchability and soft body conformity	Changes in geometry and material properties under strain	Casting, transfer printing, embedded conductors
Textile conductor	Conductive fabric, yarn, foam	Natural garment integration and low weight	Contact resistance, fiber orientation, and wear	Embroidery, sewing, cutting, thermal bonding
Printed conductor	Silver, copper, and carbon inks	Scalable fabrication and low material consumption	Curing, cracking, and fabric absorption	Screen printing, inkjet, spraying
Nanomaterial	Graphene, carbon nanotubes, MXene	Flexibility, low weight, and multiple functions	Oxidation, interconnection, and long-term stability	Coating, printing, composite fabrication

Dang et al. (2021) added a flexible circuit and snap-connected tuning module to a textile Planar Inverted-F Antenna (PIFA), demonstrating a frequency-tuning range of approximately 70%. These findings show that flexibility is not merely a passive mechanical property, but a functional feature that can be co-designed with tunable electronics and textile interconnections. Uniaxial bending does not represent all mechanical loads encountered in actual use. An antenna on a garment may twist during shoulder or elbow movement, wrinkle while the user is seated or carrying a bag, and experience conductor fatigue during long-term use. Repeated-cycle tests should monitor not only S_{11} but also surface resistance, microscopic cracks, connector integrity, gain, and efficiency. Marterer et al. (2024) emphasize that textile-antenna design requires an application-dependent balance between electromagnetic and mechanical requirements. Ibrahim et al. (2023), who operated a wideband antenna on a thin substrate from 2.4 to 10 GHz in both flat and bent states, also showed that time-domain behavior is important in wideband validation. Environmental effects are as decisive as mechanical deformation. Perspiration and moisture may increase the permittivity and dielectric loss of a textile substrate, while saline liquids may

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

cause corrosion or conductive short paths on the conductor surface. Detergent, temperature, friction, and drying method create different damage mechanisms during washing. Zhu et al. (2024) demonstrated spectral stability against mechanical deformation and conductive saline-solution effects by using a coaxially shielded textile metamaterial network. This system-level approach targets the durability of a sensor network distributed over a garment rather than that of a single antenna element. Figure 3 combines bending, twisting, environmental loading, and body proximity within a six-stage validation chain. Table 3 summarizes the variables to be controlled in each test and the electromagnetic results to be reported.

5. FLEXIBLE ANTENNA ARCHITECTURES AND FUNCTIONAL DESIGN

A flexible antenna architecture should be selected together with material and fabrication constraints. A microstrip patch antenna can reduce the field directed toward body tissues through a full ground plane and can be readily placed on large fabric surfaces. However, textiles with low permittivity may increase the physical size. Slot and monopole antennas can provide wide bandwidth and simple feeding, although a partial ground plane may increase body coupling. A coplanar waveguide (CPW) feed places the radiator and ground elements on the same surface, facilitating single-layer printing and textile fabrication.

All-textile patch architectures combine conductive fabric with denim or felt substrates. Li et al. (2022) presented a low-profile multiband circular patch antenna covering the 2.45 and 5.8 GHz Industrial, Scientific, and Medical (ISM) bands, WiMAX, and sub-6 GHz 5G ranges. The limited bending effect on an arm model and the low SAR obtained through a full ground plane demonstrate the importance of body isolation in textile structures. The dual-band logo antenna developed by Atanasova et al. (2022) provided a design integrated with the identity of a garment or accessory rather than appearing as a visible electronic component; its reflector provided resilience to nearby-object loading and enabled real off-body link validation. Recent denim- and fabric-based studies show that topology and application objectives vary even within the same material class. Kavitha et al. (2023) compared a 30 × 30 mm jeans antenna for 3.4 GHz on different substrates. Kisioglu (2025) examined resonances at 2.45 and 7.88 GHz on denim together with wide operating ranges. Salma et al. (2025) proposed a cactus-shaped textile antenna covering telemetry, WiMAX, and X-band applications, while BoseBabu and Nageswara Rao (2025) proposed a triple-band fabric antenna for wireless local-area-network applications. The evaluation of the low-profile dual-band flexible antenna presented by Khan et al. (2024) under bending and body loading further supports the need to validate material flexibility together with topology and body effects. Reconfigurable structures aim to use the same antenna for different applications or body positions. Musa et al. (2022) comprehensively classified frequency, pattern, and polarization tuning using switching elements, varactor diodes, and mechanical interconnections. Although a flexible PIFA combines a low profile with tunability, the weight of the circuit module, the reliability of the textile connection, and the behavior of bias lines during bending should also be validated. Zade et al. (2025) tuned a dual-band flexible PIFA operating at 3 and 5.3 GHz with a shorting pin and slots and examined body effects on a skin phantom. Wideband and ultra-wideband (UWB) antennas provide inherent tolerance to resonance shifts and support high data rates. Maria and Mythili (2024) operated a 27 × 28 × 0.7 mm UWB textile antenna on denim from 3.01 to 15.98 GHz and reported efficiencies of 83.5% to 90.11%, a peak gain of 5.81 dBi, and SAR values within standard limits

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

at different frequencies. Awan et al. (2023) presented a tri-band structure covering 2.45, 3.5, and 5.8 GHz on a 0.254 mm-thick Rogers substrate and jointly examined different bending states and a four-layer tissue model. Abdullah Al-Hadi et al. (2025) evaluated the two-axis bending behavior and performance on different body regions of a 45 × 45 mm polyester Vivaldi antenna designed for 3.5 GHz.

Metasurface and multi-antenna structures aim to improve gain, polarization, and channel capacity despite flexibility. Electromagnetic band-gap (EBG), artificial magnetic conductor (AMC), and frequency-selective surface (FSS) layers can reduce back radiation; however, thickness, alignment, and changes in cell spacing during bending introduce new design challenges. Le et al. (2024) increased the circular-polarization bandwidth at 5.85 GHz by using a 4 × 4 textile metasurface and reported an impedance bandwidth of 83.64%, an axial-ratio bandwidth of 49.6%, a peak gain of 9 dBic, and an efficiency of 70%. Wichakoon et al. (2025) tested a 3 × 3 metasurface antenna made of felt and conductive fabric on the chest, shoulder, and back, reporting a gain range of 4.62 to 6.71 dBi near 2.4 GHz. In flexible MIMO structures, element isolation should be maintained under bending. High isolation only in the flat state is insufficient; ECC, DG, CCL, and TARC should be examined at different curvatures together with the S_{11} value of each port. As thin-film or textile elements move closer to one another, common-ground currents and polarization may change. Metasurface-assisted or separated-element structures can reduce this effect, although they increase the fabrication area and number of layers. Unlike conventional far-field antennas, Human Body Communication (HBC) and near-field textile networks can transform clothing into a controlled transmission medium (Zhu et al., 2024). Figure 2 presents flexible antenna architectures in six main groups by relating them to materials, fabrication, and intended use. Table 2 compares the design, bending, and body-validation results of selected experimental studies.

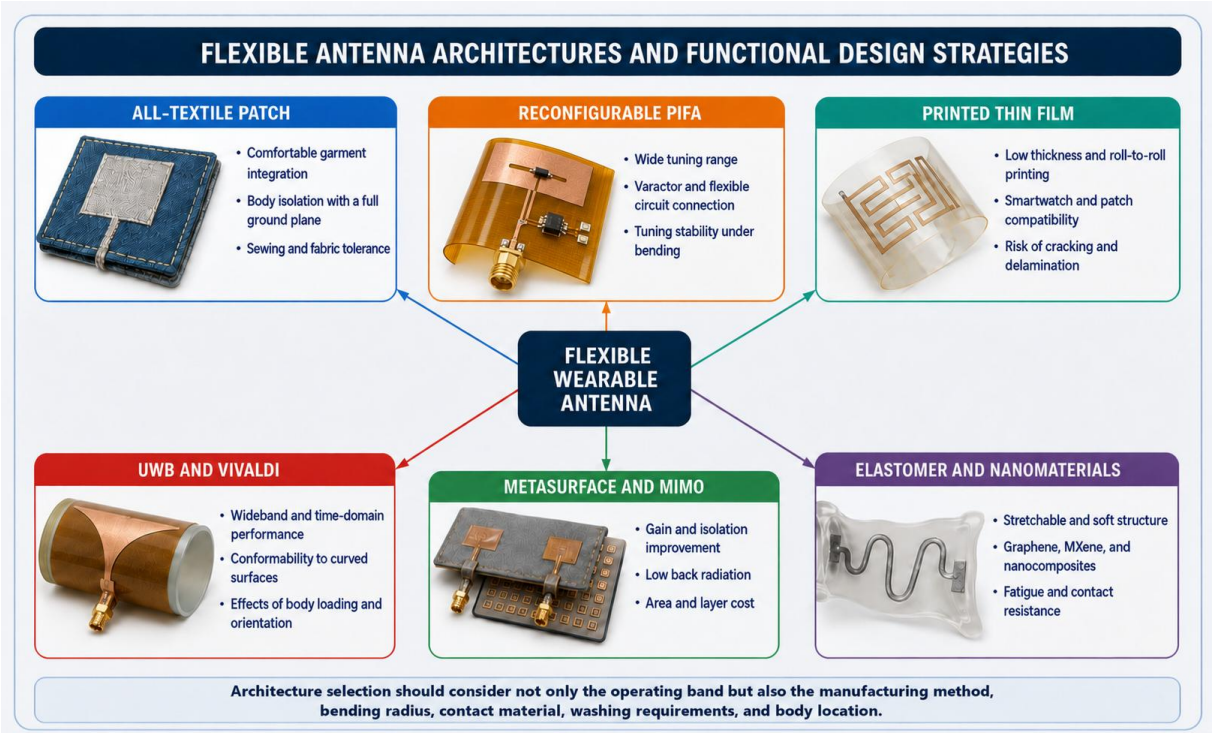


Figure 2. Flexible antenna architectures, material options, and functional design strategies.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Table 2. Comparison of selected flexible and textile wearable-antenna studies.

Study	Structure and material	Band or dimensions	Mechanical and body test	Key result
Ali et al. (2021)	Dual-band meander monopole, multilayer flexible material	Lower and upper frequency bands	Chest, arm, and different users	Bands stable under body loading and bending
Dang et al. (2021)	Reconfigurable textile PIFA, flexible circuit, and snap fastener	Approximately 70% tuning range	Different bending states and body positions	Nearly one-octave tuning and stable directional pattern
Atanasova et al. (2022)	All-textile dual-band logo antenna and reflector	2.4 and 5.47 GHz	Body, laptop computer, and bag	Low SAR and real off-body link test
Li et al. (2022)	Multiband circular patch on denim	60 × 60 × 1.17 mm	Bending on an arm model	Four bands, full ground plane, and low SAR
Awan et al. (2023)	CPW-fed tri-band monopole on thin Rogers substrate	15 × 20 × 0.254 mm	Different bending states and four-layer tissue model	2.45, 3.5, and 5.8 GHz; safe SAR
Ibrahim et al. (2023)	Wideband monopole on a thin flexible substrate	2.4 to 10 GHz	Flat and bent states	Time-domain validation over a wide band
Le et al. (2024)	All-textile antenna and 4 × 4 metasurface	5.85 GHz	Free-space and body environments	9 dBic gain, 70% efficiency, and wide circular-polarization band
Maria and Mythili (2024)	UWB textile antenna on denim	27 × 28 × 0.7 mm	Deformation and body loading	3.01 to 15.98 GHz, 5.81 dBi, and safe SAR
Tavares et al. (2024)	Water-based silver printed on polyester and burel	3 to 3.5 GHz	Bending, washing, and garment integration	Scalable and more sustainable fabrication

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Study	Structure and material	Band or dimensions	Mechanical and body test	Key result
Wichakoon et al. (2025)	Felt, conductive fabric, and 3 × 3 metasurface	2.4 GHz	Curvature on the chest, shoulder, and back	4.62 to 6.71 dBi gain and position-dependent stability

6. BODY PROXIMITY SAFETY AND USER EXPERIENCE

Improved conformity of a flexible antenna to the body does not eliminate electromagnetic interaction; it may instead reduce the distance between the antenna and tissue. Proximity changes the resonant frequency and impedance matching, while lossy tissues reduce efficiency and may distort the radiation pattern. A full ground plane, reflector, or metasurface can reduce the field directed toward the body, but may affect antenna flexibility, thickness, and breathability. User safety and mechanical comfort should therefore be evaluated within the same design variable.

To compare SAR results, the 1 g or 10 g tissue average, input power, distance between the antenna and tissue, phantom layers, and scaling method should be reported clearly. Awan et al. (2023) reported values below the relevant standard limits for both 1 g and 10 g tissue at all three operating bands. Maria and Mythili (2024) reported SAR values of 1.2, 1.06, and 1.58 W/kg for the UWB antenna at 4, 7, and 10 GHz, respectively. Numerical values alone are not sufficient; bending, body position, and the backing structure should be preserved in the same model. User experience cannot be explained solely by low antenna weight. A rigid connector, thick coaxial cable, large reflector, or sharp conductive edge may weaken garment integration. Flexible cables and snap connections provide removability but may introduce contact resistance and fatigue. Atanasova et al. (2022) combined visibility and function by integrating the antenna as a logo into garments and bags. Tavares et al. (2024) transferred printed antennas to clothing and indoor surfaces, showing that the same fabrication approach can be adapted to different use scenarios. Real-use validation should extend beyond a static on-body S_{11} measurement. Walking, arm movement, sitting, perspiration, and environmental multipath conditions may change link loss and connection continuity. Received Signal Strength Indicator (RSSI), packet loss, range, and energy consumption should be monitored together with antenna metrics. The packet-loss and RSSI measurements reported by Atanasova et al. (2022) provide an example of system-level validation of the antenna position within an accessory. The near-field textile-network approach aims to provide a stable and safer transmission medium for different sensors distributed over a garment (Zhu et al., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

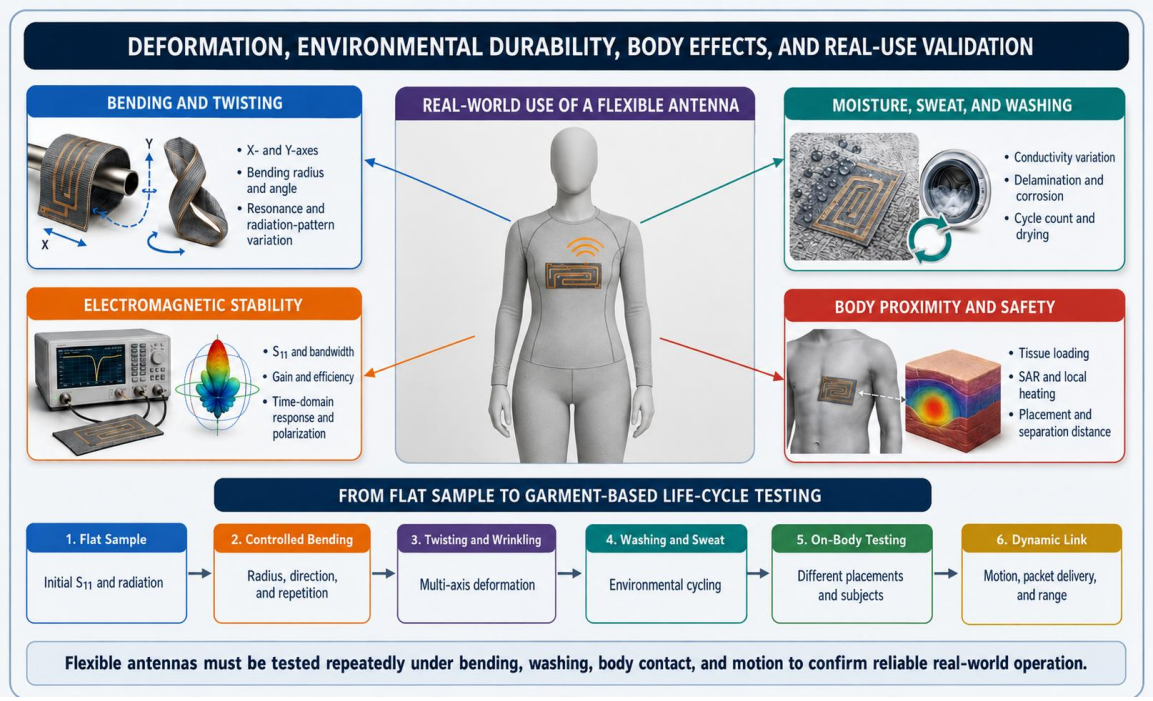


Figure 3. Validation chain for deformation, environmental durability, body effects, and real use in flexible antennas.

Table 3. Mechanical and environmental validation framework for flexible antennas.

Test	Control variables	Antenna metrics to be monitored	Success criterion
Controlled bending	Radius, axis, concave or convex state	S_{11}, resonance, gain, efficiency, pattern	Target band and radiation function are maintained at different curvatures
Twisting and wrinkling	Angle, multiaxial load, fixation point	Impedance, polarization, surface resistance	No sudden loss of function during realistic garment motion
Mechanical cycling	Number of cycles, speed, rest time	S_{11} change, conductor cracks, contact resistance	Performance change remains limited over the service life
Moisture and perspiration	Relative humidity, salt concentration, duration, drying	Resonance, loss, isolation, and corrosion	The change between wet and dry states is reported
Washing and abrasion	Detergent, temperature, cycle, drying, friction	S_{11}, gain, efficiency, and physical damage	The antenna retains its function after a specified number of cycles
On-body movement	Position, person, posture, walking, and arm movement	RSSI, packet loss, range, SAR	Link continuity and safety are maintained during dynamic use

7. DURABILITY SUSTAINABILITY AND REPORTING

Flexible antenna research shows a clear gap between short-term performance and product lifetime. Reaching the target band in the first measurement does not demonstrate that a

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

prototype will retain the same performance after washing, perspiration, friction, and thousands of motion cycles. Encapsulation, seam edges, connectors, and cable exits may be the weakest regions in textile antennas. Conductive cracking and adhesion loss should be monitored in thin-film antennas, while permanent elongation and viscoelastic relaxation should be examined in elastomeric structures. Visual inspection, microscope images, and surface-resistance measurements should be reported together with electromagnetic results.

Sustainability is not limited to the natural origin of the substrate. The chemistry of the conductive ink, curing energy, recycling, product disassembly, and particle release during washing should also be assessed. Water-based printing processes and lower-temperature fabrication can reduce energy use and chemical burden (Tavares et al., 2024). Conversely, a high silver content increases cost and resource consumption. Future studies should compare equivalent electromagnetic performance across different materials and fabrication processes by using life-cycle indicators. Complete reporting is a prerequisite for fair comparison among studies. Substrate thickness, density, relative permittivity, loss tangent, moisture condition, and measurement method should be provided. For the conductor, surface resistance, thickness, fabrication direction, and contact method should be described. The bending radius and axis should be reported instead of only a bending photograph; the standard, cycle, and drying method should be stated instead of merely mentioning washing. Gain, efficiency, and radiation patterns should be compared in the flat, bent, and on-body states in addition to S_{11} and VSWR. MIMO and metasurface-based structures require more detailed reporting. ECC, DG, CCL, and TARC should be provided for all ports under different deformations. Changes in EBG, AMC, or FSS cell spacing under curvature, the resonance phase, and alignment with the antenna should be described. Circular-polarization studies should report the axial-ratio bandwidth and polarization direction under different bending conditions. Reconfigurable structures should report switch states, the bias circuit, tuning speed, power consumption, and textile-interconnection lifetime. Table 4 combines the minimum material, mechanical, electromagnetic, safety, durability, and system-level reporting criteria for flexible antennas.

Table 4. Multidimensional evaluation and minimum reporting framework for flexible wearable antennas.

Dimension	**Example metric or test**	**Interpretation of a successful result**	**Minimum reporting**
Material and fabrication	Dielectric properties, surface resistance, thickness, and tolerance	Reproducible electromagnetic behavior across prototypes	Material measurement method, fabrication direction, and interconnection details
Mechanical conformity	Bending radius, twisting, cycling, and permanent shape	Target band and radiation function are maintained under use-related deformation	Axis, radius, number of cycles, and change relative to the flat state

Dimension	Example metric or test	Interpretation of a successful result	Minimum reporting
Electromagnetic performance	S_{11}, VSWR, band, gain, efficiency, and pattern	Results are consistent in flat, bent, and on-body states	Comparison using the same prototype and measurement setup
User safety	1 g and 10 g SAR, back radiation, and separation distance	Safe operation below standard limits	Input power, tissue model, distance, and scaling method
Environmental durability	Moisture, perspiration, washing, abrasion, and temperature	Acceptable performance after the specified number of cycles	Test standard, cycles, drying, and physical-damage record
System connectivity	RSSI, packet loss, range, and energy consumption	Link continuity is maintained during movement	Body position, motion scenario, antenna orientation, and environment

8. RESEARCH PRIORITIES AND DESIGN ROADMAP

The first priority is standardized material terminology and measurement. A fabric name alone is insufficient for an electromagnetic model; the same denim or polyester may vary with weave, moisture, and compression. Material properties should be measured as functions of frequency and mechanical loading and shared in open databases. The second priority is conductor and interconnection reliability. In many designs, the transition between the antenna surface and the connector may fail before the antenna geometry. Common fatigue tests should be developed for flexible cables, conductive adhesives, snap fasteners, and embroidered interconnections.

The third priority is joint measurement of comfort and electromagnetic performance. A thick reflector may improve SAR and gain while increasing garment stiffness; a full ground plane may provide body isolation while reducing breathability. In addition to gain and bandwidth, design optimization should include thickness, mass, bending stiffness, thermal comfort, and skin pressure. The fourth priority is to connect environmental and mechanical tests to the actual life cycle. Bending, washing, and perspiration tests should be applied within sequential aging protocols rather than independently. The fifth priority is scalable and safe fabrication of emerging materials. Graphene, MXene, and nanocomposite structures can combine conductivity, flexibility, and sensing functions; however, oxidation, biocompatibility, particle release, and variability in mass production should be examined carefully (Wang et al., 2024). Moncayo-Rea et al. (2025) compared a graphene-radiator CPW antenna on denim and polyester, demonstrating the effect of material selection on gain and efficiency. The sixth priority is to combine bending and beam control in 5G and next-generation applications. Multiband and wideband stability are important in sub-6 GHz systems, while surface accuracy, blockage, and array alignment become increasingly important at higher frequencies (John et al., 2022; Saleh et al., 2024). The seventh priority is open and reproducible validation packages.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Antenna drawings, fabrication files, material measurements, S-parameters, radiation results, bending fixtures, washing protocols, and dynamic-link data should be shared together. Such a structure would reduce the influence of approaches based on a single prototype reporting only the best result and would enable interlaboratory comparison. Figure 4 combines materials, fabrication, deformation, environmental durability, body safety, and system use within the same co-design cycle.

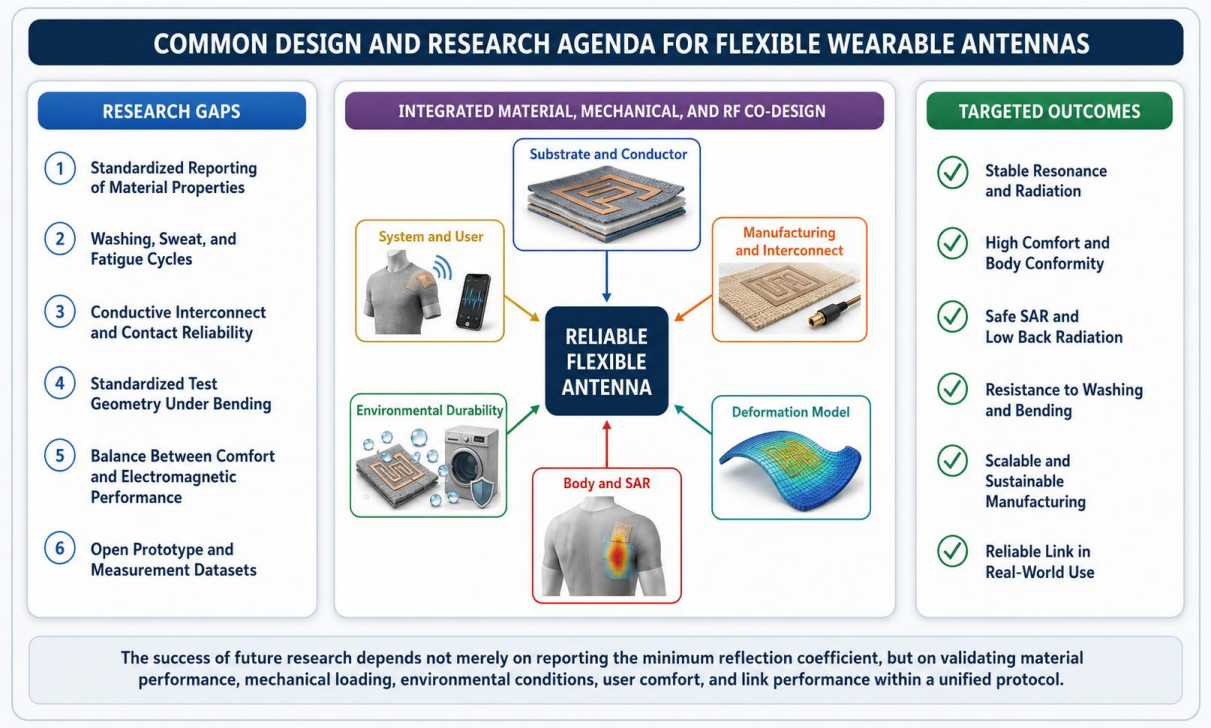


Figure 4. Co-design cycle, research gaps, and targeted outcomes for flexible wearable antennas.

9. CONCLUSION

Flexible and textile-based wearable antennas constitute a distinct engineering field in which materials, mechanical loading, fabrication, and the use environment must be considered together with electromagnetic design. Textile substrates provide comfort and garment integration, thin polymer films offer low thickness and precise printing, elastomers provide high shape conformity, and nanomaterials offer important opportunities for multifunctionality. However, dielectric uncertainty, conductor cracking, contact resistance, moisture, perspiration, washing, and repeated deformation limit long-term reliability.

All-textile patches, reconfigurable PIFAs, CPW-fed wideband monopoles, UWB and Vivaldi antennas, metasurface-assisted circularly polarized structures, flexible MIMO systems, and near-field textile-network architectures address different application requirements. The most suitable structure is not merely the design with the widest bandwidth or highest gain. User comfort, on-body stability, safe SAR, fabrication repeatability, environmental durability, and system connectivity should be evaluated together.

Future research should use an integrated validation chain comprising a flat specimen, controlled bending, multiaxial deformation, washing and perspiration cycles, on-body measurements, and dynamic-link tests rather than a single bending demonstration. Material properties and fabrication parameters should be reported clearly, and electromagnetic results should be

remeasured after mechanical and environmental aging. This co-design approach will advance flexible antennas from short-lived laboratory prototypes to comfortable, safe, sustainable, and reliable wearable communication components for real use.

REFERENCES

Abdullah Al-Hadi, A., Padmanathan, S., Loh, Y. S., Samsudin, Z., Azemi, S. N., Che Isa, C. M. N., et al. (2025). Analysis of bending and human body effects of compact full flexible Vivaldi antenna for 3.5 GHz in 5G sub-6 GHz wearable applications. 2025 IEEE International RF and Microwave Conference. https://doi.org/10.1109/RFM67034.2025.11284477

Ali, S. M., Sovuthy, C., Imran, M. A., Socheatra, S., Abbasi, Q. H., & Abidin, Z. Z. (2020). Recent advances of wearable antennas in materials, fabrication methods, designs, and their applications: State-of-the-art. Micromachines, 11, 888. https://doi.org/10.3390/mi11100888

Ali, S. M., Sovuthy, C., Noghanian, S., Ali, Z., Abbasi, Q. H., Imran, M. A., Saeidi, T., & Socheatra, S. (2021). Design and evaluation of a flexible dual-band meander line monopole antenna for on- and off-body healthcare applications. Micromachines, 12, 475. https://doi.org/10.3390/mi12050475

Ali, U., Ullah, S., Kamal, B., Matekovits, L., & Altaf, A. (2023). Design, analysis and applications of wearable antennas: A review. IEEE Access, 11. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3243292

Atanasova, G. L., Atanasov, B. N., & Atanasov, N. T. (2022). Fully textile dual-band logo antenna for IoT wearable devices. Sensors, 22, 4516. https://doi.org/10.3390/s22124516

Awan, W. A., Abbas, A., Naqvi, S. I., Elkamchouchi, D. H., Aslam, M., & Hussain, N. (2023). A conformal tri-band antenna for flexible devices and body-centric wireless communications. Micromachines, 14, 1842. https://doi.org/10.3390/mi14101842

BoseBabu, P., & Nageswara Rao, P. A. (2025). Design of triple band fabric antenna for WLAN applications. 2025 IEEE Wireless Antenna and Microwave Symposium. https://doi.org/10.1109/WAMS64402.2025.11158476

Dang, Q. H., Chen, S. J., Ranasinghe, D. C., & Fumeaux, C. (2021). A frequency-reconfigurable wearable textile antenna with one-octave tuning range. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 69(12). https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3083826

Ibrahim, A. A., Hassan, W. M., & Dhasarathan, V. (2023). Wide-band antenna on flexible and thin substrate for wireless systems. Wireless Personal Communications, 129, 2977–2993. https://doi.org/10.1007/s11277-023-10268-9

John, D. M., Vincent, S., Pathan, S., Kumar, P., & Ali, T. (2022). Flexible antennas for a sub-6 GHz 5G band: A comprehensive review. Sensors, 22, 7615. https://doi.org/10.3390/s22197615

Kavitha, V., Malaisamy, K., Murugesh, T. S., & SenthilKumar, M. (2023). Design and development of jeans textile antenna for wireless broadband applications. Journal of Industrial Textiles, 53. https://doi.org/10.1177/15280837231215374

Khan, M. A., Sethi, W. T., Malik, W. A., Jabbar, A., Khalid, M. A., Almuhlafi, A. M., & Himdi, M. (2024). A comprehensive analysis of low-profile dual band flexible omnidirectional wearable antenna for WBAN applications. IEEE Access, 12. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3380908

Kirtania, S. G., Elger, A. W., Hasan, M. R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T., & Sekhar, P. K. (2020). Flexible antennas: A review. Micromachines, 11, 847. https://doi.org/10.3390/mi11090847

Kisioglu, H. (2025). Development and performance assessment of a textile-based wearable antenna for WBAN applications. Journal of Statistics and Applied Sciences, 12, 99–104. https://doi.org/10.52693/jsas.1839372

Le, T. T., Kim, Y. D., & Yun, T. Y. (2024). Bandwidth-enhanced circularly polarized all-textile wearable antenna using an LP-to-CP metasurface. IEEE Access, 12. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3501282

Li, H., Du, J., Yang, X. X., & Gao, S. (2022). Low-profile all-textile multiband microstrip circular patch antenna for WBAN applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 21(4), 779–783. https://doi.org/10.1109/LAWP.2022.3146435

Mahfuz, M. M. H., Islam, M. R., Park, C. W., Elsheikh, E. A. A., Suliman, F. M., Habaebi, M. H., Malek, N. A., & Sakib, N. (2022). Wearable textile patch antenna: Challenges and future directions. IEEE Access, 10. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3161564

Mahmood, S. N., Ishak, A. J., Ismail, A., Soh, A. C., Zakaria, Z., & Alani, S. (2020). On-off body ultra-wideband antenna for wireless body area networks: A review. IEEE Access, 8. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3015423

Manikandan, M., Jenisha, J., Srinath, V., Rajasekaran, P., & Femina, V. (2024). Textile substrate materials for wearable antenna applications: A review. 2024 10th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems. https://doi.org/10.1109/ICACCS60874.2024.10716910

Maria, A., & Mythili, P. (2024). Compact UWB wearable textile antenna for on-body WBAN applications. Progress In Electromagnetics Research B, 105, 43–57. https://doi.org/10.2528/PIERB23100602

Marterer, V., Radouchová, M., Soukup, R., Hipp, S., & Blecha, T. (2024). Wearable textile antennas: Investigation on material variants, fabrication methods, design and application. Fashion and Textiles, 11, 9. https://doi.org/10.1186/s40691-023-00369-1

Moncayo-Rea, J. F., Plúa-Plúa, P., Rubio Roldan, G., & Aviles, J. C. (2025). A co-planar waveguide antenna using graphene for applications of wearable technology. 2025 IEEE Colombian Caribbean Conference. https://doi.org/10.1109/C366505.2025.11340024

Musa, U., Shah, S. M., Majid, H. A., Abidin, Z. Z., Yahya, M. S., Babani, S., & Yunusa, Z. (2022). Recent advancement of wearable reconfigurable antenna technologies: A review. IEEE Access, 10. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3222782

Saleh, S., Saeidi, T., Timmons, N., & Razzaz, F. (2024). A comprehensive review of recent methods for compactness and performance enhancement in 5G and 6G wearable antennas. Alexandria Engineering Journal, 95, 132–163. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.03.097

Salma, S., Khan, H., Sandeep, D. R., Madhav, B. T. P., & Raju, M. P. (2025). Denim-based wearable textile antenna for WiMAX, telemetry, and X-band applications. SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 12(1), 185–191. https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V12I1P118

Tavares, J., Loss, C., Pinho, P., & Alves, H. (2024). Flexible textile antennas for 5G using eco-friendly water-based solution and scalable printing processes. Advanced Materials Technologies, 9, 2301499. https://doi.org/10.1002/admt.202301499

Wang, C., Zhang, N., Liu, C., Ma, B., Zhang, K., Li, R., Wang, Q., & Zhang, S. (2024). New advances in antenna design toward wearable devices based on nanomaterials. Biosensors, 14, 35. https://doi.org/10.3390/bios14010035

Wichakoon, W., Arnmanee, P., Wongsiritorn, P., & Phongcharoenpanich, C. (2025). Textile antenna with meta-surface on curved-surface for smart clothing applications. 2025 22nd International Conference on Electrical Engineering, Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. https://doi.org/10.1109/ECTI-CON64996.2025.11101069

Zade, A., Roy, S., Mitra, M., & Bhattacharjee, S. (2025). Design and analysis of a dual band flexible PIFA antenna for wearable applications. 2025 Third International Conference on Microwave, Antenna and Communication. https://doi.org/10.1109/MAC64480.2025.11140458

Zhu, X., Wu, K., Xie, X., Anderson, S. W., & Zhang, X. (2024). A robust near-field body area network based on coaxially-shielded textile metamaterial. Nature Communications, 15. https://doi.org/10.1038/s41467-024-51061-x

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

A COMPARATIVE REVIEW OF RIGID ANTENNA STRUCTURES FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS (WBAN) AND WEARABLE COMMUNICATION SYSTEMS: DESIGN APPROACHES, ELECTROMAGNETIC PERFORMANCE, AND HUMAN BODY INTERACTION

Prof. Dr. Ali AKDAĞLI
Mersin University, akdagli@mersin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3312-992X
Lecturer Eray Mert TEKİN
Mersin University, emtekin@mersin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6578-1061

ABSTRACT

Wearable antennas are key radio frequency components that connect body-worn sensors to gateways in remote health monitoring, sports, defense, industrial safety, and personal communication systems. Although flexible, textile, semi-rigid, and rigid antennas are frequently discussed under a common label, these classes create different design constraints in manufacturing repeatability, device integration, electromagnetic behavior near the body, and user comfort. After introducing the overall wearable antenna ecosystem, this study provides a comparative review focused on rigid antennas and semi-rigid transition structures that preserve their geometry during normal use. Current experimental designs and review evidence are examined together in terms of antenna topology, substrate, operating band, miniaturization method, on-body and off-body communication mode, body loading, Specific Absorption Rate (SAR), multi-antenna metrics, and validation level. The synthesis indicates that printed-circuit-board and high-frequency-laminate structures offer strong geometric stability, repeatable fabrication, and direct integration with wearable devices. Their main limitations are limited conformability, coupling with metallic housings and batteries, and user comfort. Microstrip patch and slot antennas, monopoles, Planar Inverted F Antennas (PIFAs), dual-band and dual-mode structures, Multiple Input Multiple Output (MIMO) configurations, and millimeter-wave Vivaldi arrays address different communication requirements. Reliable comparison requires more than free-space impedance results; anatomical simulations, tissue phantoms, on-body measurements, and dynamic link tests should be combined. The study proposes an architecture taxonomy, a four-stage validation-maturity model, a multidimensional evaluation framework, and a research roadmap for safe and deployable rigid wearable antenna systems.

Keywords: Wearable Antenna, Rigid Antenna, Wireless Body Area Network, Human Body Interaction, Specific Absorption Rate, Multiple Input Multiple Output

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

Wearable electronic systems combine sensors, processors, energy sources, and wireless communication units carried on the human body within a single use scenario. The increasing use of these systems in healthcare, sports, military operations, occupational safety, positioning, and personal communication has increased the need for antennas capable of establishing reliable radio links around the body. A Wireless Body Area Network (WBAN) is the basic framework that coordinates communication among nodes placed on or carried by the user and their connection to external gateways. Within a WBAN, a wearable antenna is not merely a radiator; it is a system component that balances device volume, user comfort, energy consumption, link reliability, and electromagnetic safety (Ali et al., 2020; Ali et al., 2023).

Wearable antennas can be classified according to their material and mechanical behavior as flexible textile structures, elastomer-based solutions, semi-rigid thin laminates, and rigid printed-circuit-board antennas. Flexible structures are advantageous for garment integration and repeated bending; however, changes in conductivity, sewing and bonding tolerances, moisture, washing, and uncertainty in substrate parameters may affect performance (Kirtania et al., 2020; Manikandan et al., 2024). A flexible dual-band meander monopole and a textile antenna with a wide frequency-tuning range demonstrate the importance of mechanical conformity and reconfigurability in this class (Ali et al., 2021; Dang et al., 2021). Developments in nanomaterial-based conductors also provide new fabrication opportunities for flexible wearable antennas (Wang et al., 2024). Because these structures have material and durability requirements different from those of rigid antennas, they are considered here only to explain the general classification and design trade-offs. The main evaluation focuses on structures that maintain their shape on printed-circuit-board or high-frequency laminates such as Flame Retardant 4 (FR4), Rogers, and F4B. This property is important for fabrication repeatability in smartwatches, badges, sensor nodes, belt modules, and antennas integrated into device housings. The main challenge of rigid antennas is that the human body forms a lossy medium with high relative permittivity. As an antenna approaches the body, its resonant frequency, impedance matching, gain, efficiency, and radiation pattern may change. Energy absorbed in body tissues is evaluated through the Specific Absorption Rate (SAR). Antenna placement, metallic device components, the battery, display, and ground plane also alter the near-field distribution. Therefore, a design that performs well in free space cannot be assumed to provide the same results in actual use (Ashyap et al., 2020; Zhang et al., 2021).

A substantial portion of the literature focuses on textile and flexible materials, ultra-wideband on-body and off-body communication, reconfigurable structures, metamaterial-assisted antennas, or 5G/6G frequencies (Mahmood et al., 2020; Musa et al., 2022; Saleh et al., 2024). By contrast, studies that evaluate device-integrated antennas which preserve their geometry within a common assessment framework remain limited. The purpose of this paper is to provide a general overview of wearable antennas and then comparatively examine the topologies, performance-enhancement techniques, body interactions, and validation methods of rigid and transitional semi-rigid structures. The study makes three contributions: it defines a clear operational scope for rigid wearable antennas based jointly on material, intended deformation, and device integration; classifies different topologies through common design challenges; and

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

proposes a multidimensional evaluation framework that combines antenna metrics with system connectivity and user safety.

2. METHOD

This study is based on a structured thematic review of experimental research and comprehensive review articles in the current literature. The sources were classified as general wearable antenna assessments, original rigid and semi-rigid designs, body-centric channel and measurement studies, SAR-reduction methods, comparisons of flexible and textile antennas, and publications addressing 5G/6G systems. Titles, abstracts, methods, experimental setups, and results were evaluated together. Printed-circuit-board and high-frequency-laminate designs that preserve their geometry during normal use formed the main comparison axis. The findings were synthesized according to common design challenges, measurement conditions, and validation maturity.

The comparison scope was defined according to three criteria: the mechanical behavior of the substrate, the intended deformation during use, and the manner in which the antenna is integrated into the final product. Antennas fabricated on a rigid substrate such as FR4, Rogers, or F4B and retaining their shape within or on a device housing were considered rigid. Structures fabricated on thin laminates but operating only under limited curvature, without an objective of repeated folding or textile integration, were classified as semi-rigid transitional structures. The Industrial, Scientific, and Medical (ISM) band antenna reported by Duru and Sarkar (2025), which includes limited bending and on-body evaluation, is an example of this boundary class. Antennas fabricated from fabric, felt, denim, or elastomers and designed for continuous bending were excluded from the main comparison and used only to explain the material distinction and the trade-offs of rigid structures. Implantable antennas were also excluded because of their different in-body operating environment.

Each study was coded in terms of antenna topology, substrate type, physical dimensions, operating frequency, intended on-body and off-body communication, miniaturization or bandwidth-enhancement technique, measured gain and efficiency, SAR, Multiple Input Multiple Output (MIMO) metrics, phantom or real-body testing, and system connectivity. The level of evidence was evaluated in four stages: electromagnetic simulation only; free-space prototype measurement; phantom or real on-body validation; and moving-user or end-to-end link testing. Because the studies used different frequencies, input powers, phantom properties, and measurement conditions, the raw values were not converted into an absolute performance ranking. Numerical results were provided only to indicate the characteristics of the relevant design, while interpretations were based on common design principles and validation maturity.

3. WEARABLE ANTENNA ECOSYSTEM AND THE POSITION OF RIGID STRUCTURES

Wearable antenna design begins with the physical and communication requirements of the application scenario. A health-monitoring node requires low power consumption and safe operation near the body, while an emergency or military system may require a longer link range and resistance to shadowing. In devices such as smartwatches, the antenna shares a limited volume with the display, battery, sensors, and metallic housing. Substrate selection should therefore be considered together with device geometry, use position, communication direction, and operating band rather than in isolation (Ikram et al., 2022; Kale and Patil, 2024). Where

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

mechanical conformity is the main design input for flexible antennas, device integration and electromagnetic repeatability are more decisive for rigid antennas. Rigid substrates preserve fabrication traces and feed structures accurately. However, the gap between a planar structure and a curved body, device protrusion, and proximity to metallic components may affect user experience. Figure 1 visualizes the application areas, wearable-device examples, structural classes, and rigid-design validation steps within a single flow. Table 1 summarizes the main design dimensions and principal risks of rigid structures.

Table 1. Main design dimensions and principal risks in rigid wearable antennas.

Design dimension	**Main objective in a rigid structure**	**Principal risk**
Device integration	The antenna operates within the same volume as the battery, display, and electronic board	Coupling with metallic housing, ground-plane changes, and limited placement area
Substrate and fabrication	Provides geometric stability and repeatable printed-circuit fabrication	High dielectric loss, thickness, and increased cost
Miniaturization	Reaches the target band within a low-profile device	Narrow bandwidth, low efficiency, and sensitivity to fabrication tolerances
Body proximity	Maintains impedance and pattern in actual use	Resonance shift, efficiency loss, and back radiation
User safety	Provides operation within SAR limits	Incomplete reporting of power, distance, and phantom model
Link reliability	Supports on-body and off-body scenarios	Posture, movement, shadowing, and polarization mismatch

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

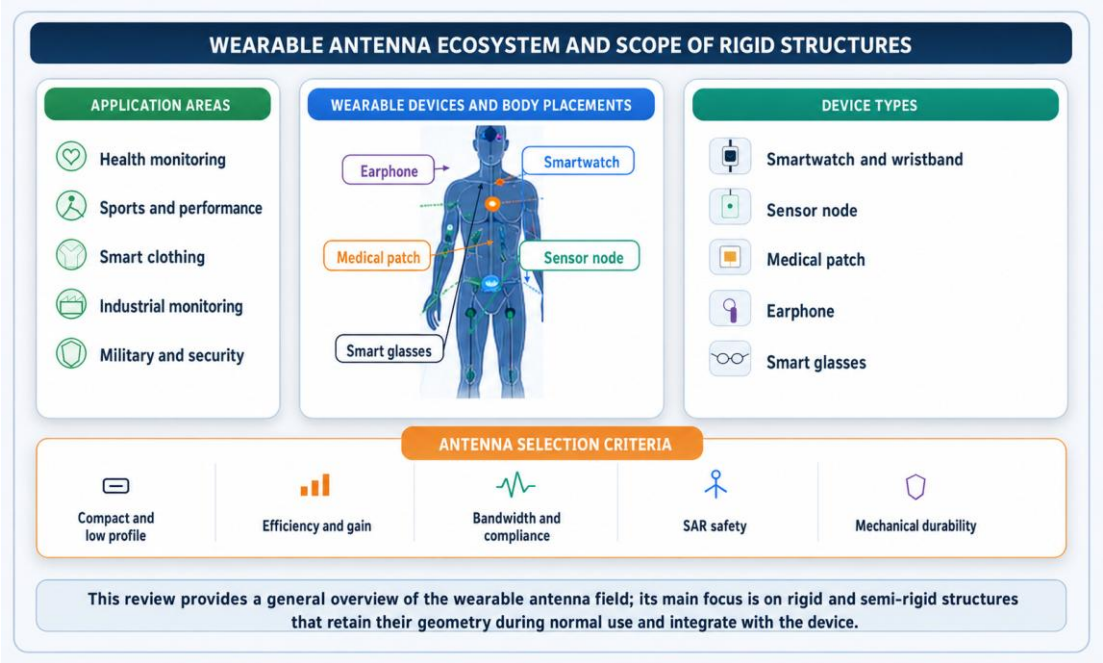


Figure 1. Wearable antenna application areas, device types, body placements, and antenna-selection criteria.

4. RIGID WEARABLE ANTENNA ARCHITECTURES

Topology selection in rigid wearable antennas depends on communication direction and device placement as well as the operating band. Microstrip patch and slot antennas can provide body isolation through a full or large ground plane. Monopole and Planar Inverted-F Antenna (PIFA) structures offer a low profile at the device edge. Button and housing-integrated antennas provide mechanical protection, while MIMO systems and antenna arrays increase capacity and directivity. In millimeter-wave systems, Vivaldi antennas and frequency-selective surfaces (FSSs) are used for wideband and end-fire radiation. Figure 2 compares the main rigid-antenna architectures with device and application matches. The band, substrate, dimensions, and measured results of selected designs are summarized in Table 2.

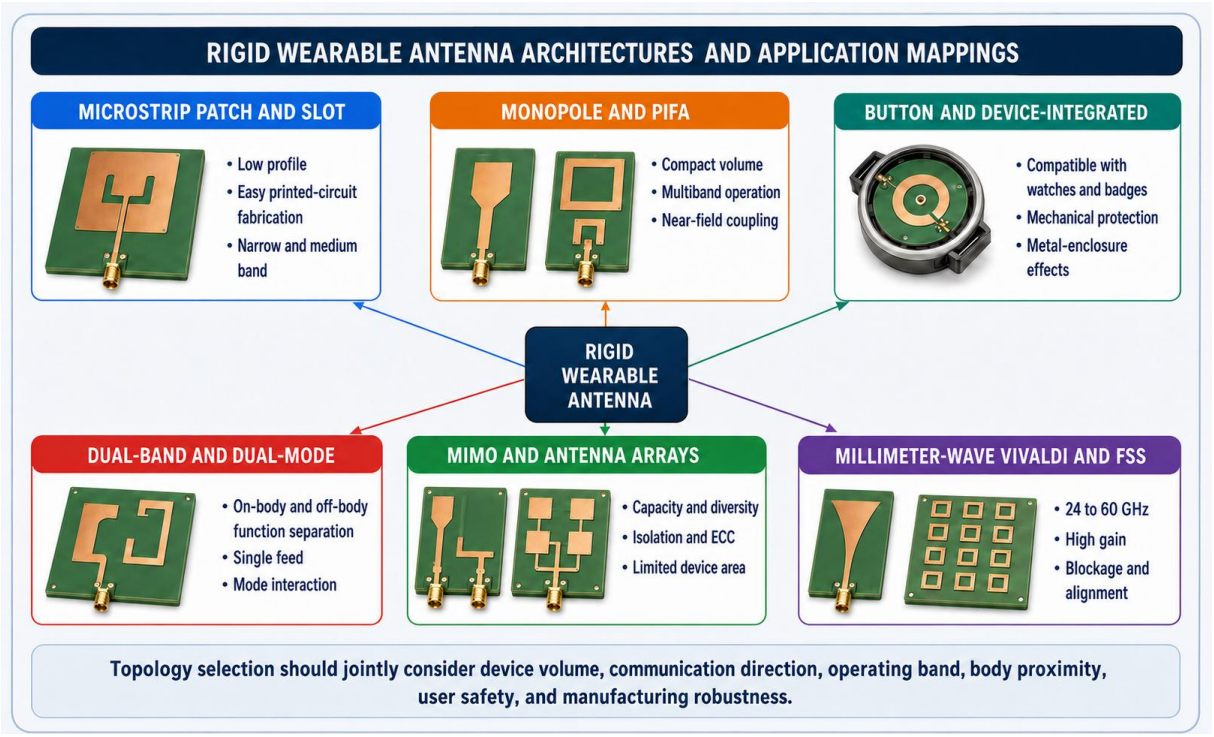


Figure 2. Rigid wearable antenna architectures, main characteristics, and application matches.

4.1. Microstrip Patch Slot and Miniaturized Structures

Microstrip patch antennas are among the most widely used topologies in rigid wearable systems because of their planar geometry, straightforward printed-circuit fabrication, and ground plane. Elfergani et al. (2020) presented a compact four-element MIMO structure operating in the 2.4 GHz ISM band on FR4. Achieving approximately 25 dB isolation and an Envelope Correlation Coefficient (ECC) below 0.02 within a volume of 26 × 26 × 0.8 mm^3 demonstrates the feasibility of closely spaced multi-antenna structures on a rigid board.

Slots, meander lines, shorting pins, and defected ground structures can be used for miniaturization. Le and Yun (2020) combined the 2.45 and 5.85 GHz bands on a small semi-rigid laminate by using inductive meander lines and slots. Afruz and Kabir (2021) reported dimensions of 40 × 38 mm^2, a bandwidth of 594 MHz, and an SAR of 0.246 W/kg for a 2.45 GHz microstrip patch design on FR4. Musa et al. (2023) presented a dual-band structure for 2.4 and 5.8 GHz on Rogers RO3003 and jointly evaluated body proximity and limited-curvature conditions. These examples show that the manufacturability of geometric details on rigid or semi-rigid substrates supports miniaturization, while the risks of narrow bandwidth, surface waves, and sensitivity to fabrication tolerances remain.

4.2. Device-Integrated Dual-Band and Dual-Mode Structures

Connecting a wearable device to both body-area nodes and an external gateway through the same antenna requires different radiation characteristics. Zhang et al. (2025) produced omnidirectional radiation at 2.45 GHz and directional radiation at 5.8 GHz by using a single-feed, dual-band, dual-mode antenna on an F4B substrate. The transverse magnetic TM01 mode was assigned to on-body communication, while the TM11 mode was assigned to off-body links. This approach separates functions without using a mechanical switch or multiple feeds. Sasaki

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

and Muramatsu (2025) supported both 21 MHz Human Body Communication (HBC) and 2.4 GHz narrowband wireless communication on the same double-sided printed-circuit board with smartwatch-compatible dimensions. Measurement of the 24 × 24 mm² prototype on an arm phantom shows that electromagnetic simulation of device-integrated rigid antennas should be complemented by realistic mechanical placement. Button-like structures are also valuable for mechanical protection and concealed placement; however, their material class should be stated clearly when they include textile or flexible intermediate layers (Hu et al., 2021). The success of a device-integrated design depends less on the antenna being small in isolation than on preserving the target modes together with the battery, display, and ground plane.

4.3. MIMO Antenna Arrays and Millimeter-Wave Structures

MIMO systems increase multipath diversity and channel capacity while requiring high isolation within a limited device volume. In addition to ECC, metrics such as Diversity Gain (DG), Channel Capacity Loss (CCL), and Total Active Reflection Coefficient (TARC) should supplement single-antenna metrics. The dual-element structure presented by Soni et al. (2023) shows that element placement and coupling control should be considered together in body-area-network devices. A rigid board is advantageous in MIMO fabrication because it precisely preserves element spacing and neutralization lines; however, the device housing and the user's hand may load all elements simultaneously. Ahmad et al. (2024) implemented a four-element Vivaldi MIMO antenna covering the 28 and 30 GHz bands within an area of 16 × 20 mm² and reported a fractional bandwidth of 36.44% and isolation greater than 20 dB. Evaluation on chest, hand, and leg models showed that the small physical dimensions facilitate integration in millimeter-wave wearable systems, while blockage, orientation, and alignment become more critical. In next-generation systems, antenna gain should be considered together with beam steering, hand and body blockage, and link continuity (Ikram et al., 2022; Saleh et al., 2024).

5. PERFORMANCE ENHANCEMENT AND HUMAN-BODY INTERACTION

The backing structure and tuning strategy are as important as antenna topology for improving the performance of rigid antennas. Electromagnetic band-gap (EBG), artificial magnetic conductor (AMC), metasurface, and FSS structures can be used to reduce the field directed toward the body and increase the front-to-back ratio and gain. Ashyap et al. (2020) summarized the potential of EBG integration to reduce coupling with the human body and SAR across different designs. Zhang et al. (2021) evaluated the effects of metamaterial-based wearable antennas on size, bandwidth, and safety.

Table 2. Comparison of selected rigid and semi-rigid wearable antenna studies.

Study	Structure and substrate	Band and dimensions	Key result
Elfergani et al. (2020)	Four-element MIMO, FR4	2.4 GHz; 26 × 26 × 0.8 mm³	Approximately 25 dB isolation, ECC < 0.02, efficiency > 77%
Le and Yun (2020)	Meander-loaded dual-band monopole, semi-rigid laminate	2.45 and 5.85 GHz; 0.15λ × 0.10λ × 0.004λ	Compact dual-band operation; peak gains of 2.1 and 3.5 dBi

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Study	Structure and substrate	Band and dimensions	Key result
Afruz and Kabir (2021)	Microstrip patch, FR4	2.45 GHz; 40 × 38 mm²	594 MHz bandwidth, 90.2% efficiency, 0.246 W/kg SAR
Braham Chaouche et al. (2022)	Circularly polarized antenna and AMC, Rogers 5880	5.8 GHz; 34.4 × 34.4 mm²	7.6 dBi gain, 94.7% efficiency, and 20.42% SAR reduction
Musa et al. (2023)	Semi-rigid dual-band patch, Rogers RO3003	2.4 and 5.8 GHz; 41 × 44 mm²	Gains of 3.74 and 5.13 dBi; body and bending tests
Ahmad et al. (2024)	Four-element Vivaldi MIMO and FSS, Rogers RT5880	28 and 30 GHz; 16 × 20 mm²	36.44% bandwidth, isolation < -20 dB, and safe SAR
Zhang et al. (2025)	Dual-band and dual-mode patch, F4B	2.45 and 5.8 GHz	Omnidirectional on-body radiation and directional off-body radiation
Sasaki and Muramatsu (2025)	Dual-mode device-integrated printed-circuit-board antenna	21 MHz HBC and 2.4 GHz; 24 × 24 mm²	Prototype validation on an arm phantom

Braham Chaouche et al. (2022) reported that using a 2 × 2 AMC reflector with a circularly polarized antenna increased the on-body gain to 7.6 dBi and the efficiency to 94.7%, while reducing the maximum SAR by approximately 20%. However, a reflector or multilayer backing may increase antenna thickness and fabrication complexity. These layers can be placed more reliably within rigid-device housings, but their electromagnetic interaction with the battery and electronic board should be reassessed. Circular polarization can reduce polarization mismatch when the user's posture and device orientation change. Hu et al. (2021) achieved omnidirectional circular polarization for a 5 GHz on-body link by using a button-shaped structure. Nevertheless, polarization stability should be tested not only through axial-ratio bandwidth but also through link loss at different body positions and during movement. Dual-mode designs can meet the requirement for omnidirectional radiation in on-body communication and directional radiation in off-body communication through a single antenna. Human-body interaction should be addressed at four levels: impedance and resonance shift, changes in gain and efficiency, SAR, and the communication channel. Berkelmann and Manteuffel (2022) proposed a phantom and test range capable of measuring surface-wave excitation for the evaluation of on-body antennas. Ferreira et al. (2022) found that antenna position on the body and user movement change the distribution of system loss in off-body links. Figure 3 presents the main interactions between the antenna and the human body and the

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

validation maturity extending from free-space testing to dynamic-link tests. The techniques used to reduce these effects and their trade-offs are compared in Table 3.

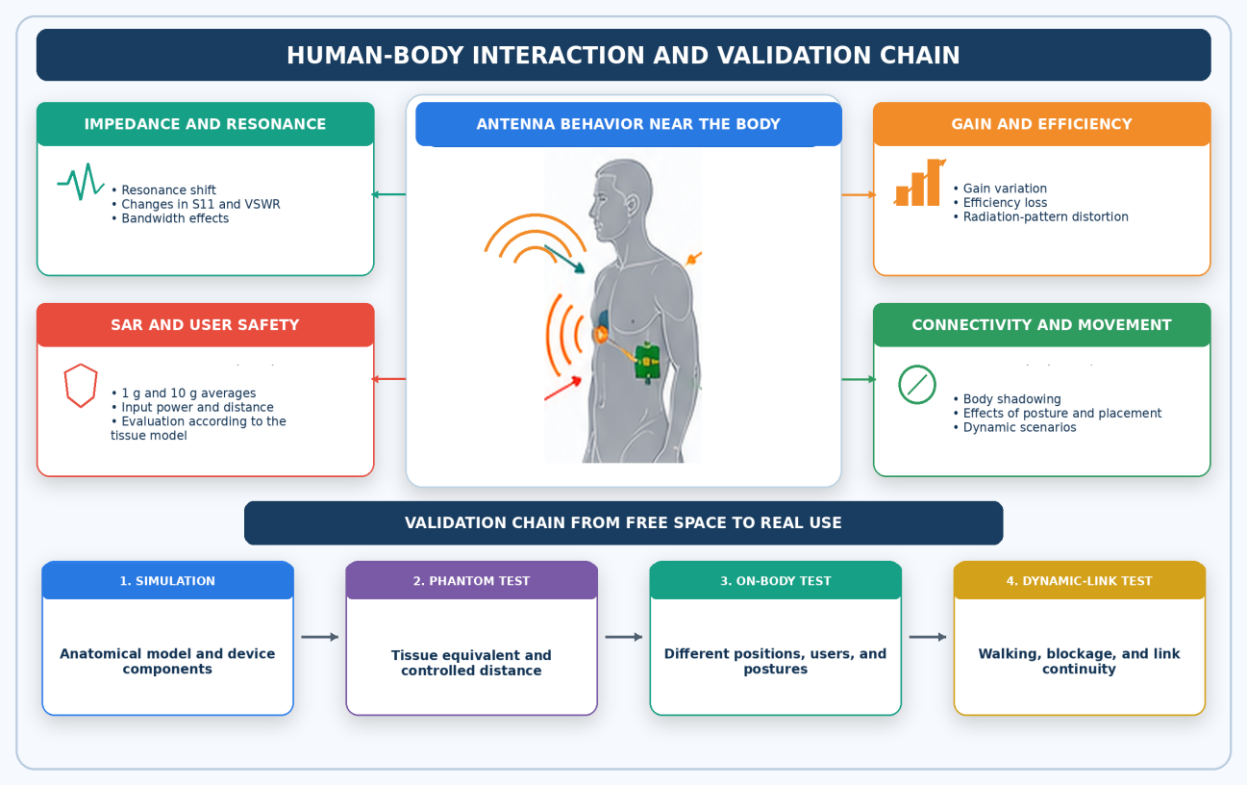


Figure 3. Human-body effects and the four-stage validation chain from free space to real use.

6. EVALUATION RELIABILITY AND REPORTING

The success of a rigid wearable antenna cannot be determined by the reflection coefficient alone. The S_{11} scattering parameter, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), impedance bandwidth, gain, total efficiency, and radiation pattern are basic antenna metrics. For near-body use, the same measurements should be repeated in free space, on an anatomical model, on a tissue phantom, and, where possible, on a real user. The distance between the antenna and tissue, input power, phantom size, and dielectric properties should be stated clearly. This framework shows whether strong free-space performance is retained near the body and at which stage any performance loss occurs. To compare SAR results, the 1 g or 10 g tissue average, applicable standard, input power, and scaling method should be reported together. A single low SAR value cannot be directly compared with another study if it was obtained at a different power or distance. Similarly, MIMO designs should report ECC, DG, CCL, and TARC in addition to isolation. For millimeter-wave arrays, scan angle, body and hand blockage, beam stability, and link budget should be included in the evaluation. Mechanical stability should be interpreted differently for rigid antennas than for bending tests. The main question is not whether the antenna withstands repeated folding, but whether its geometry and ground reference remain stable after integration with the device housing, mounting screws, battery, and display. Uniaxial curvature and different radii may be examined for semi-rigid transitional structures. Posture and movement tests show that connectivity is affected not only by antenna parameters but also by body shadowing and channel variation.

Table 3. Main performance-enhancement techniques for rigid wearable antennas.

Technique	Targeted problem	Expected benefit	Main trade-off
Slots, meanders, and shorting pins	Large electrical size	Miniaturization and multiband operation	Narrow bandwidth and tolerance sensitivity
Partial or defected ground plane	Impedance and bandwidth	Additional resonance and wide bandwidth	Increased back radiation and pattern distortion
AMC, EBG, and metasurface	Body coupling and high SAR	Gain, front-to-back ratio, and safety	Thickness, area, and fabrication burden
Circular polarization	Polarization mismatch	Tolerance to orientation changes	Feed and axial-ratio design
MIMO isolation techniques	Element coupling	Low ECC and high capacity	Limited area and additional circuitry
Dual-band and dual-mode operation	Different communication directions	Two modes with one antenna	Mode interaction and tuning burden

For reproducibility, dimensions, material parameters, the simulation model, port definition, measurement-cable effects, and prototype photographs should be provided clearly. Studies presenting only free-space simulation offer limited evidence for actual use. The highest validation level links antenna metrics to dynamic connectivity, packet success, or system loss. Table 4 provides the minimum reporting framework for impedance and bandwidth, radiation, user safety, multi-antenna performance, device integration, and link reliability.

7. RESEARCH GAPS AND DESIGN ROADMAP

The first research gap is consistency in terminology and scope. Some studies describe a rigid substrate such as FR4 as flexible, while others classify a very thin Rogers laminate as semi-rigid. Future studies should clearly state the substrate bending radius, the intended repeated-deformation condition, and its mechanical behavior within the final device. The proposed three-criterion classification enables more meaningful comparison among textile, flexible, semi-rigid, and rigid classes by considering not only the material name but also the intended deformation and function within the product. The second gap is antenna-device co-design. Many studies optimize the antenna in isolation and examine the effects of the battery, display, sensor, cable, and metallic housing only at the final stage. In rigid wearable antennas, these components should be included in the electromagnetic model from the beginning of the design process. The actual printed-circuit-board ground plane and the position in which the user holds the device may be more decisive than the laboratory prototype.

The third gap is the disconnect between static antenna measurements and system connectivity. For a moving user, body shadowing and antenna orientation may produce greater link variation than free-space gain. Different body positions, walking, arm movement, and environmental

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

multipath conditions should be converted into common test scenarios. Antenna design should be related to system metrics such as packet success and energy consumption.

Table 4. Multidimensional evaluation framework for rigid wearable antennas.

Evaluation dimension	Example metric or test	Interpretation of a successful result	Minimum reporting recommendation
Impedance and band	S_{11}, VSWR, bandwidth, and resonance shift	The target band is maintained in free space and near the body	Free-space, phantom, and on-body curves should be provided together
Radiation performance	Gain, efficiency, pattern, and front-to-back ratio	Adequate link budget and desired directivity are achieved	Pattern and efficiency should be reported at different body positions
User safety	1 g and 10 g SAR, input power, and distance	Safe operation below standard limits	Tissue model, power, and scaling method should be described
MIMO and array	Isolation, ECC, DG, CCL, TARC, and beam angle	Elements operate independently and increase capacity	All ports should be evaluated together with the device body
Mechanical and device integration	Housing, battery, display, mounting, and limited-curvature tests	Resonance and pattern remain stable in the actual device	Final-product geometry or an equivalent model should be used
Link reliability	Path loss, system loss, packet success, and movement tests	Link continuity is maintained during posture changes and movement	On-body and off-body scenarios should be reported separately

The fourth gap is blockage and beam management in millimeter-wave and next-generation wearable systems. A short wavelength enables compact arrays, while the human body and device housing create strong shadowing. Multi-panel configurations, array selection, and beam-switching methods should be examined jointly at the antenna, channel, and control-algorithm levels. The fifth gap is open and reproducible databases. Sharing phantom properties, antenna placement, measurement files, and motion scenarios would facilitate fair comparison among different designs. The sixth gap is tuning stability in wideband and reconfigurable antennas; ultra-wideband body links and variable operating bands should be tested through common protocols under device-electronics and body-loading conditions (Mahmood et al., 2020; Musa et al., 2022).

Figure 4 combines the research roadmap linking the use scenario, topology and band, materials and fabrication, device integration, body safety, and link validation. Future designs should aim

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

not only to achieve the lowest S_{11} or highest gain, but also to demonstrate safe SAR, stable connectivity, compact device integration, and repeatable fabrication simultaneously.

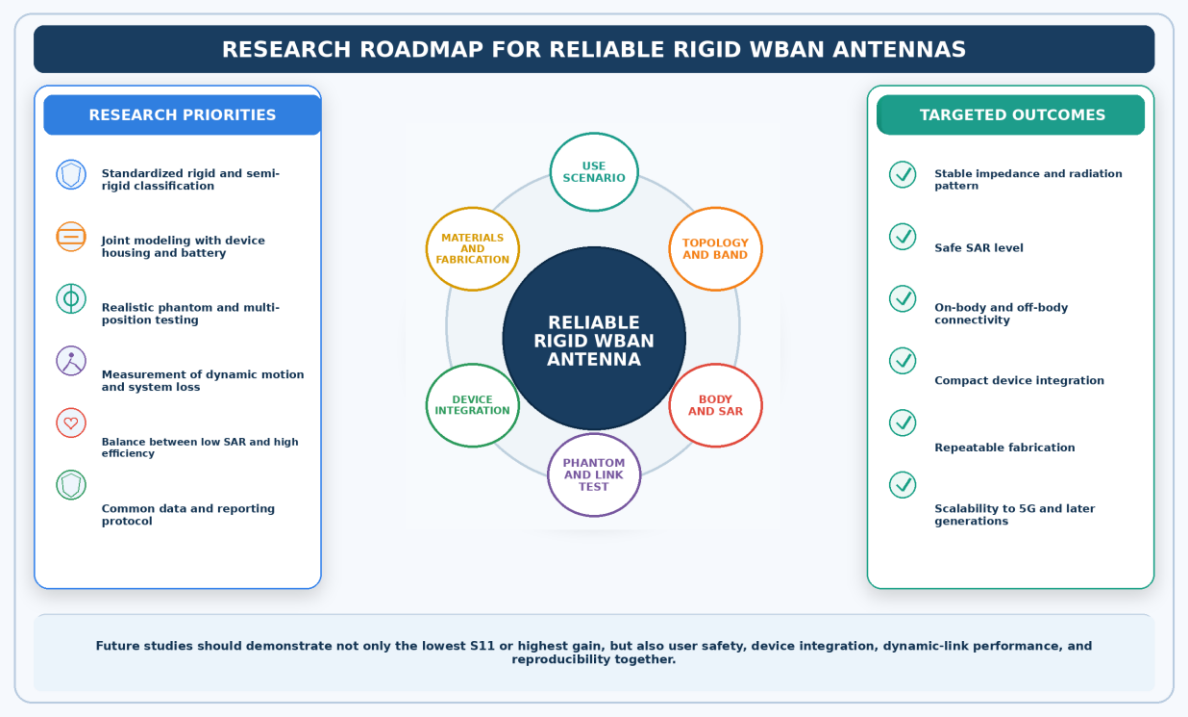


Figure 4. Research priorities, design components, and targeted outcomes for reliable rigid WBAN antennas.

8. CONCLUSION

This study began with a general framework that introduced both flexible and rigid structures in the wearable antenna field and then focused on rigid and transitional semi-rigid antennas that preserve their geometry during normal use. Rigid printed-circuit-board structures are strong in terms of fabrication repeatability, precise feed geometry, and direct integration with device electronics. Their main design challenges are limited body conformity, user comfort, coupling with metallic housings and batteries, and the effects of nearby tissues. Microstrip patch and slot structures offer a low profile and body isolation; monopole and PIFA structures provide compact device-edge placement; dual-band and dual-mode structures separate on-body and off-body functions; and MIMO and millimeter-wave arrays support capacity and directivity. Techniques such as AMC, EBG, metasurfaces, slots, meanders, and defected ground structures can enhance performance, but introduce additional size, thickness, fabrication, and validation requirements.

A reliable rigid wearable antenna study should not be limited to free-space simulation. Anatomical models, tissue phantoms, real on-body measurements, device components, and dynamic-link scenarios should be evaluated together. Impedance, gain, efficiency, and SAR results should be related to MIMO metrics, path loss, packet success, and user safety. The operational classification and four-stage validation maturity proposed in this paper provide a common evaluation basis for advancing rigid wearable antennas from laboratory prototypes to reliable WBAN components.

REFERENCES

Afruz, U., & Kabir, M. A. (2021). Design of wearable microstrip patch antenna for wireless body area network. 2021 24th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT). https://doi.org/10.1109/ICCIT54785.2021.9689901

Ahmad, J., Hashmi, M., Bakytbekov, A., & Falcone, F. (2024). Design and analysis of a low-profile millimeter-wave band Vivaldi MIMO antenna for wearable WBAN applications. IEEE Access, 12, 70420-70433. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3401865

Ali, S. M., Sovuthy, C., Imran, M. A., Socheatra, S., Abbasi, Q. H., & Abidin, Z. Z. (2020). Recent advances of wearable antennas in materials, fabrication methods, designs, and their applications: State-of-the-art. Micromachines, 11, 888. https://doi.org/10.3390/mi11100888

Ali, S. M., Sovuthy, C., Noghanian, S., Ali, Z., Abbasi, Q. H., Imran, M. A., Saeidi, T., & Socheatra, S. (2021). Design and evaluation of a flexible dual-band meander line monopole antenna for on- and off-body healthcare applications. Micromachines, 12, 475. https://doi.org/10.3390/mi12050475

Ali, U., Ullah, S., Kamal, B., Matekovits, L., & Altaf, A. (2023). Design, analysis and applications of wearable antennas: A review. IEEE Access, 11. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3243292

Ashyap, A. Y. I., Dahlan, S. H. B., Abidin, Z. Z., Abbasi, M. I., Kamarudin, M. R., Majid, H. A., Dahri, M. H., Jamaluddin, M. H., & Alomainy, A. (2020). An overview of electromagnetic band-gap integrated wearable antennas. IEEE Access, 8. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2963997

Berkelmann, L., & Manteuffel, D. (2022). Characterization of wearable and implanted antennas: Test procedure and range design. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 70(4). https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3126386

Braham Chaouche, Y., Nedil, M., Ben Mabrouk, I., & Ramahi, O. M. (2022). A wearable circularly polarized antenna backed by AMC reflector for WBAN communications. IEEE Access, 10. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3146386

Dang, Q. H., Chen, S. J., Ranasinghe, D. C., & Fumeaux, C. (2021). A frequency-reconfigurable wearable textile antenna with one-octave tuning range. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 69(12). https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3083826

Duru, R. K., & Sarkar, D. (2025). Compact semi-flexible antenna for ISM band applications with bending and on-body evaluation. 2025 5th International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP). https://doi.org/10.1109/AISP68263.2025.11396322

Elfergani, I., Iqbal, A., Zebiri, C., Basir, A., Rodriguez, J., Sajedin, M., Pereira, A. O., Mshwat, W., Abd-Alhameed, R., & Ullah, S. (2020). Low-profile and closely spaced four-element MIMO antenna for wireless body area networks. Electronics, 9, 258. https://doi.org/10.3390/electronics9020258

Ferreira, M. M., Cardoso, F. D., Turbic, K., Ambroziak, S. J., & Correia, L. M. (2022). Mobility's influence on system loss in off-body BAN scenarios. 2022 Joint European Conference on Networks and Communications and 6G Summit. https://doi.org/10.1109/EuCNC/6GSummit54941.2022.9815707

Hu, X., Yan, S., Zhang, J., Volskiy, V., & Vandenbosch, G. A. E. (2021). Omni-directional circularly polarized button antenna for 5 GHz WBAN applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 69(8). https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3070896

Ikram, M., Sultan, K., Lateef, M. F., & Alqadami, A. S. M. (2022). A road towards 6G communication: A review of 5G antennas, arrays, and wearable devices. Electronics, 11, 169. https://doi.org/10.3390/electronics11010169

Kale, S. R., & Patil, D. P. (2024). A review of wearable antennas for 5G and body-centric wireless communication. Devices and Methods of Measurements, 15(4), 269-286. https://doi.org/10.21122/2220-9506-2024-15-4-269-286

Kirtania, S. G., Elger, A. W., Hasan, M. R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T., & Sekhar, P. K. (2020). Flexible antennas: A review. Micromachines, 11, 847. https://doi.org/10.3390/mi11090847

Le, T. T., & Yun, T. Y. (2020). Miniaturization of a dual-band wearable antenna for WBAN applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 19(8), 1452-1456. https://doi.org/10.1109/LAWP.2020.3005658

Mahmood, S. N., Ishak, A. J., Ismail, A., Jusoh, M., Soh, P. J., Zakaria, Z., & Alani, S. (2020). On-/off-body ultra-wideband antenna for wireless body area networks: A review. IEEE Access, 8. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3015423

Manikandan, M., Jenisha, J., Srinath, V., Rajasekaran, P., & Femina, V. (2024). Textile substrate materials for wearable antenna applications: A review. 2024 10th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems. https://doi.org/10.1109/ICACCS60874.2024.10716910

Musa, U., Shah, S. M., Majid, H. A., Abidin, Z. Z., Yahya, M. S., Babani, S., & Yunusa, Z. (2022). Recent advancement of wearable reconfigurable antenna technologies: A review. IEEE Access, 10. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3222782

Musa, U., Shah, S. M., Majid, H. A., Mahadi, I. A., Rahim, M. K. A., Yahya, M. S., & Abidin, Z. Z. (2023). Design and analysis of a compact dual-band wearable antenna for WBAN applications. IEEE Access, 11. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3262298

Saleh, S., Saeidi, T., Timmons, N., & Razzaz, F. (2024). A comprehensive review of recent methods for compactness and performance enhancement in 5G and 6G wearable antennas. Alexandria Engineering Journal, 95, 132-163. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.03.097

Sasaki, Y., & Muramatsu, D. (2025). Prototyping and evaluation of wearable antenna for on-body/off-body communication in WBAN. 2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics. https://doi.org/10.1109/GCCE65946.2025.11275370

Soni, G. K., Yadav, D., Kumar, A., & Yadav, M. V. (2023). Design of dual-element MIMO antenna for wearable WBAN applications. 2023 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference. https://doi.org/10.1109/MAPCON58678.2023.10464095

Wang, C., Zhang, N., Liu, C., Ma, B., Zhang, K., Li, R., Wang, Q., & Zhang, S. (2024). New advances in antenna design toward wearable devices based on nanomaterials. Biosensors, 14, 35. https://doi.org/10.3390/bios14010035

Zhang, K., Soh, P. J., & Yan, S. (2021). Meta-wearable antennas: A review of metamaterial based antennas in wireless body area networks. Materials, 14, 149. https://doi.org/10.3390/ma14010149

Zhang, W., Li, W., Feng, X., Zhao, C., Li, Y., & Liao, X. (2025). Design of a compact dual-band and dual-mode wearable antenna for WBAN applications. Sensors, 25, 3361. https://doi.org/10.3390/s25113361

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

A CNN-BASED FRAMEWORK FOR RECOGNITION OF TURKISH-SPECIFIC HANDWRITTEN CHARACTERS

Doç. Dr. Ebru Ergün
Recep Tayyip Erdogan University, ebru.yavuz@erdogan.edu.tr
0000-0002-5371-7238
İdrishan Demirdağ
Recep Tayyip Erdogan University, idrishan_demirdag20@erdogan.edu.tr
0009-0008-5231-3072
Fazilet Kazdal
Recep Tayyip Erdogan University, fazilet_kazdal21@erdogan.edu.tr
0009-0009-0326-9738

ABSTRACT

Accurate recognition of handwritten Turkish-specific characters remains a challenging task in optical character recognition systems due to the structural similarity of certain letters and the limited availability of language-specific datasets. Most existing handwritten character recognition studies primarily focus on English-based alphabets, leading to insufficient representation of Turkish characters such as “Ç, Ğ, I, İ, Ö, Ş, and Ü.” To address this limitation, this study presents a customized convolutional neural network framework, named TCharNet, for the recognition of Turkish-specific handwritten characters. An original handwritten dataset was constructed using digital pen-based data collection from 60 volunteer participants. The dataset consists of seven character classes representing Turkish-specific letters collected under varying handwriting styles and writing patterns. Following preprocessing operations including grayscale conversion, character segmentation, normalization, resizing, and augmentation, a balanced dataset containing 7,200 character images was obtained. The proposed TCharNet architecture was specifically designed to capture fine-grained structural details of handwritten Turkish characters through multiple convolutional and pooling layers combined with dropout-based regularization. Experimental evaluations demonstrated that the proposed model achieved a classification accuracy of 91.41% with strong macro and weighted F1-score performance. The model exhibited robust discrimination capability, particularly for visually similar character groups containing diacritical marks and dot-sensitive structures. The obtained findings indicate that the proposed deep learning framework provides an effective and reliable solution for Turkish-specific handwritten character recognition tasks. Furthermore, the study contributes a

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

dedicated Turkish handwritten character dataset and highlights the importance of task-oriented CNN architectures for language-dependent optical character recognition applications.

Keywords: Handwritten Character Recognition, Turkish-Specific Characters, Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Optical Character Recognition

1. INTRODUCTION

Handwritten character recognition has emerged as a critical research topic in the fields of computer vision, artificial intelligence, and pattern recognition due to its extensive use in document digitization, intelligent archiving systems, educational technologies, banking applications, postal automation, and human–computer interaction systems [1]. Unlike printed text recognition, handwritten character recognition remains a considerably more complex problem because handwritten patterns exhibit substantial variations depending on individual writing habits, stroke thickness, character orientation, spacing, and deformation characteristics. These inconsistencies significantly increase intra-class variability while reducing the structural separability between character classes, making accurate recognition highly challenging for automated systems. In recent years, deep learning-based approaches have revolutionized handwritten character recognition systems by enabling automatic hierarchical feature extraction directly from raw image data. Among these approaches, Convolutional Neural Networks (CNNs) have demonstrated remarkable success due to their ability to capture both low-level spatial information and high-level semantic representations through convolution and pooling operations [2]. Consequently, CNN-based architectures have significantly outperformed conventional machine learning techniques in numerous optical character recognition applications.

Although substantial progress has been achieved in handwritten character recognition, the majority of existing studies primarily focus on English alphabets and benchmark datasets such as MNIST and EMNIST [3]. As a result, language-specific handwritten characters belonging to other alphabets remain insufficiently explored. Turkish is one of the languages containing several unique characters, including “Ç, Ğ, I, İ, Ö, Ş, and Ü,” which introduce additional recognition complexity due to their structural similarity and the presence of diacritical marks. In handwritten form, these characters may exhibit highly subtle visual differences, where even a minor variation in dot placement or accent structure can completely alter the character identity. Therefore, traditional recognition systems often struggle to distinguish these characters reliably, particularly under varying handwriting styles.

In the literature, numerous studies have investigated handwritten character and digit recognition using different deep learning architectures and benchmark datasets. Saini et al. conducted a comparative analysis of several well-known deep learning models, including LeNet-5, AlexNet, VGG-16, and ResNet architectures, for handwritten digit recognition using the MNIST, DIDA, and MNIST-MIX datasets. Their study demonstrated that deep learning-based approaches achieved significantly higher classification performance compared to conventional machine

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

learning techniques. However, they also emphasized the differences among the models in terms of computational complexity, training duration, and generalization capability [4]. Similarly, Alqahtani et al. evaluated multiple deep learning approaches, including Deep Neural Networks (DNN), CNN, LeNet-5, AlexNet, and MiniVGGNet, for handwritten digit recognition using the MNIST dataset. Their findings highlighted the effectiveness of CNN-based feature extraction for handwritten pattern analysis [5].

Soomro et al. presented a comparative handwritten character recognition framework utilizing AlexNet and GoogleNet architectures on both publicly available and locally collected datasets containing English alphabets and numerical digits. Their analyses demonstrated that GoogleNet achieved superior recognition performance due to its inception-based feature extraction capability [6]. Kusetogullari et al. introduced a large-scale historical handwritten digit dataset named DIDA together with a novel deep learning architecture called DIGITNET for handwritten digit detection and recognition in historical documents [7]. Another important contribution was presented by Acharya et al., who developed the Devanagari Handwritten Character Dataset (DHCD) and proposed a deep CNN architecture enhanced with dropout and dataset expansion strategies, achieving highly competitive classification performance [8]. Despite these important contributions, studies specifically focusing on Turkish handwritten character recognition remain considerably limited in the literature.

Motivated by these limitations, this study presents a customized CNN-based framework named TCharNet for the recognition of Turkish-specific handwritten characters. Furthermore, an original dataset was constructed through digitally collected handwriting samples obtained from volunteer participants using a digital tablet-based acquisition system. The proposed framework was specifically designed to capture fine-grained structural variations of Turkish handwritten characters through a deep convolutional architecture optimized for language-specific feature learning. Unlike conventional handwritten character recognition studies relying primarily on standard English datasets, the proposed framework directly addresses the unique structural characteristics of Turkish alphabets and aims to provide a robust and reliable recognition system for Turkish-specific handwritten character analysis applications.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Dataset Description

One of the most critical stages of this study was the construction of a dedicated handwritten dataset specifically designed for Turkish-specific characters. Since publicly available handwritten character datasets predominantly focus on English alphabets, there is a significant lack of datasets containing Turkish-specific letters such as “Ç, Ğ, I, İ, Ö, Ş, and Ü”. In order to address this limitation, an original offline handwritten character dataset was developed within the scope of this study. The entire data collection procedure was conducted following ethical research standards and was approved by the Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Engineering and Architecture Ethics Committee.

The proposed dataset was generated using offline handwritten character acquisition procedures. In offline handwriting analysis systems, handwritten text is first produced on a physical or

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

digital writing surface and subsequently converted into image-based representations for further processing and classification. The general workflow of offline character analysis is illustrated in Figure 1.

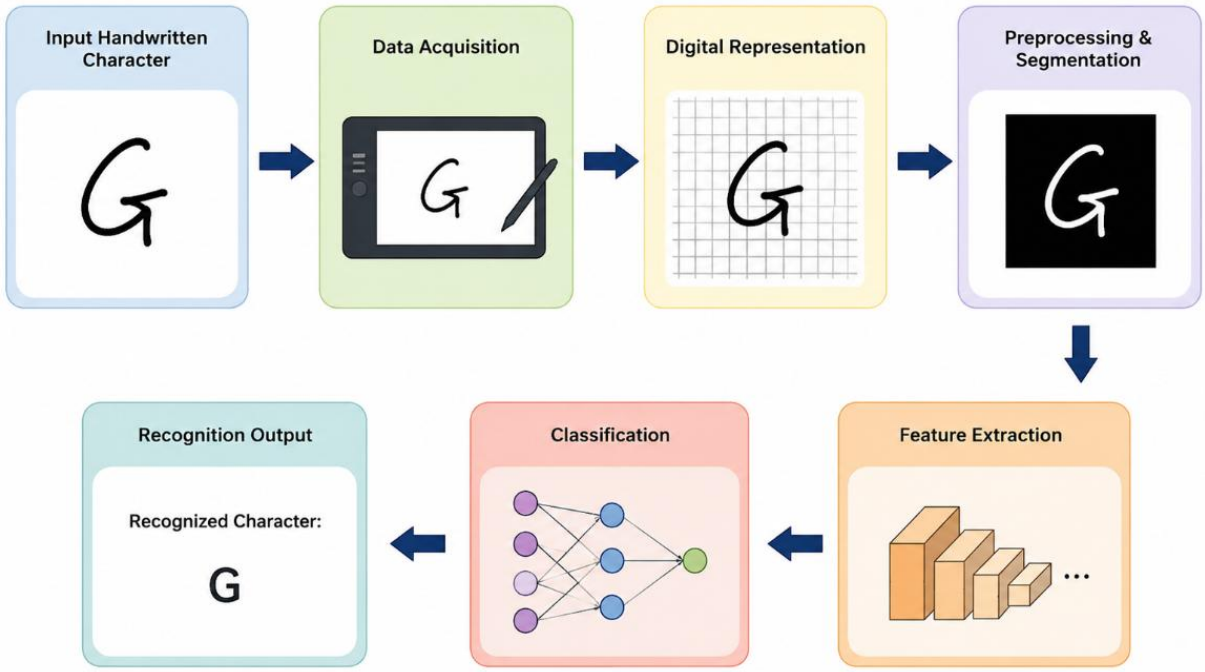


Figure 1. General workflow of offline handwritten character recognition

In contrast to offline systems, online handwriting systems capture dynamic writing information such as pen trajectory, pressure, velocity, and temporal stroke sequences during the writing process. An example of an online handwritten word representation is shown in Figure 2.

Figure 2. Example representation of online handwritten word acquisition

Within the scope of this study, handwritten data were collected digitally using a Samsung Galaxy Tab S7 FE tablet and stylus pen. A custom template consisting of predefined writing regions was prepared to ensure consistency among participants during data acquisition. Volunteers were asked to write Turkish-specific characters individually according to the designated template order. The data collection process was carried out with participants from different educational backgrounds and handwriting styles in order to increase dataset diversity

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

and improve the generalization capability of the proposed model. A representative example from the data acquisition stage is presented in Figure 3.

Figure 3. A sample image from the data collection stage

The dataset includes seven different character classes representing Turkish-specific handwritten letters. During class organization, uppercase and lowercase forms belonging to the same character structure were grouped into a single category to reduce class fragmentation and improve feature learning efficiency. Accordingly, the dataset classes were organized as “Ç,” “Ğ,” “I,” “İ,” “Ö,” “Ş,” and “Ü”. Initially, 60 handwritten samples were collected for each class. Subsequently, preprocessing and augmentation operations were applied to enhance dataset robustness and increase sample diversity.

The raw handwritten images were first separated individually through character segmentation procedures. Following segmentation, all images underwent grayscale conversion, normalization, resizing, and noise reduction operations to obtain structurally consistent inputs for deep learning training. In addition, data augmentation techniques including random rotation and geometric transformations were employed to simulate realistic handwriting variations and improve the robustness of the proposed recognition system against writing orientation differences. After augmentation, the final dataset reached a total size of 7,200 handwritten character images.

One of the major strengths of the constructed dataset is its ability to capture substantial handwriting variability among individuals. Turkish-specific handwritten characters often exhibit subtle structural differences, particularly in characters containing diacritical marks and dot-sensitive patterns. Therefore, collecting samples from multiple writers under realistic handwriting conditions significantly improved the representational diversity of the dataset. This variability allowed the proposed TCharNet architecture to learn more discriminative and generalized feature representations for Turkish handwritten character recognition tasks.

2.2. Proposed Methodology

The proposed methodology was designed to develop a robust deep learning framework capable of accurately recognizing Turkish-specific handwritten characters under varying handwriting

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

styles and structural variations. The overall pipeline consists of five main stages: dataset acquisition, preprocessing, data augmentation, deep feature learning, and classification. The complete workflow was specifically optimized to address the structural complexity of Turkish handwritten characters containing diacritical marks and visually similar letter patterns. Initially, handwritten character samples were collected digitally using a tablet-based acquisition environment. During this stage, participants were asked to write Turkish-specific characters on a predefined template using a stylus pen. The collected raw images were then transferred into the preprocessing stage, where several image enhancement and normalization operations were performed to obtain structurally consistent inputs for deep learning training. Since handwritten images may contain background inconsistencies, illumination variations, and writing-scale differences, preprocessing plays a critical role in improving feature extraction quality and classification stability.

In the preprocessing phase, all character images were first converted into grayscale representations to reduce computational complexity and eliminate unnecessary color information. Let $I(x, y)$ denote the input RGB image. The grayscale transformation was performed using luminance-based intensity conversion defined as Equation 1 [9].

$$G(x, y) = 0.299\mathrm{R} + 0.587\mathrm{G} + 0.114\mathrm{B} \tag{1}$$

where R, G, and B represent the red, green, and blue channel intensities, respectively. This transformation enhances structural visibility while preserving the essential stroke information of handwritten characters. Following grayscale conversion, all segmented character images were resized into a fixed spatial resolution to ensure dimensional consistency throughout the training process. Let I_r represent the resized image obtained from the original image I_o. The resizing operation can be expressed as Equation 2.

$$I_r = f(I_o, w, h) \tag{2}$$

where w and h denote the target width and height dimensions of the resized image. Standardizing image dimensions enables efficient batch processing and stable convolutional feature extraction. To improve dataset diversity and enhance model generalization capability, several data augmentation operations were applied. Random rotation-based transformations were primarily utilized to simulate realistic handwriting orientation differences among participants. The augmented image generation process can be represented as Equation 3.

$$I_a = T_\theta(I_r) \tag{3}$$

where T_θ denotes the geometric transformation operator applied with rotation θ. Through augmentation, the model becomes more robust against orientation variability and minor structural deformations commonly observed in handwritten data. After preprocessing and augmentation, the prepared images were fed into the proposed TCharNet architecture. TCharNet was specifically designed as a deep convolutional neural network optimized for Turkish handwritten character recognition. The architecture consists of multiple convolutional and max-pooling layers that progressively learn hierarchical feature representations from low-

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

level stroke patterns to high-level semantic structures [10]. The convolution operation performed within the network can be mathematically expressed as Equation 4.

$$F(i,j) = (I * K)(i,j) = \sum_m \sum_n I(i-m, j-n)K(m,n) \quad (4)$$

where I represents the input feature map, K denotes the convolution kernel, and $F(i,j)$ corresponds to the extracted feature response at spatial location (i,j). This operation enables the network to automatically capture discriminative structural characteristics of handwritten Turkish letters. To reduce feature dimensionality while preserving dominant spatial representations, max-pooling operations were integrated after convolutional layers. The pooling operation can be expressed as Equation 5 [11].

$$P(i,j) = max_{(m,n)\in R} F(m,n) \quad (5)$$

where R defines the pooling region and $P(i,j)$ represents the pooled feature value. Pooling operations contribute to translation invariance and reduce computational complexity during training. Finally, the extracted deep features were forwarded into fully connected layers followed by a Softmax classifier for multi-class Turkish character recognition. The probability estimation for each character class was computed using the Softmax activation function defined as Equation 6.

$$P(y_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^{N} e^{z_j}} \quad (6)$$

where z_i denotes the output score of class i and N represents the total number of character classes. The class with the highest probability score was selected as the final prediction output. The proposed methodology provides a comprehensive framework for Turkish-specific handwritten character recognition by integrating robust preprocessing operations, augmentation strategies, and deep convolutional feature learning mechanisms within a unified classification architecture. As illustrated in Figure 4, the proposed methodology consists of sequential stages including data acquisition, preprocessing, data augmentation, model construction, model training, model testing, and performance evaluation. This pipeline was specifically designed to ensure robust feature extraction and accurate classification of Turkish-specific handwritten characters under varying handwriting conditions.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

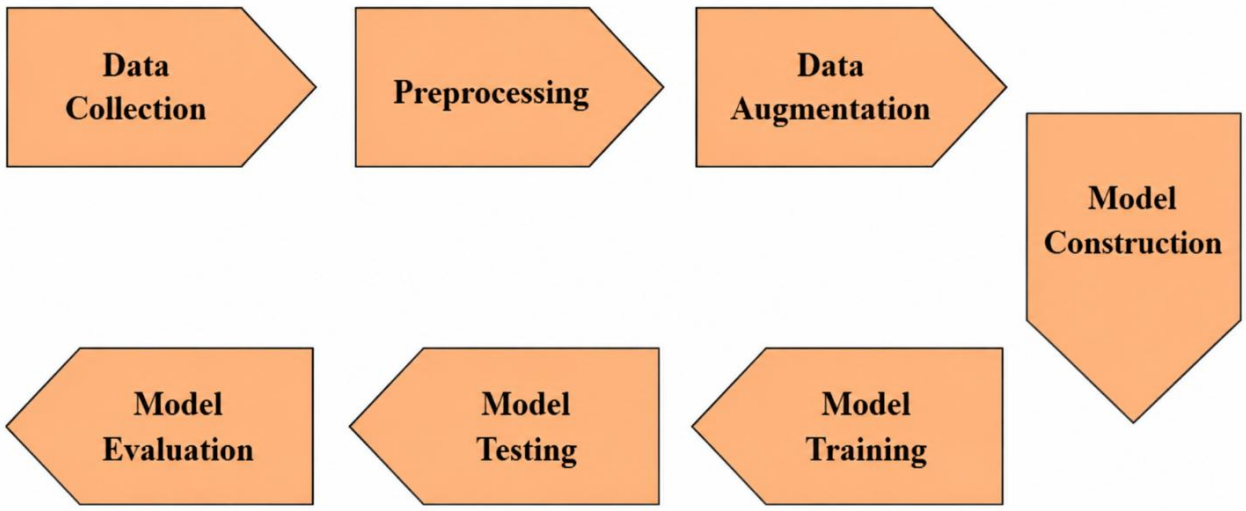


Figure 4. General workflow of the proposed Turkish handwritten character recognition framework

3. RESULTS

The experimental analyses demonstrated that the proposed TCharNet architecture achieved highly successful performance in recognizing Turkish-specific handwritten characters. The overall test classification accuracy of the proposed model was calculated as 91.41%. In addition to overall accuracy, macro-average and weighted-average precision, recall, and F1-score metrics were also computed to comprehensively evaluate classification performance across all character classes. Throughout the training process, both training and validation curves exhibited stable convergence behavior without severe overfitting. As illustrated in Figure 5, the validation accuracy increased progressively during the training stage and reached approximately 96%, while the loss values continuously decreased, indicating effective optimization and strong generalization capability of the proposed framework.

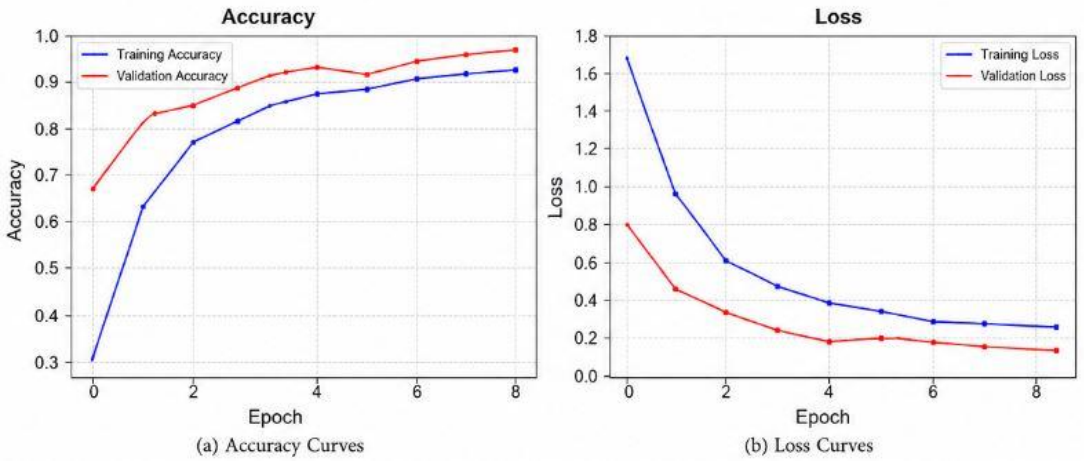


Figure 5. Training performance of the proposed TCharNet model: (a) accuracy curves and (b) loss curves

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

To further evaluate the practical classification capability of the proposed model, individual handwritten character samples were tested after the training phase. Figure 6 presents an example prediction generated by the TCharNet architecture. In this example, the handwritten “CC” character was correctly classified with a confidence probability of 99.98%, demonstrating the model’s ability to capture fine-grained structural features even in low-resolution handwritten inputs.

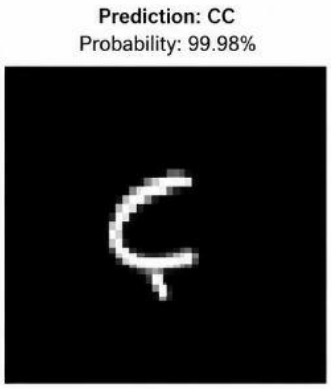


Figure 6. Example prediction result obtained from the proposed TCharNet model

The classification behavior of the proposed framework was further analyzed using the confusion matrix illustrated in Figure 7. The confusion matrix reveals that the majority of handwritten character samples were correctly classified with very low inter-class confusion. Minor misclassifications were primarily observed between visually similar character groups such as “I” and “II,” which contain subtle structural differences associated with dot placement and handwriting variability.

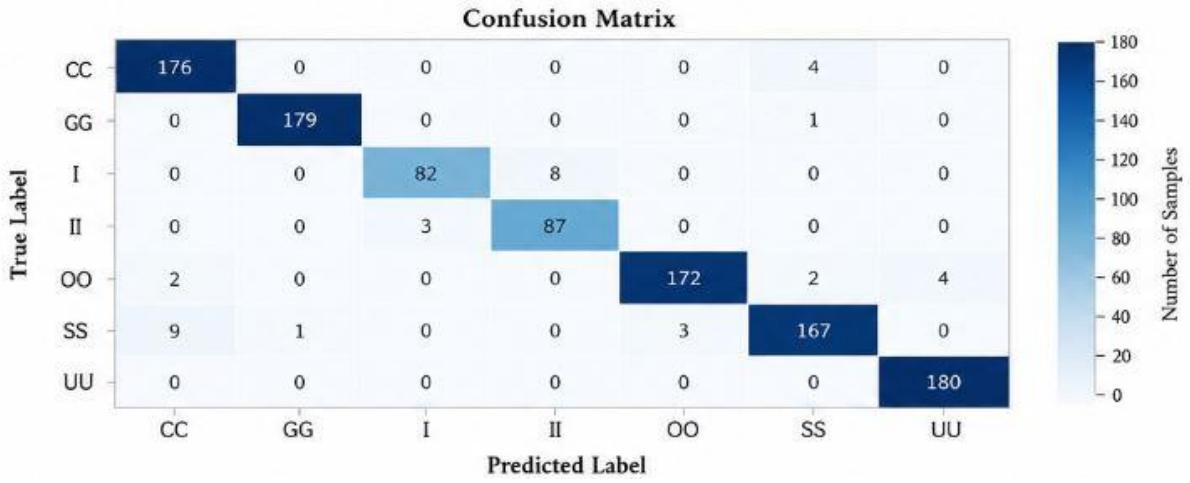


Figure 7. Confusion matrix obtained from the proposed TCharNet architecture

In addition to visual analyses, detailed quantitative performance metrics were computed to comprehensively evaluate the proposed model. Table 1 presents the macro-average and weighted-average classification metrics obtained using the TCharNet architecture. The proposed model achieved 0.96 macro-average precision, recall, and F1-score values, indicating

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

highly balanced classification performance across all Turkish character classes. Similarly, weighted-average precision, recall, and F1-score values reached 0.97, confirming the robustness and reliability of the proposed framework on the entire dataset.

Table 1. Performance metrics obtained from the proposed TCharNet model

Metric Type	Precision	Recall	F1-Score
Macro Average	0.96	0.96	0.96
Weighted Average	0.97	0.97	0.97

Class-wise F1-score analyses were also conducted to evaluate the recognition capability of the model for individual Turkish-specific characters. The results presented in Table 2 demonstrate that the proposed TCharNet model achieved consistently high classification performance across all character classes. Particularly, the "ĞĞ" and "UU" classes achieved outstanding F1-score values of 0.99, while "ÖÖ" and "ŞŞ" classes reached 0.97 and 0.94, respectively. Even for structurally challenging classes such as "I" and "II," the proposed architecture maintained highly competitive recognition performance. These findings confirm that the proposed framework effectively learned discriminative structural representations for Turkish handwritten characters containing visually sensitive details and diacritical structures.

Overall, the obtained experimental findings demonstrate that the proposed TCharNet architecture provides a highly reliable and efficient solution for Turkish-specific handwritten character recognition. The integration of deep convolutional feature extraction, pooling operations, and regularization mechanisms enabled the framework to achieve strong generalization capability under varying handwriting styles and structural variations. Furthermore, the proposed dataset and model architecture have strong potential for future applications in Turkish optical character recognition systems, intelligent document analysis, and language-dependent handwritten text processing technologies.

Table 2. Class-wise F1-score results obtained from the proposed TCharNet model

Character Class	F1-Score
CC	0.96
GG	0.99
I	0.94
II	0.94
OO	0.97
SS	0.94
UU	0.99

4. CONCLUSION

In this study, a deep learning-based handwritten Turkish character recognition framework was proposed for the classification of Turkish-specific characters containing structurally distinctive and visually sensitive patterns. Due to the limited availability of Turkish-oriented handwritten datasets in the literature, an original dataset consisting of seven Turkish-specific handwritten

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

character classes was constructed through tablet-based digital data acquisition from volunteer participants. Comprehensive preprocessing and augmentation procedures were subsequently applied to improve dataset diversity and model generalization capability.

To address the recognition challenges associated with Turkish handwritten characters, a customized convolutional neural network architecture named TCharNet was developed. The proposed model successfully learned discriminative structural representations of handwritten characters through hierarchical convolutional feature extraction and achieved highly competitive classification performance. Experimental results demonstrated that the proposed framework reached 96% macro-average performance and 97% weighted-average performance metrics, while maintaining highly successful class-wise F1-score values across all Turkish-specific character groups.

The obtained findings indicate that the proposed TCharNet architecture provides a reliable and effective solution for Turkish handwritten character recognition tasks. Furthermore, the developed dataset and deep learning framework may contribute to future research in Turkish optical character recognition systems, intelligent document analysis applications, and language-dependent handwritten text processing technologies.

REFERENCES

[1] Raza, S., Farooq, M., Farooq, U., Karamti, H., Khurshaid, T., & Ashraf, I. A convolutional neural network based optical character recognition for purely handwritten characters and digits. Computers, Materials, & Continua, 84(2), 3149, 2025.

[2] Al-Maamari, M. R., Ramteke, R., Al-Hejri, A. M., & Alshamrani, S. S. Integrating CNN and transformer architectures for superior Arabic printed and handwriting characters classification. Scientific reports, 15(1), 29936, 2025.

[3] Akinsola, J. E. T., Olatunbosun, M. A., Olaniyi, I. M., Adeagbo, M. A., Olajubu, E. A., & Aderounmu, G. A. Application of Artificial Intelligence on MNIST Dataset for Handwritten Digit Classification for Evaluation of Deep Learning Models. Acadlore Transactions on AI and Machine Learning, 4(3), 219-234, 2025.

[4] Saini, M. L., Tripathi, B., & Mirza, M. S. Evaluating the performance of deep learning models in handwritten digit recognition. 2023 3rd International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS), 116-121, 2023.

[5] Alqahtani, A. S., Madheswari, A. N., Mubarakali, A., & Parthasarathy, P. Secure communication and implementation of handwritten digit recognition using deep neural network. Optical and Quantum Electronics, 55(1), 27, 2023.

[6] Soomro, M., Farooq, M. A., & Raza, R. H. Performance evaluation of advanced deep learning architectures for offline handwritten character recognition. 2017 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), 362-367, 2017.

[7] Kusetogullari, H., Yavariabdi, A., Hall, J., & Lavesson, N. Digitnet: a deep handwritten digit detection and recognition method using a new historical handwritten digit dataset. Big Data Research, 23, 100182, 2021.

[8] Acharya, S., Pant, A. K., & Gyawali, P. K. Deep learning based large scale handwritten Devanagari character recognition. 2015 9th International conference on software, knowledge, information management and applications (SKIMA), 1-6, 2015.

[9] Srisermphoak, N., Amornphimoltham, P., Chaisuparat, R., Achararit, P., & Fuangrod, T. A systematic evaluation of grayscale conversion methods for mitigating color variation in deep learning-based histopathological image analysis. Journal of Pathology Informatics, 100647, 2026.

[10] Kousar, T., Rahim, M. S. M., Iqbal, S., Yousaf, F., & Sanaullah, M. Applications of deep learning algorithms in ischemic stroke detection, segmentation, and classification. Artificial Intelligence Review, 58(5), 149, 2025.

[11] Zafar, A., Aamir, M., Mohd Nawi, N., Arshad, A., Riaz, S., Alruban, A., ... & Almotairi, S. A comparison of pooling methods for convolutional neural networks. Applied Sciences, 12(17), 8643, 2022.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

RADYOİŞARETLİ İBUPROFEN YÜKLÜ PLGA NANOPARÇACIKLARININ SENTEZLENMESİ

YL. Öğr., DİLBESTE KARAMAN
Ege Üniversitesi, dilbestekaraman@gmail.com - 0009-0001-9821-7771
Prof. Dr., KÜBRA TOPALOĞLU
Ege Üniversitesi, kubra.topaloglu@ege.edu.tr - 0000-0002-0783-8557

ÖZET

Kanser teşhisinde kullanılan geleneksel yöntemler, kanserli hücrelerle birlikte sağlıklı hücrelere de zarar verebilir. Bu süreçte sistemik toksisiteyi ve yan etkileri minimumda tutan hedefe yönelik spesifik ilaç taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi büyük bir önceliğe sahiptir. Nitekim, polimerik nanopartiküller etkili bir taşıyıcı platform olarak ön plana çıkmaktadır. PLGA [poli(laktik-ko-glikolik asit)], laktik asit ve glikolik asit monomerlerinden oluşan sentetik, biyobozunur bir kopolimerdir. Toksik olmaması ve biyouyumlu olması nedeniyle ilaç taşıyıcı sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan non-steroidal anti-inflamatuar ilaç ibuprofenin, sistemik yan etkilerinin azaltılması ve etkinliğinin artırılması amacıyla PLGA polimerik nanopartikül tabanlı bir ilaç taşıyıcı sistem geliştirilmiştir. İbuprofen yüklü PLGA nanopartiküller (IBU-PLGA NP), tekli emülsiyon-çözücü buharlaştırma yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenen nanopartiküller kalay klorür ($SnCl_2$) indirgeme yöntemiyle Teknesyum-99m (Tc-99m) radyoizotopu kullanılarak radyoişaretlenmiştir. Nanopartiküllerin boyut ve polidispersite indeksi (PDI) değerleri dinamik ışık saçılımı (DLS) yöntemiyle; ilaç yükleme kapasitesi ise yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemiyle belirlenmiştir. Sentezlenen İbuprofen yüklü PLGA nanopartiküllerin Tc-99m ile radyoişaretleme verimliliğinin kalite kontrol çalışmaları ince tabaka radyo kromatografisi (TLRC) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tekli emülsiyon-çözücü buharlaştırma yöntemiyle başarıyla sentezlenen IBU-PLGA nanopartiküllerinin uygun boyut, homojenliğe sahip olduğu saptanmış olup, ilaç yükleme kapasitesi ve Tc-99m ile radyoişaretleme çalışma veriminin iyileştirilmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir. Formülasyonun *in vitro* stabilite ve ilaç salım profili belirlendikten sonraki aşamada, meme kanseri hücre hattı üzerindeki sitotoksik etkinliği ve hücresel alım süreçleri hücre kültürü çalışmalarıyla incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, radyoişaretleme, ilaç taşıyıcı sistemler, ibuprofen

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

A REAL-TIME HYBRID DRIVER MONITORING APPROACH BASED ON THE INTEGRATED ANALYSIS OF BEHAVIORAL AND PHYSIOLOGICAL DATA

Connectivity & Smart Devices Specialist, MUSTAFA ERDEM MEMİŞ

Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.Ş., mustafa.memis@marturfompak.com - 0009-0005-1010-588X

ABSTRACT

Driver fatigue and distraction are among the leading factors contributing to traffic accidents worldwide. Most existing driver monitoring systems rely solely on either image processing techniques or physiological measurements. Depending on a single source of information may reduce system reliability due to environmental conditions, individual differences, and measurement uncertainties. In this study, a real-time hybrid driver monitoring system capable of jointly evaluating the driver's behavioral and physiological conditions is proposed.

The proposed system continuously monitors the driver's facial region to detect fatigue-related indicators such as eye openness, prolonged eye closure, and face detection status. Simultaneously, an optical biometric sensor is employed to acquire physiological parameters including heart rate and blood oxygen saturation (SpO_2). Behavioral and physiological data are evaluated through a unified decision mechanism to assess the driver's current condition. When predefined threshold values are exceeded, an audible warning is generated to attract the driver's attention and reduce the potential risk associated with fatigue. By combining multiple sources of information, the proposed approach aims to provide a more comprehensive and reliable assessment than systems relying on a single detection method.

Preliminary prototype evaluations demonstrated that image-based driver monitoring and physiological data acquisition can operate simultaneously on the same embedded platform in real time. Owing to its modular architecture, the proposed system can be further extended by integrating additional sensors, advanced driver behavior analysis methods, and artificial intelligence-based decision support algorithms in future studies. Therefore, the proposed approach offers a practical, low-cost, and scalable solution for next-generation driver assistance systems, while providing a flexible platform for future research and development.

Keywords: Driver Monitoring System, Hybrid Monitoring, Image Processing, Physiological Data Analysis, Embedded Systems.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

1.1. Driver Fatique and Traffic Safety

Road transportation is one of the most widely used modes of transportation worldwide; however, road traffic accidents remain a major public health and safety problem. According to the World Health Organization, approximately 1.19 million people die each year as a result of road traffic crashes [1]. Driver fatigue is considered an important factor affecting driving performance and road safety [2], [3]. Particularly during long-term and monotonous driving conditions, fatigue may increase reaction time, reduce environmental awareness, and negatively affect decision-making performance [2], [4]. Therefore, reliable monitoring of the driver's current state and early identification of fatigue-related symptoms are important for improving driving safety.

1.2. Literatur Review

Driver fatigue detection methods reported in the literature can generally be classified into behavioral, physiological, and vehicle-based approaches [2], [3], [13]. Behavioral approaches commonly employ camera-based image processing techniques to analyze eye openness, blinking behavior, eye closure duration, head movements, and facial characteristics [2], [5]. Among these indicators, PERCLOS, which is based on the proportion of eye closure over a defined time interval, has been widely investigated for driver vigilance and drowsiness monitoring [2], [3]. However, the performance of camera-based methods may be affected by illumination changes, head movements, partial facial occlusion, and insufficient visibility of the eye region [5], [13].

Physiological approaches evaluate driver condition using biological signals such as heart rate, heart rate variability (HRV), electrocardiography (ECG), and electroencephalography (EEG) [6]–[9]. Studies based on HRV have demonstrated the potential of cardiac parameters for fatigue assessment, although differences among subjects and experimental conditions remain important challenges [6]–[8]. In addition, optically measured physiological parameters such as heart rate and blood oxygen saturation (SpO_2) can provide complementary information about the driver's physiological condition [10].

Recent research has increasingly focused on hybrid and multimodal driver monitoring approaches in which behavioral and physiological information are considered together [2], [3], [11], [13]. Combining different sources of information has the potential to compensate for limitations associated with individual sensing methods. Nevertheless, sensor contact, environmental conditions, physiological differences among drivers, computational requirements, and validation under real driving conditions remain important challenges [3], [6], [11], [12]. Therefore, the development of low-cost and modular systems capable of real-time behavioral and physiological monitoring remains a relevant research topic.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Chart 1. General comparison of driver monitoring approaches reported in the literature

Study	Camera/ Behavioral	Physiological	Hybrid	Real-Time
Jiao ve He (2007) [5]	✓	-	-	✓
Fujiwara ve ark. (2019) [7]	-	✓	-	✓
Lu ve ark. (2022) [6]*	-	✓	-	-
Albadawi ve ark. (2022) [2]*	✓	✓	✓	✓
Perkins ve ark. (2021) [11]*	✓	✓	✓	-
This Study	✓	✓	✓	✓

1.3. Aim and Contributions of the Study

In this study, a real-time hybrid driver monitoring system was developed to simultaneously monitor behavioral and physiological parameters of the driver. Camera images are used to analyze facial and eye-related information, while behavioral indicators including eye state, blink activity, perclos, and fatigue score are calculated in real time. In parallel, an optical physiological sensor is used to acquire heart rate and blood oxygen saturation (SpO_2), and these measurements are displayed on the same user interface.

The system was designed to generate visual and audible warnings when fatigue-related conditions, such as prolonged eye closure, are detected. Physiological sensor contact is also monitored to prevent invalid measurements from being presented when proper contact is unavailable. Thus, camera-based behavioral analysis and physiological monitoring are integrated within the same real-time prototype.

The main contributions of this study can be summarized as follows:

- A hybrid prototype combining camera-based behavioral analysis and physiological monitoring within a single driver monitoring platform was developed.
- Behavioral parameters including eye state, blink activity, perclos, and fatigue score were monitored in real time.
- Simultaneous acquisition and visualization of heart rate and SpO_2 measurements together with behavioral monitoring were achieved.
- A low-cost and modular hardware-software architecture suitable for future integration of additional sensors and artificial intelligence-based decision algorithms was established.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Experimental System Architecture

A real-time hybrid driver monitoring prototype was developed to simultaneously evaluate behavioral and physiological parameters. The experimental system combines camera-based face and eye monitoring with optical physiological sensing. Behavioral information obtained from facial images and physiological measurements are processed within a common monitoring architecture.

The system consists of four main functional modules: behavioral monitoring, physiological monitoring, fatigue assessment and data fusion, and the user interface and warning system. The behavioral monitoring module evaluates face and eye status, blink activity, eye closure duration, and perclos. The physiological monitoring module acquires heart rate and blood oxygen saturation (SpO_2) measurements when valid finger contact is detected. The acquired parameters are evaluated together to determine the driver's current condition.

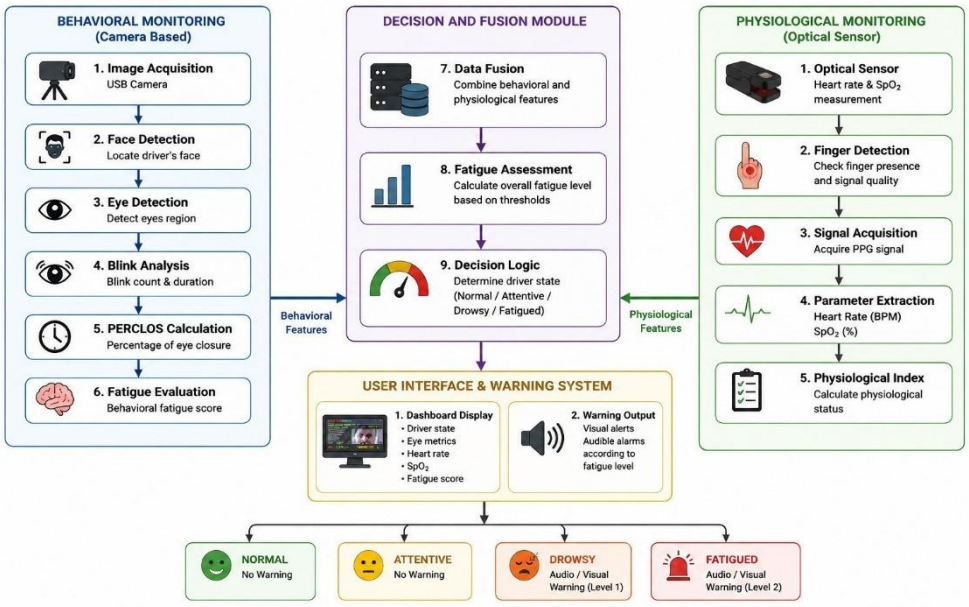


Figure 1. Overall architecture of the proposed hybrid driver monitoring system, 2026

2.2. Experimental Prototype and Hardware Configuration

The experimental prototype consists of an embedded processing platform, a USB camera, an optical biometric sensor, a display module, and an audible warning unit. The USB camera continuously captures facial images for behavioral monitoring, while the optical sensor provides heart rate and SpO_2 measurements.

The embedded platform performs real-time processing of the acquired data and displays the resulting parameters through the developed graphical monitoring interface. Face and eye status,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

blink information, perclos, fatigue score, heart rate, SpO_2, and sensor contact status can therefore be monitored simultaneously.

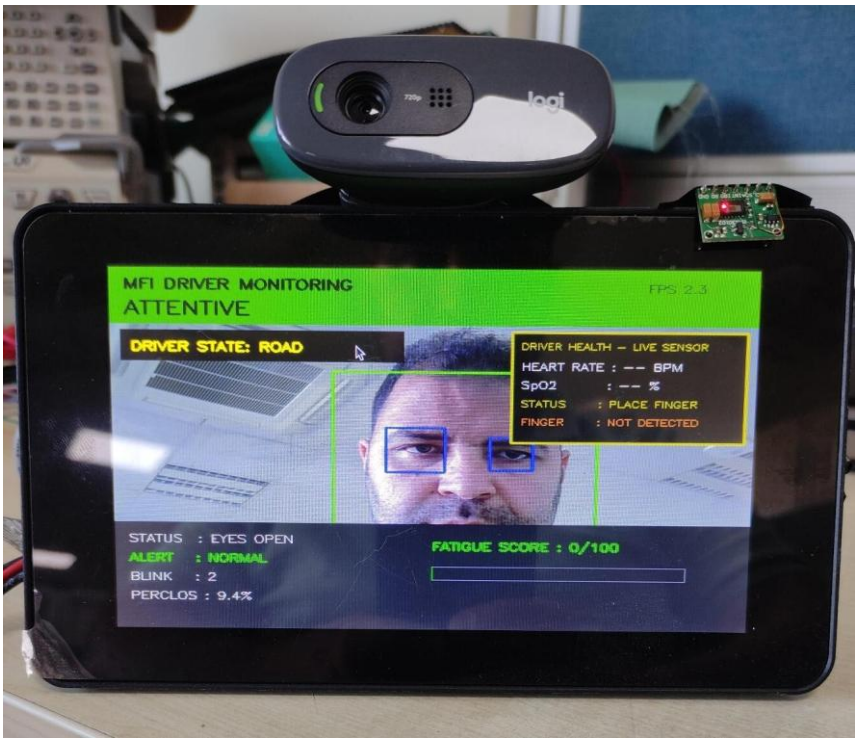


Figure 2. Experimental prototype of the developed hybrid driver monitoring system, 2026.

Chart 2. Hardware components used in the experimental prototype.

Component	**Function**
Embedded processing platform	Real-time data processing
USB camera	Face and eye image acquisition
Optical biometric sensor	Heart rate and SpO_2 measurement
Display module	Driver information interface
Audible warning unit	Fatigue warning generation

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.3. Software and Fatique Evaluation

The developed software was designed with a modular structure for simultaneous behavioral and physiological monitoring. Facial images are continuously acquired from the camera and processed to determine face detection, eye status, blink activity, and eye closure duration. These parameters are used to calculate perclos and the fatigue score.

In parallel, the physiological monitoring module acquires heart rate and SpO_2 measurements from the optical sensor. Physiological data are accepted only when valid finger contact is detected. Behavioral and physiological information is then evaluated within the fatigue assessment module, and the resulting driver state is displayed on the graphical interface.

When predefined fatigue-related conditions are detected, the system generates visual and audible warnings. The software workflow used during the experimental studies is illustrated in Figure 3.

Figure 3. Software workflow of the proposed hybrid driver monitoring system, 2026.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.4. Experimental Procedure and Normal Monitoring

The developed prototype was evaluated under different operating conditions to verify the simultaneous operation of the behavioral and physiological monitoring modules. During the experiments, face and eye status, blink activity, perclos, fatigue score, heart rate, SpO_2, and finger detection status were monitored through the developed interface.

Under normal monitoring conditions, the driver's face and open-eye state were detected and the driver was classified as attentive. When valid finger contact was available, physiological parameters were simultaneously acquired and displayed together with the behavioral parameters.

Figure 4. Real-time monitoring interface showing behavioral and physiological parameters under normal conditions, 2026.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.5. Drowsiness Detection and Warning Test

The response of the system to prolonged eye closure was experimentally evaluated. When the eye-closure duration exceeded the predefined threshold, the condition was classified as a fatigue-related event. The driver state was updated accordingly and the warning mechanism was activated.

A visual warning message was displayed on the monitoring interface while an audible warning was simultaneously generated by the warning unit. The experimental response of the system to prolonged eye closure is shown in Figure 5.

Figure 5. Visual warning generated following the detection of prolonged eye closure, 2026.

2.6. Physiological Sensor Contact Test

The physiological monitoring module was also evaluated according to sensor contact status. When valid finger contact was detected, heart rate and SpO_2 measurements were acquired and displayed on the monitoring interface. When the finger was removed from the optical sensor, the system detected the loss of contact and prevented physiological measurements from being displayed.

The monitoring interface subsequently indicated that valid finger contact was required. Figure 6 shows the system response when finger contact was not detected.

Figure 6. Physiological monitoring interface when finger contact is not detected, 2026.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. RESULTS AND EVALUATION

Experimental observations demonstrated that the behavioral and physiological monitoring modules operated simultaneously during real-time monitoring. The prototype successfully responded to normal monitoring, increased eye closure, prolonged eye closure, and loss of physiological sensor contact.

Under normal monitoring conditions, valid heart rate and SpO_2 measurements were obtained while the driver remained in the attentive state. The recorded physiological measurements included heart rate values of **71, 76, and 82 BPM**, with corresponding SpO_2 values of **98%, 98%, and 97%**, respectively. During increased eye closure, the fatigue indicators increased, while prolonged eye closure resulted in the detection of a drowsiness condition and activation of the visual and audible warning mechanism.

When finger contact was removed, the physiological measurements were cleared and the system requested valid sensor contact. Thus, physiological measurements were only displayed when appropriate sensor contact was available. These observations demonstrate the functional operation of the developed hybrid monitoring architecture under the investigated experimental conditions.

Chart 3. Experimental results of the proposed driver monitoring system.

Test condition	Driver state	PERCLOS	Fatigue score	Heart rate (BPM)	SpO_2 (%)	Finger status	Response
Normal monitoring	Attentive	Low	Low	71	98	Detected	Normal monitoring
Physiological monitoring	Attentive	Low	Low	76	98	Detected	Normal monitoring
Physiological monitoring	Attentive	Low	Low	82	97	Detected	Normal monitoring
Increased eye closure	Fatigue tendency	Increased	Increased	78	98	Detected	Fatigue evaluation
Prolonged eye closure	Drowsiness detected	High	High	-	-	Detected	Visual and audible warning
Finger removed	Attentive	Low	Low	-	-	Not detected	Place finger

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In this study, a real-time hybrid driver monitoring system combining camera-based behavioral analysis with physiological monitoring was developed and experimentally evaluated. The developed prototype simultaneously monitored facial and eye states, blink activity, perclos, fatigue score, heart rate, and blood oxygen saturation.

Experimental observations showed that the system could distinguish between normal monitoring, prolonged eye closure, loss of physiological sensor contact, and fatigue-related conditions. Prolonged eye closure resulted in visual and audible warnings, while physiological measurements were displayed only when valid sensor contact was detected. The simultaneous operation of these functions demonstrated the feasibility of integrating behavioral and physiological information within a single driver monitoring architecture.

The developed prototype provides a low-cost and modular platform for further driver monitoring studies. However, the present study primarily focuses on prototype development and functional verification rather than large-scale validation. Future studies will include experiments with a larger number of participants and under different environmental and driving conditions. Artificial intelligence-based decision algorithms, head-pose estimation, yawning detection, and additional physiological parameters may also be integrated to improve the robustness of driver-state assessment.

Overall, the experimental results indicate that the integration of camera-based behavioral indicators with physiological measurements provides a promising architecture for the development of more comprehensive driver monitoring systems.

.

REFERENCES

[1] World Health Organization, Global Status Report on Road Safety 2023, World Health Organization, Geneva, 2023.

[2] Albadawi, Y., Takruri, M. and Awad, M. (2022). A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems. Sensors, 22 (5). https://doi.org (Erişim tarihi: 05.01.2026)

[3] Nasri, I., Karrouchi, M., Kassmi, K. and Messaoudi, A. (2022). A Review of Driver Drowsiness Detection Systems: Techniques, Advantages and Limitations. arXiv preprint, arXiv:2206.07489. https://arxiv.org (Erişim tarihi: 06.01.2026)

[4] He, J., Choi, W., Yang, Y., Lu, J., Wu, X. and Peng, K., Detection of Driver Drowsiness Using Wearable Devices: A Feasibility Study of the Proximity Sensor, Applied Ergonomics, 65, 473–480, 2017.

[5] Jiao, F. and He, G., Real-Time Eye Detection and Tracking under Various Light Conditions, Data Science Journal, 6, S636–S640, 2007.

[6] Lu, K., Sjörs Dahlman, A., Karlsson, J. and Candefjord, S. (2022). Detecting Driver Fatigue Using Heart Rate Variability: A Systematic Review. Accident Analysis & Prevention, 178, 106830. https://doi.org (Erişim tarihi: 06.01.2026)

[7] Fujiwara, K., Abe, E., Kamata, K., Nakayama, C., Suzuki, Y., Yamakawa, T., Hiraoka, T., Kano, M., Sumi, Y., Masuda, F., Matsuo, M. and Kadotani, H., Heart Rate Variability-Based Driver Drowsiness Detection and Its Validation With EEG, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 66(6), 1769–1778, 2019.

[8] Patel, M., Lal, S.K.L., Kavanagh, D. and Rossiter, P., Applying Neural Network Analysis on Heart Rate Variability Data to Assess Driver Fatigue, Expert Systems with Applications, 38(6), 7235–7242, 2011.

[9] Zeng, C., Zhang, J., Su, Y., Li, S., Wang, Z., Li, Q. and Wang, W. (2024). Driver Fatigue Detection Using Heart Rate Variability Features from 2-Minute Electrocardiogram Signals While Accounting for Sex Differences. Sensors, 24 (13). https://doi.org (Erişim tarihi: 01.02.2026)

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

[10] Fatigue Driving Detection Method for Low-Voltage and Hypoxia Plateau Area: A Physiological Characteristic Analysis Approach, International Journal of Transportation Science and Technology, 9(3), 191–201, 2020.

[11] Perkins, E., Sitaula, C., Burke, M. and Marzbanrad, F., Challenges of Driver Drowsiness Prediction: The Remaining Steps to Implementation, arXiv preprint arXiv:2109.08355, 2021**.**

[12] Buendia, R., Forcolin, F., Karlsson, J., Sjörs Dahlman, A., Anund, A. and Candefjord, S., Deriving Heart Rate Variability Indices from Cardiac Monitoring - An Indicator of Driver Sleepiness, Traffic Injury Prevention, 2019.

[13] Sahayadhas, A., Sundaraj, K. and Murugappan, M. (2012). Detecting Driver Drowsiness Based on Sensors: A Review. Sensors, 12 (12). mdpi.com (Erişim tarihi: 18.11.2009)

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KBRN OLAYLARINDA SAVUNMA SUBAYININ SORUMLULUK ALANINDA BIYOSENSÖR TABANLI TESPIT SISTEMLERININ YERI: KÜRESEL DOKTRINLER VE UYGULAMA FARKLLKLARI

The Role of Biosensor-Based Detection Systems within the CBRN Defence Officer ' s Area of Responsibility: Global Doctrines and Implementation Differences

Hüseyin DiRIM1, Abdullah ÖZKAN2*

1 2 Iskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, KBRN Tehditleri Yönetimi Bölümü,

31200 İskenderun, Hatay, Türkiye

* Sorumlu yazar: hdirim.lee25@iste.edu.tr

*Sorumlu yazar.abdullah.ozkan@ise.edu.tr

ORCID:Abdullah ÖZKAN,https://orcid.org/0000-0002-6799-2396

ORCID: Hüseyin DIRIM, https://orcid.org/0009-0009-2427-0068

Özet

Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) olaylarında savunma subayı; tehdit değerlendirmesi, alan güvenliği, tespit-doğrulama ve birimler arası koordinasyon görevlerini yürüten kritik bir karar aktörüdür. Taşınabilir ve mikroakışkan biyosensörler; ilk saha taramas1,alan sınıflandırması, maruziyet teyidi, risk derecelendirme ve yeniden giriş kararlarında gerçek zamanlı veri sağlayarak bu görev zincirini doğrudan destekler. Bu çalışma, savunma subayının sorumluluk alanında biyosensörlerin operasyonel yerini NATO, ABD ve Avrupa doktrin ile uygulama farklılıkları bağlamında literatür temelli olarak analiz eder; görev zincirini bir şekil,doktrinsel farklılıkları ise nitel bir karşılaştırma çizelgesi ile görselleştirir. Tarama, 2015-2025döneminde Scopus ve Web of Science üzerinde belirlenen anahtar kelimelerle yürütülmüş;seçilen tüm kaynakların yazar, başlık, yil ve DOI bilgisi CrossRef ile birebir doğrulanmiştir.Bulgular; sensör kullanımının doktrinde yeterince açık tanımlanmadığını, eğitim ile teknoloji arasında belirgin bir uyumsuzluk bulunduğunu, çok uluslu operasyonlarda rol çakışmalari yaşandığını ve uluslararası veri standardizasyonunun eksik kaldığını göstermektedir. Çalışma;sensör kullanımının rol tanımına açık entegrasyonu, yetki-sorumluluk çerçevesinin netleştirilmesi, eğitim modüllerinin güncellenmesi ve tatbikat bazlı doğrulama mekanizmalarının kurulmasını önermektedir.

Anahtar Kelimeler: KBRN savunma subaylığı, biyosensör, operasyonel doktrin, saha tespiti,karar zinciri, NATO KBRN

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Abstract

In chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) incidents,the defence officer is a critical decision actor responsible for threat assessment, area security, detection-verification and inter-unit coordination. Portable and microfluidic biosensors directly support this task chain by providing real-time data for initial field screening, area classification, exposure confirmation, risk grading and re-entry decisions. This study analyses the operational role of biosensors within the CBRN defence officer's area of responsibility, comparing NATO, United States and European doctrinal and implementation differences on a literature basis, and summarises the findings in a qualitative comparison table. The review was conducted on Scopus and Web of Science for the 2015-2025 period, and all sources were verified through CrossRef. The findings indicate that sensor use is insufficiently defined in doctrine, that a gap exists between training and technology,that role overlaps occur in multinational operations, and that data standardisation remains incomplete. The study recommends explicit integration of sensor use into role definitions,clarification of the authority-responsibilityframework, updating of training modules, and the establishment of exercise-based validation mechanisms.

Keywords: CBRN defence officer, biosensor, operational doctrine, field detection, decision chain, NATO CBRN

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. Giriş

Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehditler, modern güvenlik ortamında hem askeri operasyonlar hem de sivil altyapi ve halk sağlığı üzerinde çok boyutlu bir risk üretmektedir (Benolli vd., 2020; Koblentz, 2020). Bu tehditlerin büyük bölümü görünmez ve hızlı yayılabilir nitelikte olduğundan, saha birimlerinin sürekli izleme ve erken uyarı kapasitesiyle donatilmasi zorunlu hâle gelmektedir (Ahamed Fazil vd., 2024; Turner, 2013). Özellikle kimyasal savaşajanlarının çevresel ve toksikolojik etkileri, sahada hizlı ve güvenilir tespiti kritik bir gereklilik olarak öne çıkarmaktadır (Elbouzidi & Addi, 2023; Golime & Singh, 2023).

Bu bağlamda savunma subayı, yalnızca birliklerin güvenliğini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda tehdit değerlendirmesi yaparak komuta zincirini bilgilendirir ve koruyucu önlemlerin uygulanmasını koordine eder (Coleman vd., 2019; Montibeller vd., 2020). Biyosensör tabanli tespit sistemleri, bu görev zincirinde hızli veri üretimi sağlayarak operasyonel kararların doğruluğunu ve hızini artirir (Han vd., 2025; Srinivasan & Tung, 2015).

1.1. KBRN Tehditlerinin Askeri ve Güvenlik Boyutu

KBRN ajanlarının kullanımı, modern çatışmalarda doğrudan insan kaybının yanı sıra lojistik kesintiler ve psikolojik etkiler de yaratabilir (Koblentz, 2020; Mattmann, 2020). Kimyasal ve biyolojik tehditler çoğu zaman görünmez olduğundan, saha birimlerinin sürekli izleme ve erken uyari sistemlerine sahip olmasi gerekir (Das vd., 2023; Naresh & Lee, 2021). Radyolojik ve nükleer ajanlar ise alan güvenliği ve doz temelli risk derecelendirmesi açısından özel bir dikkat gerektirir; bu durum subayın hem stratejik hem taktik karar mekanizmalarını etkiler (Furtak vd.,2018; Żbikowska, 2018).

1.2. KBRN Savunma Subaylığının Operasyonel Rolü

Savunma subayı KBRN olaylarına müdahalede çok yönlü bir rol üstlenir; temel sorumluluklarıtehdit değerlendirmesi, alan güvenliği, komuta bilgilendirmesi ve birim koordinasyonudur (Coleman vd., 2019; Karim, 2021). Bu görevler aşağıdaki ana başlıklarda toplanabilir:

- Tehdit değerlendirme ve risk analizi: olasi KBRN tehditlerinin hızlı biçimde tanimlanmasi.
- Alan güvenliği ve siniflandirma: sensör verisine göre bölgelerin risk düzeylerine ayrılması ve güvenlik çemberlerinin oluşturulmas1.
- Tespit-doğrulama ve maruziyet teyidi: saha bulgularının çok aşamalı doğrulama ile teyit edilmesi.
- Birimler arası koordinasyon ve raporlama: komuta zinciri ile saha birimleri arasında bilgi akışının sürdürülmesi.

Biyosensörler bu görevlerin daha hızlı ve doğru1 yerine getirilmesine olanak tanıyarak subayın karar kalitesini yükseltir (Mattmann, 2020; Naresh & Lee, 2021).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1.3. Biyosensör Teknolojilerinin Artan Kullanimi

Taşınabilir ve mikroakışkan biyosensörler; saha taraması, doğrulama ve maruziyet teyidi süreçlerini hız ve taşınabilirlik avantajıyla destekler (Cevenini vd., 2016; Han vd., 2025). Çip üzerinde laboratuvar (lab-on-a-chip) ve nanoyapılı platformlar, çoklu hedefin eş zamanlı tespitine olanak vererek saha analitik kapasitesini genişletmektedir (Gao vd., 2018; Panneerselvam vd.,2022). Elektrokimyasal ve optik dönüştürücüler, kimyasal savaş ajanları ve biyoterör hedeflerinin seçici tespitinde giderek daha fazla öne çıkmaktadır (Ghosh, 2023; White,2024). Bakim noktasi (point-of-care) biyosensörleri ise personel taramasını sahaya taşıyarak hızlı maruziyet teyidini mümkün kılar (Kaya vd., 2023; Ogurtsov & Twomey, 2018).

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsami

Bu çalışma dört temel soruya yanıt aramaktadır: (1) Biyosensörler subayın görev zincirinde hangi aşamada kritik rol oynar? (2) Mevcut doktrinler hızla gelişen sensör teknolojisine uyum sağlayabiliyor mu? (3) NATO, ABD ve Avrupa yaklaşimlari arasinda hangi farklar gözlenmektedir? (4) Rol tanımı ile saha pratiği arasında boşluklar var mıdır? Bu amaçla NATO,ABD ve Avrupa doktrinsel çerçeveleri ile saha uygulamaları karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır (Bellucci, 2020; Gromek & Szklarski, 2023).

1.5. Literatür Tarama Yöntemi

Tarama; Scopus ve Web of Science veri tabanlarında 2015-2025 döneminde “CBRN doctrine military”, “CBRN officer responsibilities”, “tactical deployment biosensor”, “NATO CBRN doctrine”, “command responsibility CBRN” ve “field detection command structure ” anahtar kelimeleriyle yürütülmüştür. Dâhil etme ölçütleri; KBRN doktrini, subay sorumluluğu veya saha biyosensör bağlantısı taşıyan makale, dderleme ve doğrulanmış kitap bölümleridir. Dışlama ölçütleri; konu dışı klinik uygulamalar ve tanımlayıcısı doğrulanamayan kayıtlardır. Yöntemsel bütünlük için tespit başarımı, belirleme siniri ve belirsizlik değerlendirmesine ilişkin temel metodolojik kaynaklar da kapsam dışı bırakılmamıştır (Altman & Bland, 1994; Fawcett, 2006).Seçilen tüm kaynakların yazar, başlık, yıl ve DOI bilgisi CrossRef ile birebir doğrulanmıştir (Aven, 2016; Ravizza vd., 2019).

2. KBRN Savunma Subaylığı Doktrini ve Görev Çerçevesi

KBRN savunma subayi, modern askeri operasyonlarin kritik kavşaklarında görev alır;sorumluluk alan1 sahadaki birliklerin güvenliğini sağlamak, tehditleri tespit etmek ve karar mekanizmalarını beslemek üzerine kuruludur (Coleman vd., 2019; Montibeller vd., 2020). Dünya genelindeki doktrinler subayın görev tanımını ve yetki alanlarını belirlemekte, ancak hızla gelişen teknolojiye uyum sağlamakta zaman zaman geride kalabilmektedir (Knight & Sureka, 2024;Mattmann, 2020).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.1. Tehdit Değerlendirme Sorumluluğu

Subayın görev zincirindeki ilk kritik aşama, KBRN tehditlerinin doğru ve hizl1değerlendirilmesidir (Aven, 2016; Montibeller vd., 2020). Tehdit değerlendirmesi yalnızca olasıbir saldırıyı öngörmekle kalmaz; sahadaki personel ve sivil güvenliğini korumaya yönelik operasyonel planların da temelini oluşturur. KBRN tehditlerinin görünmez ve sinsi doğası gereği subayın veri odaklı ve hızlı analiz yapabilmesi gerekir; modern biyosensörler gerçek zamanl1saha verisi sağlayarak bu analizin doğruluğunu artirir (Han vd., 2025; Naresh & Lee, 2021).

2.2. Alan Güvenliği ve Sınıflandırma

Biyosensör verileri, alanın güvenlik seviyesinin belirlenmesinde belirleyicidir (Furtak vd., 2018;Gromek & Szklarski, 2023). Subay, riskli bölgeleri saptayarak güvenlik çemberleri oluşturur ve alanın hangi personel tarafindan kullanilabileceğini belirler; bu süreç hem askerlerin hem sivil personelin güvenliğini doğrudan etkiler (Cieślik vd., 2018; Michalski vd., 2018). Eşik değerlerine göre alanlar yüksek, orta ve düşük riskli olarak sınıflandırılır ve giriş-çıkış izinleri bu sınıflandırmaya bağlanır (Bzik & Ketkar, 2024; Struniawski, 2018).

2.3. Tespit ve Doğrulama Süreci

KBRN operasyonlarında sensörlerin tek başına kullanımı yeterli değildir; verilerin bir doğrulama zinciri içinde analiz edilmesi gerekir (Graniak vd., 2018;Stark, 2019). Saha bulguları laboratuvar veya merkez doğrulamasi ile desteklenmeli, çok aşamalı doğrulama ile yanlış alarm riski azaltılmalıdır (Bijak vd., 2018; Dabrowski vd., 2018). Belirleme sınırı ve duyarlılık-özgüllük gibi başarım ölçütleri, doğrulama eşiklerinin bilimsel temelini oluşturur (Fawcett, 2006; Martens & Bienstman, 2019).

2.4. Birimler Arasi Koordinasyon

Görev alanının bir diğer kritik boyutu birimler arasi koordinasyondur (Benolli vd., 2020; Grasza vd., 2018). Sahadaki birimlerle merkez komuta arasında etkin bilgi akışı sağlanmadığında operasyonel verimlilik düşer ve riskler artar. Modern yaklaşımlarda biyosensör verisi doğrudan komuta zincirine entegre edilir ve eğitimli subaylar bu veriyi yorumlayarak görev çakışmalarınıönler (Coleman vd., 2019; Karim, 2021).

2.5. Küresel Uygulamalara Örnekler

NATO ve Avrupa yaklaşımları standardizasyon ve kentsel hazırlığı önceler (Bellucci, 2020;Gromek & Szklarski, 2023); ABD doktrinleri saha karar hızını ve taşınabilir tespiti öne çıkarir (Glaros, 2021; Lawrence vd., 2020); Avrupa çerçeveleri ise protokol uyumu ile biyogüvenliğe ağırlık verir (Dökmeci & Akduman, 2022; Novossiolova vd., 2021).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. Biyosensör Teknolojilerinin Taktik Kullanım Alanları

Biyosensörler, KBRN operasyonlarında sahadaki hizli karar almayi destekleyen kritik teknolojilerdir (Cevenini vd., 2016; Han vd., 2025). Subaylar sensör verisini doğrudan sahada analiz ederek riskli alanları belirler, maruziyeti doğrular ve operasyonel planlarını eniyiler. Bu bölümde biyosensörlerin taktik kullanım alanları ele alınmaktadır.

3.1. ilk Saha Taramasi

Sahaya girildiği ilk anda potansiyel tehditlerin hizli belirlenmesi operasyonun kritik aşamalarından biridir (Ghosh, 2023; He vd., 2020). Taşınabilir platformlar aerosol tabanlıpatojenlerin ve toksik gazlarin erken tespitinde etkilidir; radyasyon dedektörleri ise doz seviyelerini gerçek zamanlı raporlayarak riskli alanları işaretler (Furtak vd., 2018; Żbikowska,2018).

3.2. Alan Sınıflandırma ve Güvenlik Çemberi

Sensörden elde edilen eşik değerleri alanın risk düzeyine göre sınıflandırılmasını sağlar (Bzik &Ketkar, 2024; Gromek & Szklarski, 2023). Yüksek riskli alanlara giriş kısıtlanır, orta riskli alanlara koruyucu ekipmanla girilir, düşük riskli alanlarda normal faaliyet sürdürülür; bu siniflandırma operasyonel verimliliği artırır ve yanlış alarm riskini azaltir (Cieślik vd., 2018;Michalski vd., 2018).

3.3. Maruziyet Teyidi

Bakım noktası biyosensörleri, personelin KBRN ajanlarına maruz kalıp kalmadığını sahada teyit ederek gerekli tıbbi müdahalenin başlatılmasını sağlar (Ahmadi vd., 2021; Hwang vd., 2021).Hızli test platformları biyolojik ajan maruziyetini saha koşullarında saptayabilmekte, böylece triyaj ve dekontaminasyon kararları hızlanmaktadır (Ahamed Fazil vd., 2024; Śliwiński, 2018).

3.4. Risk Derecelendirme

Biyosensörler risk derecelendirmesi için niceliksel veri sağlar ve bu veri dinamik risk yönetiminin girdisini oluşturur (Aven & Zio, 2013; Helton & Burmaster, 1996). Sürekli güncellenen saha verisiyle risk seviyeleri izlenir ve karar destek süreçleri komuta zincirine entegre edilir (Aven, 2016; Montibeller vd., 2020).

3.5. Yeniden Giriş (Re-entry) Kararlari

Alan stabilizasyonunun tekrar ölçümle doğrulanması, hangi bölgelerin yeniden kullanilabilir olduğunu belirlemede esastir (Cieślik vd., 2018; Stark, 2019). Subay, sensör verisini değerlendirerek izolasyonun sürdürüleceği alanlari ve alınacak ek önlemleri saptar.

3.6. Taktik Konumlandırmanın Önemi

Sensörlerin stratejik noktalara yerleştirilmesi veri akışını eniyiler, tehditlerin erken tespitini sağlar ve alan sınıflandırmasını güçlendirir (Panneerselvam vd., 2022; Srinivasan & Tung, 2015).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Bu nedenle biyosensör yalnızca teknik bir araç değil, subayın taktik kararlarını destekleyen operasyonel bir bileşendir.

4. Küresel Doktrin ve Uygulama Karşilaştirmasi

Biyosensörlerin etkin kullanımı subayın karar zincirini doğrudan etkilese de, her ülkenin doktrini ve uygulama yaklaşımı farklılık gösterir. NATO/Avrupa ile ABD yaklaşımları; standardizasyon,karar yetkisi ve eğitim modülleri açısından belirgin biçimde ayrışmaktadır (Coleman vd., 2019;Gromek & Szklarski, 2023). Bu farkliliklarin temel eksenleri Çizelge 1'de nitel olarak özetlenmiştir.

Çizelge 1. Küresel KBRN Doktrinlerinde Biyosensör Kullanımına İlişkin Literatür Temelli Nitel Karşilaştirma

Boyut	NATO/Avrupa eğilimi	ABD eğilimi	Saha uygulamasi	Temel kaynak
Veri paylaşımı	Çok uluslu standardizasyon	Merkez komuta entegrasyonu	Orta-yüksek	Gromek & Szklarski, 2023; Bellucci, 2020
Karar yetkisi	Birimler aras1 koordinasyon	Saha subayina hizli karar	Değişken	Coleman vd., 2019; Lawrence vd., 2020
Eğitim/tatbikat	Çok uluslu tatbikat	Gerçekçi saha simülasyonu	Orta	Novossiolova vd., 2021;Glaros, 2021
Doğrulama zinciri	Ortak protokol	Merkez doğrulama katmani	Orta	Stark, 2019; Bijak vd., 2018

Çizelge 1 incelendiğinde NATO/Avrupa ekseninin çok uluslu standardizasyon ve ortak protokole, ABD ekseninin ise merkez komuta entegrasyonu ile saha subayının hızlı karar yetkisine ağırlık verdiği görülmektedir. Eğitim boyutunda NATO/Avrupa çok uluslu tatbikatı,ABD ise gerçekçi saha simülasyonunu önceler. Bu tablo, sonraki alt bölümlerde ele alınan doktrinel farklılıkların çerçevesini oluşturur.

4.1. NNATO KBRN Yaklaşımı

NATO, çok uluslu operasyonlarda standart prosedürler geliştirerek sahadaki sensör verisinin tüm birimler ve komuta zinciriyle anlik paylaşımını hedefler (Bellucci, 2020; Gromek & Szklarski,2023). Kentsel hazırlık ve durumsal farkındalık bu yaklaşımın merkezindedir (Grasza vd., 2018;Struniawski, 2018).

4.2. ABD CBRN Response Doktrinleri

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ABD doktrinleri biyosensörlerin saha karar mekanizmalarına entegrasyonunu açıkça tanımlar;saha karar hizi ve taşınabilir tespit önceliklidir (Glaros, 2021; Lawrence vd., 2020). Sensör verisinin yorumlanması subayın sorumluluğundadır ve doğrulama merkez komuta ile koordinelidir (Coleman vd., 2019; Stark, 2019).

4.3. Avrupa Güvenlik Yaklaşımları

Avrupa çerçeveleri farkli ülkelerden gelen sensör verisinin ortakdoğrulama prosedürleriyle analizini ve protokol uyumunu önceler (Dökmeci & Akduman, 2022; Novossiolova vd., 2021).Biyogüvenlik ve önleme ağı yaklaşımı bu modelin ayırt edici yönüdür (Karim, 2021; Ravizza vd., 2019).

4.4. Eğitim ve Tatbikatlarda Sensör Kullanımı

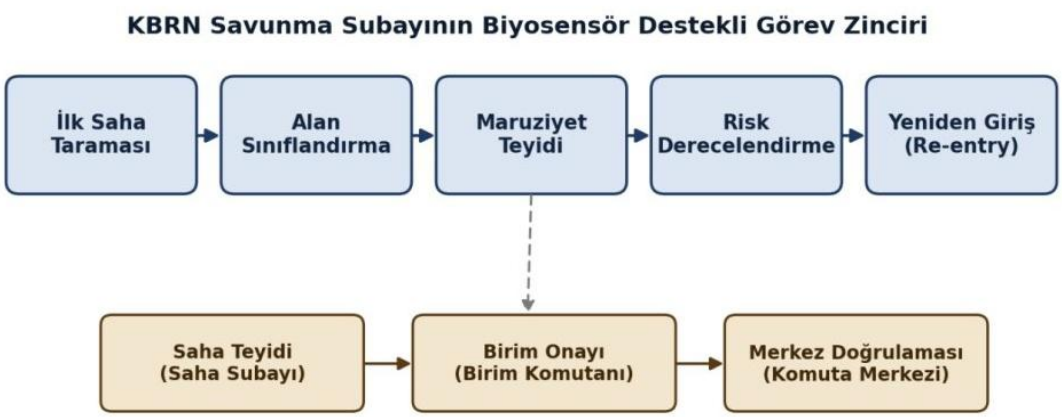
Tüm doktrinlerde ortak olan unsur, biyosensör teknolojisinin eğitim ve tatbikat süreçlerine entegrasyonudur (Glaros, 2021; Grasza vd., 2018). Tatbikatlar sensörlerin saha doğruluk ve hız başarımını sınar ve subayın veri yorumlama yetkinliğini geliştirir.

4.5. Küresel Doktrinler Arasındaki Farklılıklar

Farkliliklar temel olarak standardizasyon, merkez entegrasyonu ve tatbikat odaği ekseninde yoğunlaşır (Benolli vd., 2020; Mattmann, 2020). Bu eksenler doktrinsel esnekliği ve teknolojik adaptasyon hızını doğrudan belirler.

5. Operasyonel Sorumluluk Alanları ve Rol Sınırları

Biyosensörden elde edilen verinin doğru yorumlanması yalnızca teknik bir mesele değil, aynızamanda subayın yetki ve sorumluluk sinırlarıyla doğrudan ilişkili bir konudur (Coleman vd.,2019; Karim, 2021). Sahadan merkeze uzanan sorumluluk ve doğrulama akışı Şekil 1'deşematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. KBRN savunma subayının biyosensör destekli görev zinciri ve saha-birim-merkez doğrulama

zinciri.

Şekil 1'de görüldüğü üzere görev zinciri; ilk saha taramasından yeniden giriş kararına kadar beşardişık aşamadan oluşur ve her aşama, saha subayı-birim komutanı-merkez komuta hattindaki doğrulama zinciriyle birlikte işler (Graniak vd., 2018; Stark, 2019). Bu ikili yapı, hız ile güvenilirliği dengeleyerek yanlış alarm riskini azaltir.

5.1. Sensör Verisinin Yorumlanması Kimin Sorumluluğunda?

Saha subayı ilk değerlendirmeyi yaparak alanın risk derecesini belirler; birim komutani bu değerlendirmeyi doğrular ve merkez komuta kritik durumlarda ikinci doğrulamayı üstlenir (C>lemaBVJ*,2019; Karim, 2021). Bu zincir, yanlış alarm veya veri hatasi durumunda sorumluluğun net dağıtilmasını sağlar.

5.2. Doğrulama Zinciri Nasıl İşliyor?

Doğrulama; saha teyidi, birim onayı ve merkez doğrulaması olmak üzere üç kademede işler (Graniak vd., 2018; Stark, 2019). Kritik veya yüksek riskli durumlarda veri merkez komuta tarafindan yeniden doğrulanır; böylece sahada hız korunurken hata payı en aza indirilir (Cieślik vd., 2018; Martens & Bienstman, 2019).

5.3. Yanlış Alarm Durumunda Karar Mekanizmasi

Yanlış alarm KBRN operasyonlarında sık karşılaşılan bir risktir; ikinci ölçüm, eşik gözden geçirme ve komuta koordinasyonu temel mekanizmalardır (Fawcett, 2006; Martens &Bienstman, 2019). Yüksek riskli alarmlar merkez komuta ile koordineli değerlendirilir ve bu durumlar tatbikatlarda simüle edilerek subayın hızlı karar yetkinliği geliştirilir (Bzik & Ketkar,2024; Glaros, 2021).

5.4. Sensör Kullanımında Yetki Sınırları

Veri toplama ve ilk saha analizi subayın yetkisindeyken, yeniden giriş izinleri gibi kritik kararlar merkezle koordinelidir (Grasza vd., 2018; Struniawski, 2018). Bu sinirlar yetki aşımını engeller ve karar zincirinde netlik sağlar.

6. Doktrinsel ve Operasyonel Boşluklar

Biyosensör kullanımının kritik önemine rağmen mevcut doktrin ve uygulamalarda çeşitli boşluklar gözlenmektedir; bunlar özellikle rol tanımı, eğitim, teknolojik adaptasyon ve

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

standardizasyon eksenlerinde yoğunlaşır (Knight & Sureka, 2024; Mattmann, 2020). **6.1. Sensör Kullanımının Açıkça Tanımlanmamış Olması**

Birçok doktrinde sensörün sahadaki rolü genel hatlariyla belirtilse de spesifik kullanım ve sorumluluk tanımları yeterince net değildir; bu durum yetki belirsizliği ve karar zinciri karmaşas1doğurur (Knight & Sureka, 2024; Mattmann, 2020).

6.2. Eğitim-Teknoloji Uyumsuzluğu

Eğitim programları çoğu zaman teknolojinin hızına yetişememekte; yetersiz simülasyon ve veri yorumlama açığı sahadaki başarımı düşürmektedir (Glaros, 2021; Novossiolova vd., 2021). Yeni nesil platformların teknik özellikleri müfredata zamanında yansımamaktadır.

6.3. Rol Çakışmaları

Aynı alanda birden fazla birimin görev alması, özellikle çok uluslu operasyonlarda yetki karmaşası ve komuta zincirinde belirsizlik yaratabilir (Benolli vd., 2020; Grasza vd., 2018).

6.4. Standardizasyon Eksikliği

Farklı sensörlerin ürettiği veri formatları ve raporlama protokolleri merkezi sistemlerde uyumlu biçimde işlenememekte; bu eksiklik çok uluslu operasyonlarda veri entegrasyonunu zorlaştırmaktadır (Gromek & Szklarski, 2023; Ravizza vd., 2019).

7. Analitik Sentez

Bu bölüm, önceki bulguları bir araya getirerek çalışmanın dört temel sorusuna analitik yanıt verir.

7.1. Biyosensörler Görev Zincirinde Hangi Aşamada Kritik?

Biyosensörler özellikle ilk saha taraması, alan sınıflandırması ve yeniden giriş aşamalarında merkezî rol oynar; bu aşamalarda gerçek zamanlı veri hem personel güvenliği hem operasyonel başarı için belirleyicidir (Cieślik vd., 2018; Han vd., 2025).

7.2. Doktrinler Teknoloji Hızına Yetişebiliyor mu?

Yeni nesil sensörler saniyeler içinde veri üretirken doktrinlerdeki karar zincirleri daha yavaşkalabilmekte; doktrin revizyon hizi sensör inovasyonunun gerisindeseyretmektedir (Glaros,2021; Knight & Sureka, 2024).

7.3. Küresel Yaklaşımlar Arasındaki Farklar

NATO/Avrupa standardizasyon ve çok uluslu koordinasyona, ABD ise saha karar hizi ile merkez entegrasyonuna odaklanır; bu farklar rol ve yetki sınırlarının uygulanabilirliğini etkiler (Gromek & Szklarski, 2023; Lawrence vd., 2020).

7.4. Rol Tanımı ile Saha Pratiği Arasındaki Boşluk

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Yetki sınırları, yanlış alarm prosedürleri ve veri yorumlama sorumluluğu sahada belirsiz kalabilmekte; bu boşluklar subayın karar süresini ve operasyonel güvenliği doğrudan etkilemektedir (Fawcett, 2006; Karim, 2021).

8. Sonuçlar

8.1. Küresel Eğilimler

· Biyosensörler **KBRN** savunma subayının görev zincirinde stratejik öneme sahip bir karar aracidir.

· NATO/Avrupa standardizasyon ve çok uluslu koordinasyona; ABD saha karar entegrasyonuna odaklanır.

8.2. Doktrinsel Eksikler

· Sensör rol tanımı ve yetki sınırları doktrinde yeterince açık değildir.

· Veri standardizasyonundaki eksiklik çok uluslu operasyonları zorlaştırmaktadır.

8.3. Operasyonel Belirsizlik Alanlari

Yanlış alarm yönetimi, veri yorumlama sorumluluğu ve teknoloji-doktrin uyumsuzluğu saha etkinliğini sınırlayan başlıca risk alanlaridır (Karim, 2021; Martens & Bienstman, 2019). Türkiye bağlamında doğal olayların tetiklediği KBRN-p riski, saha izleme ve biyosensör kapasitesini daha da kritik hâle getirmektedir (Dökmeci & Akduman, 2022; Montibeller vd., 2020).

9. Doktrinsel ve Operasyonel Öneriler

9.1. Sensör Kullanımının Rol Tanımına Açık Entegrasyonu

· Görev zincirinde sensör aşamaları doktrinde açıkça tanımlanmalıdır.

· Tarama, siniflandirma ve yeniden giriş prosedürleri standartlaştırılmalıdır.

9.2. Yetki-Sorumluluk Çerçevesinin Netleştirilmesi

· Yanlış alarm ve kritik durumlarda karar mercii açıkça belirlenmelidir.

· Veri yorumlama sorumluluğu saha-merkez arasında net biçimde ayrilmalıdır.

9.3. Eğitim Modüllerinin Sensör Teknolojisine Uyarlanmasi

· Tatbikat bazlı sensör eğitimi zorunlu hâle getirilmelidir.

· Yeni nesil platformlar müfredata zamanında entegre edilmelidir.

9.4.Uluslararasi Standardizasyon Uyumu

· Veri formatlari ve raporlama protokolleri uyumlu hâle getirilmelidir.

· Protokoller çok uluslu tatbikatlarla düzenli olarak sınanmalıdır.

9.5. Tatbikat Bazh Doğrulama Mekanizması

- Sensör başarımı tatbikat sonrası nesnel ölçütlerle değerlendirilmelidir.
- Elde edilen bulgular doktrin revizyonlarına düzenli olarak yansıtılmalıdır.

Kaynakça

Ahamed Fazil, A. H., Reddy, U. S., & Bhargavi Gumpu, M. (2024). Biosensor for biothreat detection and defense application. *Health and Environmental Applications of Biosensing Technologies*.https://doi.org/10.1016/b978-0-443-19039-1.00013-4

Ahmadi, S., Rabiee, N., Bagherzadeh, M., & Karimi, M. (2021). Microfluidic devices for pathogen detection. *Biomedical Applications of Microfluidic Devices*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818791-3.00006-1

Altman, D. G., & Bland, J. M. (1994). Statistics Notes: Diagnostic tests 1: sensitivity and specificity.BMJ,308,1552.https://doi.org/10.1136/bmj.308.6943.1552

Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation.*European Journal of Operational Research*, 253, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023

Aven, T., & Zio, E. (2013). Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management. *Risk Analysis*,34, 1164-1172. https://doi.org/10.1111/risa.12132

Bellucci, S. (2020). Detection of CBRN Agents Through Nanocomposite Based Photonic Crystal Sensors.*NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*.https://doi.org/10.1007/978-94-024-2030-2_2

Benolli, F., Guidotti, M., & Bisogni, F. (2020). The CBRN Threat. Perspective of an Interagency Response.*Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*.https://doi.org/10.1007/978-3-030-42523-4_29

Bijak, M., Synowiec, E., Grębowski, J., Kołodziejczyk-Czepas, J., & Ponczek, M. (2018). Methods of detecting biological materials. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.10

Bzik, T. J., & Ketkar, S. N. (2024). The Joint Consequence of Detection Limit Censoring and Detection Limit Determination Uncertainty. *Journal of Testing and Evaluation*, 52,2699-2707.https://doi.org/10.1520/jte20230754

Cevenini, L., Calabretta, M. M., Tarantino, G., Michelini, E., & Roda, A. (2016). Smartphone-interfaced 3D printed toxicity biosensor integrating bioluminescent "sentinel cells". *Sensors and Actuators B: Chemical*, 225, 249-257. https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.11.017

Cieślik, P., Bielawska-Drózd, A., Głowacka, P., Zakowska, D., Mizak, L., Graniak, G., & Gryko, R.(2018). Methods of biological samples field analysis. *CBRN Security Manager Handbook*.https://doi.org/10.18778/8142-184-3.15

Coleman, C. N., Bader, J. L., Koerner, J.F., Hrdina, C., Cliffer, K. D., Hick, J. L., James, J. J., Mansoura,M.K.,Livinski, A. A., Nystrom, S. V., DiCarlo-Cohen, A., Marinissen, M. J., Wathen, L., Appler,J. M., Buddemeier, B., Casagrande, R., Estes, D., Byrne, P., Kennedy, E. M., ... Hatchett, R.(2019). Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosive (CBRNE) Science and the CBRNE Science Medical Operations Science Support Expert (CMOSSE). *Disaster Medicine and Public HealthPreparedness*, 13,995-1010.https://doi.org/10.1017/dmp.2018.163

Dabrowski, Z., Błędowski, M., Zubańska, M., Zubański, S., & Nawotka, R. (2018). Selected issues in forensic techniques. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.04

Das, S., Das, P. P., & Thomas, S. (2023). Introduction: State of the art, new challenges, and opportunities of sensory devices for toxic chemmical warfare agents, nerve agent simulants, etc.. *Sensing of Deadly Toxic Chemical Warfare Agents, Nerve Agent Simulants, and their Toxicological Aspects*.https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90553-4.00030-5

Dökmeci, A. H., & Akduman, Ö. (2022). Doğal Olayların Tetiklediği KBRN-p Tehlikesi ve Riski:Türkiye Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8, 165-177.https://doi.org/10.21324/dacd.979583

Elbouzidi, A., & Addi, M. (2023). Chemical warfare: unprecedented environmental threat. *Sensing of Deadly Toxic Chemical Warfare Agents, Nerve Agent Simulants, and their Toxicological Aspects*.https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90553-4.00021-4

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010

Furtak, P., Ceremuga, M., & Siczek, J. (2018). Radiation detection and protection procedures. CBRN *Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.20

Gao, A., Wang, Y., & Li, T. (2018). Silicon Nanowire MicrofluidicBiosensor for Multiplexed Biomolecule Detection. *Sensors and Materials*, 30, 2693. https://doi.org/10.18494/sam.2018.2007

Ghosh, G. (2023). Graphene oxide-nanocomposite-based electrochemical sensors for the detection of organophosphate pesticides. *Sensing of Deadlly Toxic Chemical Warfare Agents, Nerve Agent Simulants, and their Toxicological Aspects.* https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90553-4.00009-3

Glaros, T. (2021). Achieving Strain Level Biological Detection Using Portable Instrumentation [Slides].*Technical Report, U.S. Department of Energy*. https://doi.org/10.2172/1811851

Golime, R., & Singh, N. (2023). Molecular interactions of chemical warfare agents with biological systems. *Sensing of Deadly Toxic Chemical Warfare Agents, Nerve Agent Simulants, and their Toxicological Aspects.* https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90553-4.00028-7

Graniak, G., Wlizło-Skowronek, B., Rutyna, P., Niemcewicz, M., Bielawska-Drózd, A., Nakonieczna, A.,Zakowska, D., Mirski, T., & Głowacka, P. (2018). Organisation of the biological sampling process. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.11

Grasza, M., Klimas, D., & Skrzypczak, H. (2018). Anti-terrorist actions involving CBRN materials. CBRN *Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.25

Gromek, P., & Szklarski, L. (2023). Modern technologies in enhancing situational awareness and preparedness for CBRN events in urban areas. Perspective of European Commission call in 2022.*Journal of Modern Science,* 53, 362-390. https://doi.org/10.13166/jms/176678

Han, D. H., Kim,Y.,Park, Y. J., Song, D. Y., Park, J., Oh, J., Kim, D. M., & Park, J. K. (2025).Pushbutton-activated microfluidic cell-free biosensor for multiplexed pathogen detection. *Lab on a Chip,* 25, 5950-5960. https://doi.org/10.1039/d5lc00337g

He, X., Zhou, X., Liu, Y., & Wang, X. (2020). Ultrasensitive, recyclable and portable microfluidic surface-enhanced raman scattering (SERS) biosensor for uranyl ions detection. *Sensors and Actuators B: Chemical,* 311, 127676. https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127676

Helton, J. C., & Burmaster, D. E. (1996). Guest editorial: treatment of aleatory and epistemic uncertainty in performance assessments for complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*,54,91-94.https://doi.org/10.1016/s0951-8320(96)00066-x

Hwang, I. M., Cantu, C. M., Chawla, R., & Kamei, D. T.(2021). Biosensor-Based Point-of-Care Devices:Detection of Infectious Diseases and Cancer. *BioSensing, Theranostics, and Medical Devices*.https://doi.org/10.1007/978-981-16-2782-8_5

Karim, M. E. (2021). Biosensors: Ethical, Regulatory, and Legal Issues. *Handbook of Cell Biosensors*.https://doi.org/10.1007/978-3-030-23217-7_23

Kaya, S. I., Corman, M. E., Cetinkaya, A., Karasu, T., Uzun, L., & Ozkan, S. A. (2023). Nanotubes tethered laccase biosensor for sensing of chlorophenol substances. *Sensing of Deadly Toxic Chemical Warfare Agents, Nerve Agent Simulants, and their Toxicological Aspects*.https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90553-4.00008-1

Knight, T., & Sureka, S. (2024). A New Paradigm for Threat Agnostic Biodetection: Biological Intelligence (BIOINT). *Health Security,* 22, 31-38. https://doi.org/10.1089/hs.2023.0072

Koblentz, G. D. (2020). Emerging Technologies and the Future of CBRN Terrorism. *The Washington Quarterly,* 43, 177-196. https://doi.org/10.1080/0163660x.2020.1770969

Lawrence, K., Kuhne, W., & Swindle, A. (2020). Development of FRET clusters for CBRN Detection.*Technical Report, U.S. Department of Energy*. https://doi.org/10.2172/1651109

Martens, D., & Bienstman, P. (2019). Study on the limit of detection in MZI-based biosensor systems.*Scientific Reports,* 9. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42305-8

Mattmann, O. (2020). Detection and Identification Technologies for CBRN Agents. *21st Century Prometheus.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-28285-1_11

Michalski, A., Kwiatek, M., Melgies, A., Joniec-Wiechetek, J., & Lasocki, K. (2018). Personal protective measures. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.12

Montibeller, G., Franco, L. A., & Carreras, A. (2020). A Risk Analysis Framework for Prioritizing and Managing Biosecurity Threats. *Risk Analysis,* 40, 2462-2477. https://doi.org/10.1111/risa.13542

Naresh, V., & Lee, N. (2021). A Review on Biosensors and Recent Development of Nanostructured Materials-Enabled Biosensors. *Sensors,* 21, 1109.https://doi.org/10.3390/s21041109

Novossiolova, T. A., Whitby, S., Dando, M., & Pearson, G. S. (2021). The vital importance of a web of prevention for effective biosafety and biosecurity in the twenty-first century. *One Health Outlook*,3. https://doi.org/10.1186/s42522-021-00049-4

Ogurtsov, V.I., & Twomey, K. (2018). A Portable Chemical Detection System with Anti-body Biosensor for Impedance Based Monitoring of T2-mycotoxin Bioterrorism Agents. *Communications in Computer and Information Science.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-94806-5_3

Panneerselvam, R., Sadat, H., Höhn, E. M., Das, A., Noothalapati, H., & Belder, D. (2022). Microfluidics and surface-enhanced Raman spectroscopy, a win-win combination?. *Lab on a Chip,* 22,665-682.https://doi.org/10.1039/d1lc01097b

Ravizza, A., De Maria, C., Di Pietro, L., Sternini, F., Audenino, A. L., & Bignardi, C. (2019).Comprehensive Review on Current and Future Regulatory Requirements on Wearable Sensors in Preclinical and Clinical Testing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,* 7.https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00313

Šliwiński, T. (2018). Genetics. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.07

Srinivasan, B., & Tung, S. (2015). Development and Applications of Portable Biosensors. SLAS *Technology,* 20,365-389. https://doi.org/10.1177/2211068215581349

Stark, P. (2019). Portable Sample Preparation For Chemical and Biological Analysis. *Technical Report,*U.S. *Department of Energy.* https://doi.org/10.2172/1566102

Struniawski, J. (2018). Selected legal issues in CBRN-E. *CBRN Security Manager Handbook*.https://doi.org/10.18778/8142-184-3.02

Turner, A. P. F. (2013). Biosensors: sense and sensibility. *Chemical Society Reviews,* 42, 3184.https://doi.org/10.1039/c3cs35528d

White, S. (2024). Colorimetric/electrical sensing of chemical warfare agent surrogates with polydiacetylenes. *American Chemical Society (ACS).* https://doi.org/10.1021/scimeetings.5c10844

Żbikowska, H. (2018). Radiobiology. *CBRN Security Manager Handbook.* https://doi.org/10.18778/8142-184-3.09

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

6 ŞUBAT KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE BİNA HASAR DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: ZEMİN VE YAPI PARAMETRELERİNİN BÜTÜNLEŞİK ANALİZİ

İnşaat Mühendisi, Ozan DEMİR

Adıyaman Üniversitesi, 241240107@adiyaman.edu.tr

ORCID ID: 0009-0004-4872-1234

ÖZET

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Adıyaman ilinde de olmak üzere geniş bir coğrafyada ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuş, yapı-zemin etkileşiminin deprem hasarları üzerindeki etkisini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu çalışma, deprem sonrası yapı hasar seviyelerinin yapısal ve geoteknik parametreler kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin edilebilirliğini amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında Adıyaman ilinde depremden etkilenen Sümerevler, Karapınar, Yeni ve Yeni Sanayi mahallelerinde bulunan yapılara ait zemin etüt raporları ile deprem sonrası hasar durumları derlenerek kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde yapı yaşı, kat sayısı, taşıyıcı sistem özellikleri ve beton dayanımı gibi yapısal parametrelerin yanı sıra Atterberg limitleri, kohezyon, içsel sürtünme açısı, doğal su muhtevası ve diğer geoteknik parametreler kullanılmıştır. Veri ön işleme aşamasında eksik verilerin tamamlanması, veri temizleme ve özellik mühendisliği işlemleri gerçekleştirilmiş, ardından Python ortamında geliştirilen Extra Trees, Hist Gradient Boosting, Logistic Regression ve XGBoost modelleri kullanılmıştır. Modellerin performansları Doğruluk (Accuracy), Dengeli Doğruluk (Balanced Accuracy), Makro F1-Skoru (Macro F1-Score) ve Ağırlıklı F1-Skoru (Weighted F1-Score) metrikleri kullanılarak değerlendirilmiş, ayrıca sınıflandırma performanslarının ayrıntılı olarak incelenebilmesi amacıyla Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix) analizlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen performans sonuçları karşılaştırılarak hasar tahmininde en başarılı makine öğrenmesi modeli ve metriği belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları, yapısal ve geoteknik parametrelerin birlikte değerlendirilmesinin hasar seviyelerinin tahmininde etkili olduğunu göstermektedir. Makine öğrenmesi modellerinin afet yönetimi, kentsel dönüşüm uygulamaları ve deprem risk analizlerinde karar destek aracı olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışma, deprem sonrası saha verileri kullanılarak farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bakımından literatüre özgün katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem hasarı tahmini; Makine öğrenmesi; Yapı-zemin etkileşimi; Kahramanmaraş depremleri; Geoteknik parametreler.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PREDICTION OF BUILDING DAMAGE STATES FOLLOWING THE 6 FEBRUARY 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES USING MACHINE LEARNING: AN INTEGRATED ANALYSIS OF SOIL AND STRUCTURAL PARAMETERS

Civil Engineer, Ozan DEMİR

Adıyaman University, 241240107@adiyaman.edu.tr

ORCID ID: 0009-0004-4872-1234

ABSTRACT

The Kahramanmaraş-centered earthquakes that occurred on 6 February 2023 caused extensive loss of life and property across a wide geographical area, including Adıyaman Province, once again highlighting the critical role of soil–structure interaction in earthquake-induced building damage. This study aims to investigate the predictability of post-earthquake building damage levels using machine learning algorithms based on both structural and geotechnical parameters.

Within the scope of the study, a comprehensive dataset was compiled by integrating geotechnical site investigation reports and post-earthquake damage assessment records for buildings located in the Sümerevler, Karapınar, Yeni, and Yeni Sanayi neighborhoods of Adıyaman Province, which were severely affected by the earthquake. The dataset includes structural parameters such as building age, number of stories, structural system characteristics, and concrete compressive strength, as well as geotechnical parameters including Atterberg limits, cohesion, internal friction angle, natural water content, and other relevant soil properties. During the data preprocessing stage, missing data imputation, data cleaning, and feature engineering procedures were performed. Subsequently, Extra Trees, HistGradientBoosting, Logistic Regression, and XGBoost models were implemented in the Python environment. Model performance was evaluated using Accuracy, Balanced Accuracy, Macro F1-Score, and Weighted F1-Score metrics. In addition, confusion matrix analyses were employed to provide a detailed assessment of the classification performance of each model. By comparing the obtained performance metrics, the most effective machine learning model and evaluation metric for predicting building damage levels were identified.

The findings demonstrate that the integrated use of structural and geotechnical parameters significantly enhances the prediction of earthquake-induced building damage levels. The results further indicate that machine learning models can serve as effective decision-support tools in disaster management, urban regeneration practices, and seismic risk assessment. By comparatively evaluating multiple machine learning algorithms using post-earthquake field data, this study provides a novel contribution to the existing literature on earthquake damage prediction.

Keywords: Earthquake damage prediction; Machine learning; Soil–structure interaction; Kahramanmaraş earthquakes; Geotechnical parameters.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2018 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ PERFORMANS HEDEFLERİNİN MOMENT AKTARAN VE MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AYKUT SAYILIR
a.sayilir@icloud.com - 0000-0002-1745-2981

Doç.Dr. KAAN TÜRKER
Balıkesir Üniversitesi, kturker@balikesir.edu.tr - 0000-0002-3106-4627

ÖZET

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018-TBDY), önceki yönetmeliğe göre tasarım esaslarında önemli değişiklikler yapılmış ve binalardan beklenen deprem performansı hedefleri, performans dayalı yaklaşım çerçevesinde yeniden düzenlenmiştir. Buna karşılık tasarımları halen doğrusal analize dayanan geleneksel dayanım esaslı yaklaşımlar ile tasarlanan binalar için öngörülen performans hedeflerinin ne ölçüde gerçekleştiği konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistem ve merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistemden oluşan üç farklı bina modeli üzerinde performans değerlendirmeleri yapılarak 2018-TBDY'de öngörülen performans hedeflerinin başarısı incelenmiştir. Değerlendirmeler tasarım deprem düzeyi (DD2) ve maksimum deprem düzeyi (DD1) olmak üzere iki farklı deprem düzeyi için doğrusal olmayan tek modlu statik itme analizi ile gerçekleştirilmiştir. Tasarım deprem düzeyi için TBDY'de hedeflenen *Kontrollü Hasar* (KH) performans düzeyi tüm bina modelleri için sağlanmıştır. Bina performans düzeyinin belirlenmesinde genel olarak tüm binalarda MÇÇ sistemlerine ait çapraz elemanlardaki plastik şekildeğiştirmeler belirleyici olmuş, MAÇ sistemine ait kolon ve kiriş elemanlarında çok düşük hasar düzeyini temsil eden *Sınırlı Hasar* (SH) performans düzeyi elde edilmiştir. Maksimum deprem düzeyi için ise tüm binalarda KH performans düzeyi aşılmamıştır. Sonuçlar yönetmelik tasarım esaslarının, MAÇ sistemlerde öngörülenin çok üzerinde performans sağladığını, MÇÇ sistemlerde ise yönetmelik hedefleriyle daha uyumlu performans düzeyleri sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Deprem Yönetmeliği, performans hedefi, sismik performans değerlendirme, çelik moment aktaran çerçeve, çelik merkezi çaprazlı çerçeve.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımında uzun yıllar boyunca doğrusal analiz yöntemlerine, davranış katsayılarına ve kapasite tasarımı ilkelerine dayanan dayanım esaslı tasarım yaklaşımı benimsenmiştir. Son otuz yılda ise farklı deprem düzeyleri için önceden tanımlanmış performans hedeflerinin doğrudan değerlendirilmesini esas alan performans esaslı deprem mühendisliği yaklaşımı önemli gelişim göstermiştir [1-3]. Türkiye'de de 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018 [3]) ile performans esaslı değerlendirme yaklaşımı önemli ölçüde genişletilmiş ve mevcut binaların değerlendirilmesinde ve belirli özelliklerdeki çelik binaların tasarımında şekildeğiştirmeye dayalı esaslar yönetmeliğe dahil edilmiştir.

Bununla birlikte, konut ve ofis gibi sıradan çelik binaların tasarımı halen büyük ölçüde doğrusal analiz yöntemleri, davranış katsayısı ve kapasite tasarımı ilkelerine dayanan dayanım esaslı yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım farklı deprem düzeyleri için belirli performans hedeflerini örtük olarak öngörmekle birlikte, tasarım sonucunda elde edilen yapıların doğrusal olmayan davranışlarının ve yönetmelikte hedeflenen performans düzeylerini ne ölçüde sağladıklarının analitik olarak doğrulanmasına yönelik çalışmalar sınırlıdır [4-6].

Çelik yapılarda deprem yüklerinin karşılanması amacıyla moment aktaran çerçeveler (MAÇ) merkezi çaprazlı çerçeveler (MÇÇ), dışmerkez çaprazlı çerçeveler ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler gibi farklı taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler; yatay yük taşıma mekanizmaları, enerji tüketme biçimleri, beklenen plastik mekanizmaları ve süneklik düzeyleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle aynı deprem tehlikesi ve benzer tasarım esasları altında tasarlansalar dahi doğrusal olmayan davranışları, hasarın dağılımı ve ulaştıkları performans düzeyleri farklı olabilmektedir. Yeni çelik binalar üzerinde gerçekleştirilen analitik çalışmalar, farklı taşıyıcı sistemlerin yönetmeliklerde öngörülen performans hedeflerini farklı güvenlik düzeylerinde sağlayabildiğini, moment aktaran çerçevelerin önemli dayanım fazlalıkları nedeniyle çoğu durumda beklenenden daha yüksek performans gösterebildiğini, merkezi çaprazlı çerçevelerde ise performansın doğrusal olmayan çapraz davranışına duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır [4-6]. Analitik çalışmaların ulaştığı bu sonuçlar, son yıllarda meydana gelen büyük depremlerden elde edilen saha gözlemleriyle de desteklenmektedir. Modern deprem yönetmeliklerine göre tasarlanan çelik binaların genel olarak beklenen performansı sağladığı görülmekle birlikte, farklı taşıyıcı sistemlerin enerji tüketme mekanizmaları, hasarın yoğunlaştığı bölgeler, kalıcı şekil değiştirme düzeyi ve deprem sonrası kullanılabilirlik bakımından farklı davranış özellikleri sergilediği rapor edilmektedir. Bu durum, yapı performansının yalnızca göçmenin önlenmesi açısından değil, hasar düzeyi ve hedeflenen performans seviyelerinin sağlanması bakımından da değerlendirilmesinin önemini göstermektedir [7-9].

ABD'de yeni deprem yönetmeliklerinin öngördüğü performans hedeflerini doğrulamak amacıyla farklı çelik taşıyıcı sistemler üzerinde çok sayıda analitik çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, TBDY-2018'in doğrusal tasarım yaklaşımıyla elde edilen yapı performansının benzer şekilde doğrulandığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, TBDY-2018'e göre tasarlanan farklı çelik taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

yönetmeliğin öngördüğü performans hedeflerinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, TBDY-2018'e göre tasarlanan iki, dört ve sekiz katlı çelik bina modellerinde bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve (MAÇ), diğer doğrultuda ise süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistemi kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. DD-2 ve DD-1 deprem düzeyleri altında bina ve eleman performansları değerlendirilmiş; elde edilen sonuçlar yardımıyla TBDY-2018'in öngördüğü performans hedefleri ile doğrusal olmayan yapı davranışı arasındaki uyum incelenmiş ve farklı taşıyıcı sistemlerin performansları karşılaştırılmıştır.

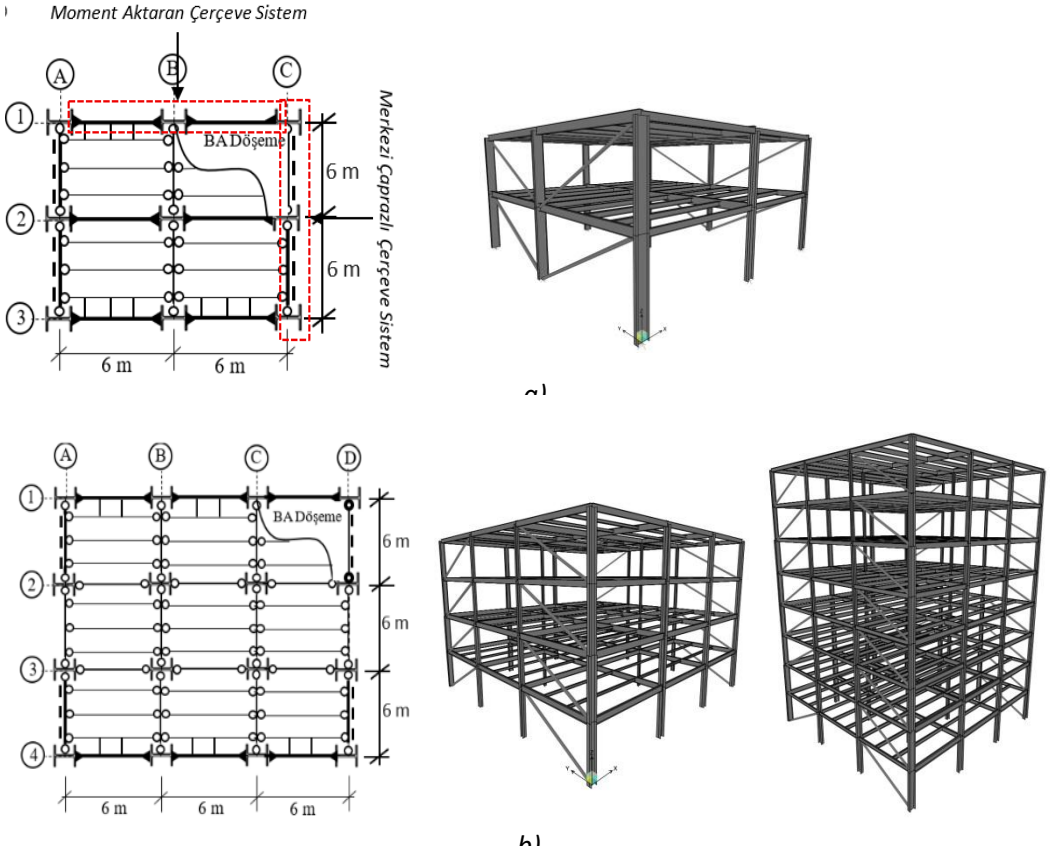
2. BİNA MODELLERİ ÜZERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

2.1. Binaların Özellikleri

Çalışmada, farklı yüksekliklerde konut veya ofis tipi binalarını temsil etmek amacıyla yapısal düzensizliği bulunmayan iki katlı (2KB), dört katlı (4KB) ve sekiz katlı (8KB) üç çelik bina modeli incelenmiştir. Çelik binalarda yaygın kullanılan iki taşıyıcı sistem türünü değerlendirmek üzere, bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistem, diğer dik doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı (diyagonal tip) çerçeve (MÇÇ) sistem kullanılmıştır. Bu taşıyıcı sistemler 4KB ve 8KB binalarında sadece dış akslarda teşkil edilmiş ve orta akslarda mafsallı kolon-kiriş birleşimlerine sahip düşey yük taşıyıcı çerçeveler oluşturulmuştur. 2KB binasında farklı olarak orta aksta da MAÇ sistem kullanılmıştır (Görsel 1). Kat yükseklikleri 2KB binasında 3m, 4KB ve 8KB'de 3.2 m olarak seçilmiştir.

Binaların her bir katında ikincil kirişler kullanılarak betonarme döşeme uygulandığı ve bunun rijit diyafram etkisini tam olarak sağladığı kabul edilmiştir. Döşemelerdeki merdiven, havalandırma vb. boşluklar ihmal edilmiştir. MAÇ sistemde kolon-kiriş birleşimlerinin, tam rijit olduğu kabul edilmiş ve rijit uç bölgeleri dikkate alınmıştır. MÇÇ sistemde ise çapraz ve kiriş birleşimlerinin mafsallı olduğu kabul edilmiştir. Eğilme momentine maruz kirişlerde yanal burkulmayı önlemek amacıyla yeterli sayıda destek elemanları kullanılmıştır. Çapraz elemanlar iki ucu mafsallı kabul edilmiş ve düğüm noktaları arasında kalan burkulma boyu esas alınarak tasarlanmıştır. Yanal öteleme kriteri için dolgu duvarlar ve taşıyıcı elemanlar arasında izolasyon bulunduğu kabul edilmiştir [3]. Taşıyıcı elemanlar için S275 sınıfı çelik kullanılmış, döşemelerde çatı katı için 3.5 kN/m^2, normal katlar için 3.1 kN/m^2 sabit yük, tüm katlarda 2.0 kN/m^2 hareketli yük ve dış kirişlerde 2.0 kN/m duvar yükü esas alınmıştır. Boyutlandırmada, Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Yönetmelik'de verilen Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım yöntemi kullanılmıştır [9]. Bina modellerinde stabilite tasarımı için 2. mertebe etkiler dikkate alınmış ve burkulma boyu yöntemine göre tasarım yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



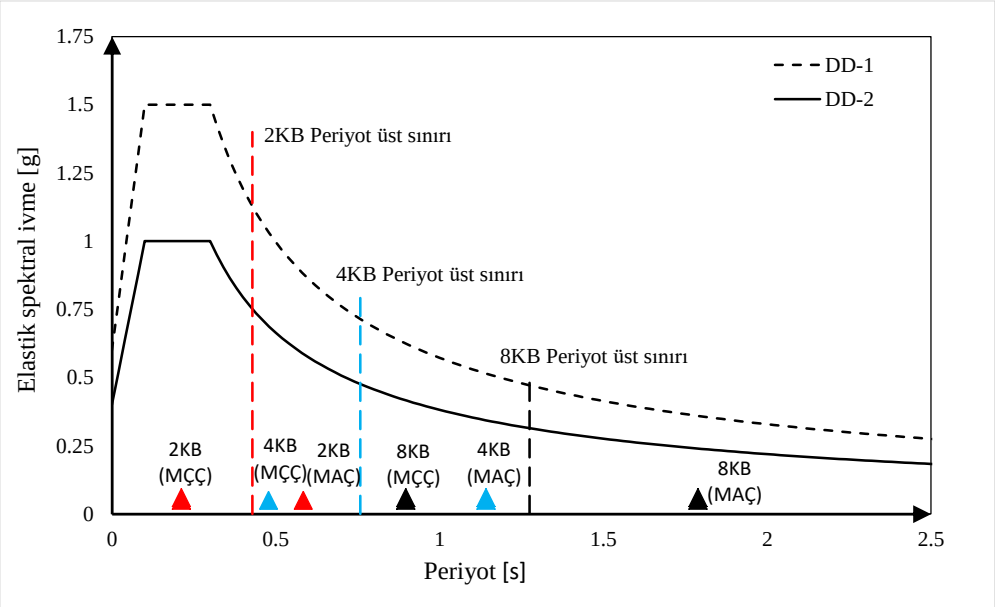
Görsel 1. Bina Tipik Kat Planları ve Hesap Modelleri a) 2KB, b) 4KB ve 8KB

Deprem etkileri için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (EDYY) kullanılmıştır [3]. Tasarımda esas alınan deprem karakteristikleri Çizelge 1'de, tasarım deprem tehlike düzeyini (DD2) temsil eden ivme spektrumu Görsel 2'de gösterilmiştir. Çalışmada ayrıca, binalarda ileri performans hedefinin kontrolü amacıyla tasarım ivme spektrumunun 1.5 katı büyüklüğüne karşılık gelen maksimum deprem tehlike düzeyi (DD1) için ivme spektrumu da tanımlanmıştır (Görsel 2).

Çizelge 1. Tasarımda Esas Alınan Deprem Karakteristikleri

Deprem Karakteristikleri	Bina adı		
	2KB	4KB	8KB
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	8 (H_N=6.0m)	6 (H_N=12.8m)	5 (H_N=25.6m)
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1 (Kısa periyot spektral ivme katsayısı : S_{DS}=1.0)		
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3 (Konut veya ofis)		
Bina Önem Katsayısı (I)	1		
Bina Performans Hedefi	DD-2 yer hareketi düzeyi için *Kontrollü Hasar* (KH) Performans düzeyi		
Yerel Zemin Sınıfı ve Kar. Periyotlar	ZB T_A=0.10 T_B=0.30		
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0.3		
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) / Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	8 / 3 (Süneklik düzeyi yüksek moment akt. çerçeveler)		
	5 / 2 (Süneklik düzeyi yüksek merkezi çap. çerçeveler)		

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



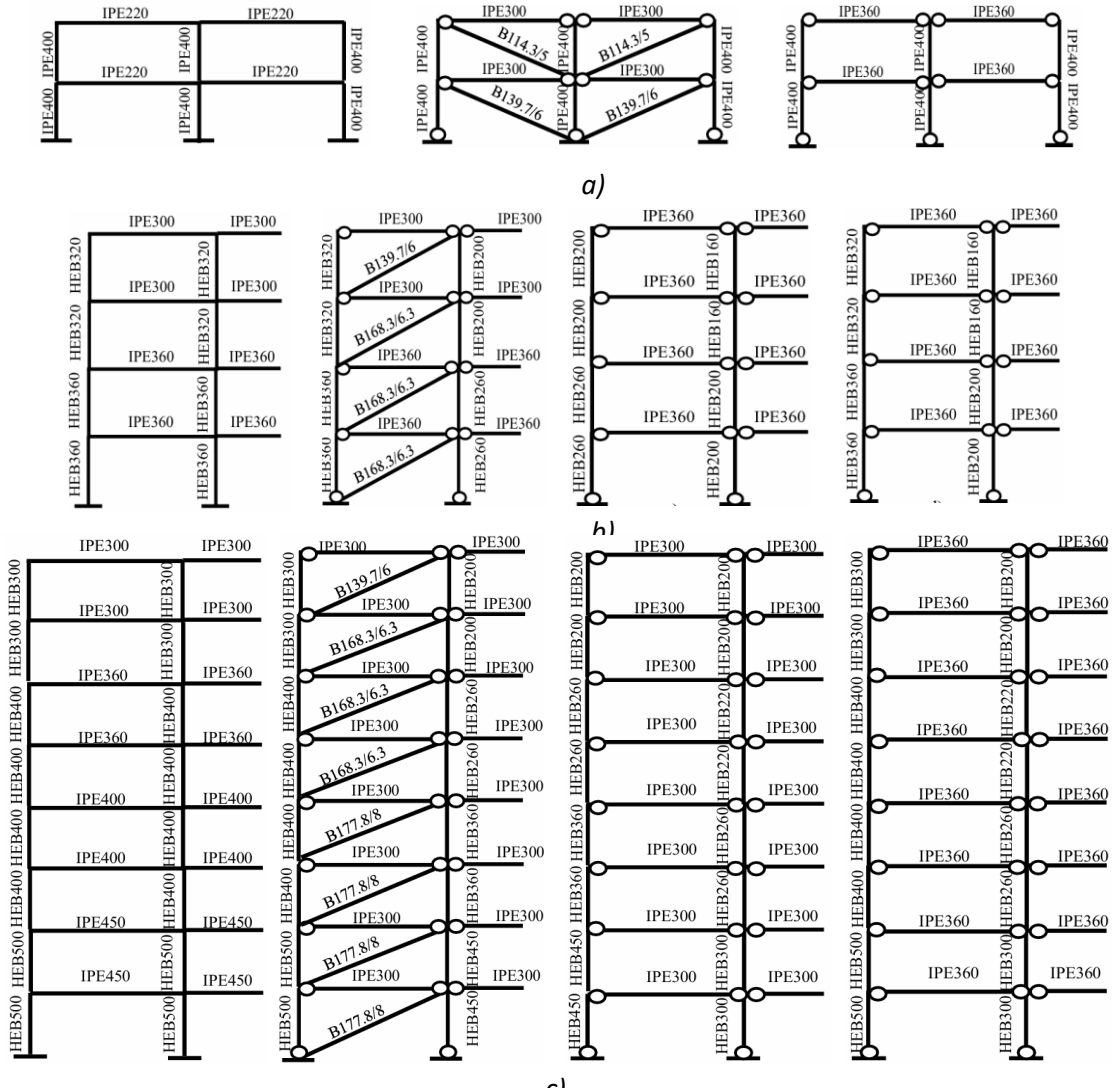
Görsel 2. Tasarım ve Maksimum Deprem Tehlike Seviyelerine Ait İvme Spektrumları

Binaların analiz ve tasarımında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [10]. Tüm elemanlar için süneklik düzeyi yüksek enkesit narinlikleri sağlanarak lokal stabilite sorunları önlenmiştir. Ayrıca çerçeve kirişlerinde stabilite için yeterli sayıda yanal destek uygulaması yapılarak plastik moment taşıma kapasitelerine ulaşması sağlanmıştır. Binaların her iki doğrultudaki taşıyıcı sistemleri için elde edilen modal özellikler ve tasarım taban kesme kuvvetleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Binaların Modal Özellikleri ve Taban Kesme Kuvvetleri

Bina Adı	2KB		4KB		8KB	
Taşıyıcı Sistem	MAÇ	MÇÇ	MAÇ	MÇÇ	MAÇ	MÇÇ
Periyot (T_1) [s]	0.584	0.214	1.142	0.478	1.789	0.897
Periyot Üst Sınırı (TBDY) [s]	0.429		0.758		1.275	
1.Mod Kütle Katılım Oranı [%]	83.34	88.97	77.46	85.74	71.90	76.40
Elastik Spektral İvme (S_{ae}) [g]	0.90	1.00	0.51	0.80	0.30	0.43
Azaltılmış Tasarım Spektral İvme (S_{aR}) [g]	0.112	0.242	0.063	0.160	0.038	0.085
Tasarım Taban Kesme Kuvveti (V_t) [kN]	184.2	398.1	405.6	1029.	518.4	1103.9
Bina Deprem Ağırlığı (w_t) [kN]	1644.7		6438.5		12960.7	

MAÇ sistem doğrultusunda elde edilen hakim periyotlar, üç bina modelinde de TBDY-2018'de öngörülen periyot üst sınırını aşmış ve taban kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde etkili olmuştur [3]. Bu durum spektral ivmelerde ve dolayısıyla bina taban kesme kuvvetlerinde önemli ölçüde artışa sebep olmuştur. (Görsel 2, Çizelge 2). Ayrıca MAÇ sistemlere ait kiriş ve kolonların dayanıma göre tasarımında göreli öteleme kriteri nedeniyle talep/kapasite oranları 0.30~0.50 arasında elde edilmiştir. Tasarım sonucunda bina modellerinin MAÇ, MÇÇ ve iç akslarda bulunan düşey yük taşıyan çerçeve sistemleri için elde edilen eleman boyutları Görsel 3'de verilmiştir.

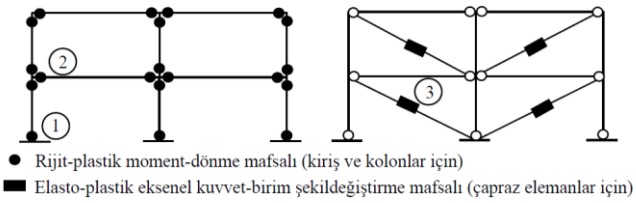


Görsel 3. Bina Modellerine Ait Eleman Boyutları a) 2KB, b) 4KB, c) 8KB

2.2 Binaların Doğrusal Olmayan Statik Analizi

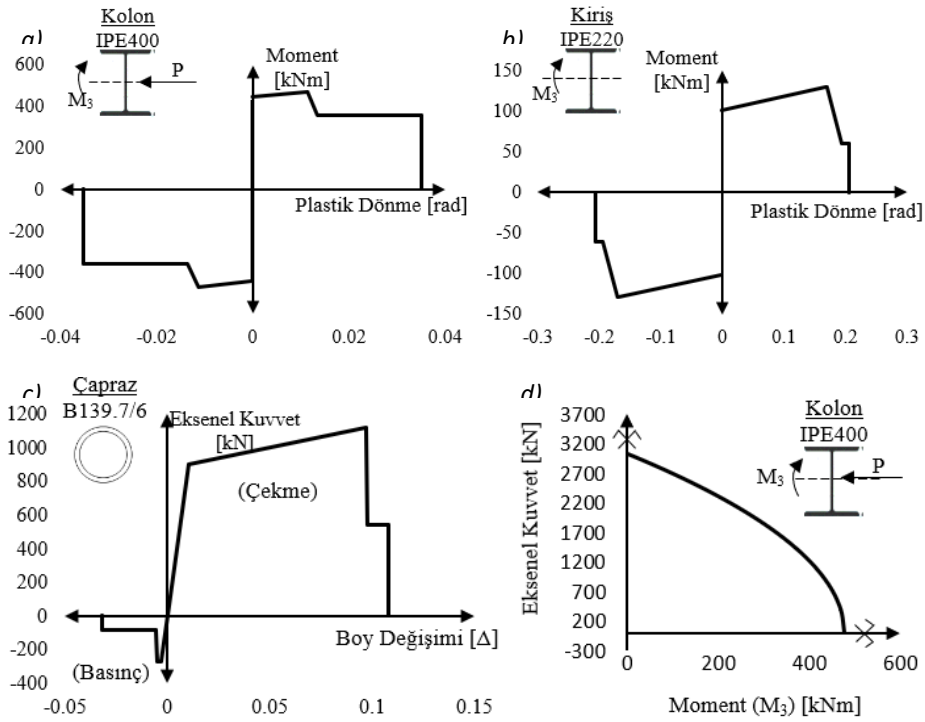
Binaların doğrusal olmayan statik yöntem ile analizi için PERFORM-3D [11] programı kullanılmıştır. Analiz modelinin oluşturulmasında TBDY-2018 [3] ve ASCE 41-17 [12] standartlarından yararlanılmıştır. MAÇ kolon elemanlarında P-M_2-M_3 mafsalı, kiriş elemanlarında *rijit-plastik* moment dönme mafsalı ve MÇÇ çapraz elemanlarında *eksenel kuvvet-birim kısama/uzama* bağıntıları tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde yığılı plastisite yaklaşımı esas alınmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin ve kolon-temel birleşiminin tam rijit olduğu kabul edilmiştir. Çapraz elemanların basınç kapasitelerinin ve birim şekildeğiştirmelerinin belirlenmesinde, düğüm noktaları arasındaki boyun %90'ı etkin boy olarak alınmıştır [12]. Analizler için hazırlanan hesap modeline ait detaylar 2KB binası üzerinde örnek olarak Görsel 4'de gösterilmiştir. Binaların doğrusal olmayan analiz modellerine ait detaylı bilgi Sayılır [13]'da bulunabilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 4. 2KB Analiz Modeli Üzerinde Tanımlanan Plastik Mafsal Bölgeleri

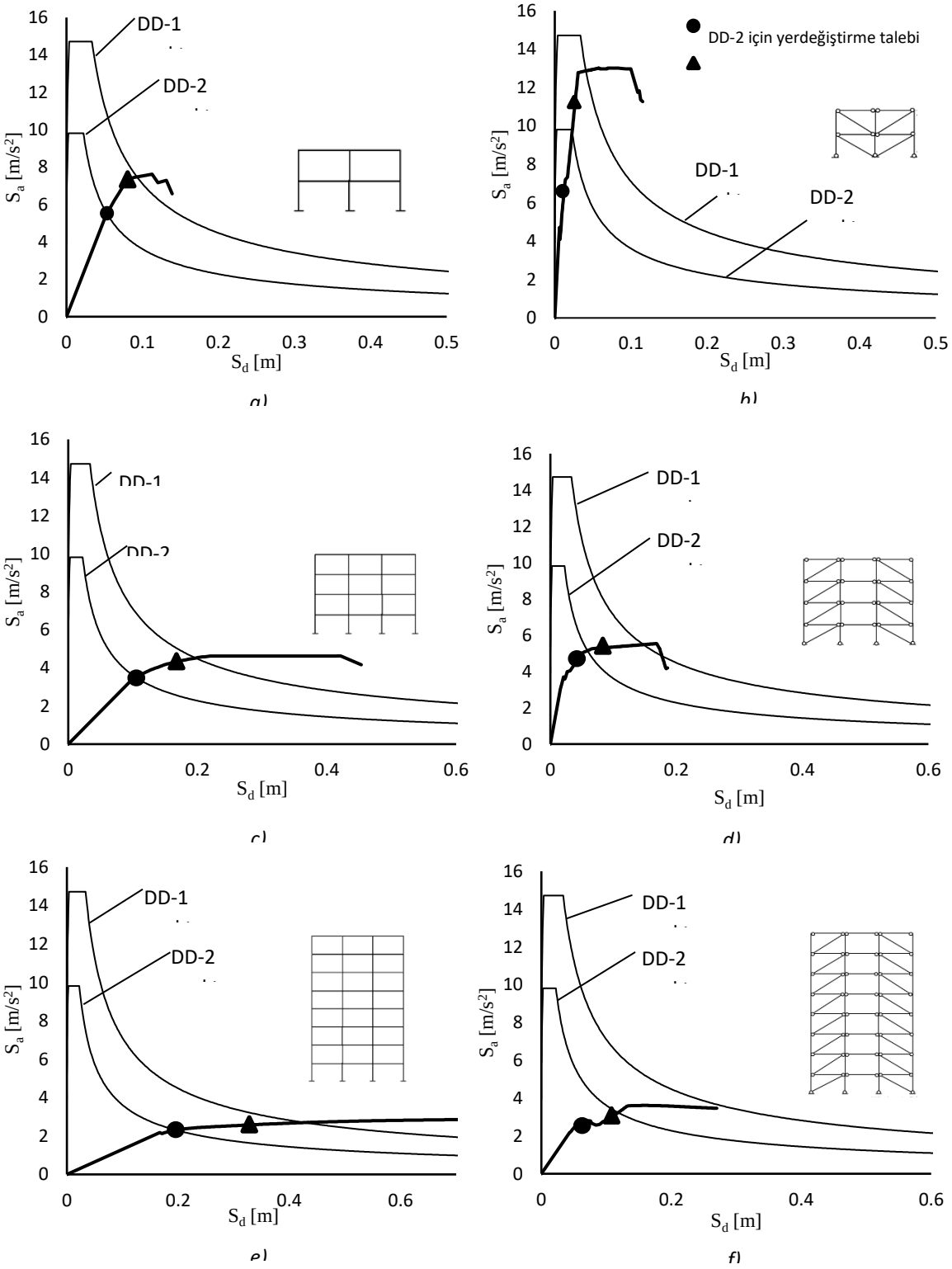
2KB modeli üzerinde 1,2 ve 3 olarak belirtilen plastik mafsal detayları Görsel 5'de verilmiştir. Çaprazlı çerçeve doğrultusunda moment (M_2 momenti) oluşmadığı için kolonlar tek eksenli bileşik eğilmeye (P, M_3) maruz kalmaktadır.



Görsel 5. 2KB Modeline Ait Plastik Mafsal Detayları a) Kolon Plastik Mafsalı, b) Kiriş Plastik Mafsalı, c) Çapraz Plastik Mafsalı, d) Kolon Etkileşim Diyagramı

Bina modelleri üzerinde ilk olarak, TBDY-2018 [3]' e göre düşey deprem etkilerini de içeren düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analizi yapılmış ve ardından her bir asal doğrultu için sabit tek modlu itme analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sistemde bulunan herhangi bir elemanın şekildeğiştirme kapasitesinin sonuna ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Her bir bina modeli için elde edilen kapasite eğrileri (taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi bağıntıları) TBDY-2018'de verilen prosedür ile modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmüş ve iki deprem düzeyi için yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti talepleri belirlenmiştir (Görsel 6, Çizelge 3).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 6. Binalara Ait Modal Yerdeğiştirme Talepleri a) 2KB-MAÇ, b) 2KB-MÇÇ, c) 4KB-MAÇ, d) 4KB-MÇÇ, e) 8KB-MAÇ, f) 8KB-MÇÇ

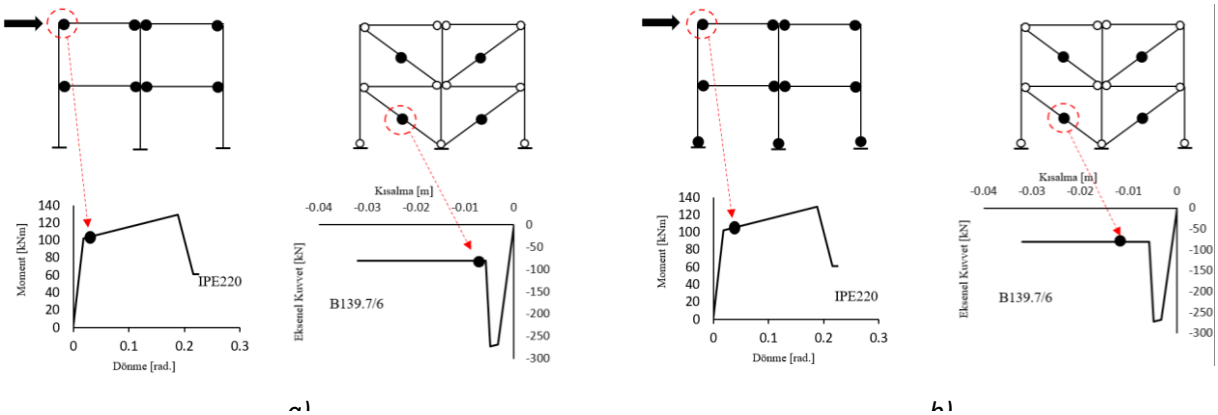
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Çizelge 3. Modal ve Dönüştürülmüş Koordinatlarda Deprem Talepleri.

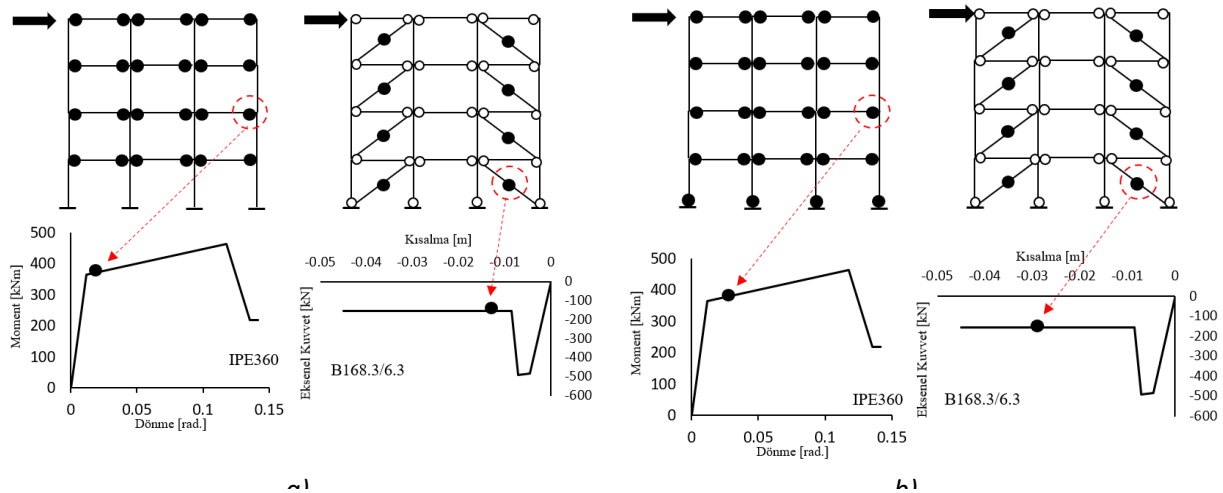
Bina No.	Taşıyıcı Sistem	Modal Yerdeğiştirme (S_{dmax}) [m]		Tepe Yerdeğiştirmesi (u_{max}) [m]		Modal İvme (S_{amax}) [m/s^2]		Taban Kesme Kuvveti (V_{tmax}) [kN]	
		DD-2	DD-1	DD-2	DD-1	DD-2	DD-1	DD-2	DD-1
2KB	MAÇ	0.049	0.074	0.055	0.083	5.80	8.60	819.9	1093.8
	MÇÇ	0.014	0.022	0.016	0.024	5.55	6.80	1249.1	1665.9
4KB	MAÇ	0.111	0.017	0.149	0.223	3.37	5.05	1865.1	2223.0
	MÇÇ	0.039	0.059	0.052	0.077	6.74	10.1	2657.9	2706.0
8KB	MAÇ	0.191	0.286	0.267	0.401	2.35	3.52	2186.7	2392.7
	MÇÇ	0.084	0.126	0.117	0.176	4.07	6.11	3298.2	3311.8

2.3 Bina Plastikleşme Dağılımları

Bina modelleri üzerinde her iki asal doğrultuda deprem taleplerine karşılık gelen tepe yerdeğiştirmesi değerlerine kadar itme analizi uygulanarak sistemlerdeki plastikleşme dağılımları belirlenmiştir. Binaların taşıyıcı sistemlerine ait birer aks üzerinde plastikleşme dağılımları ve en büyük plastik şekildeğiştirmeler (plastik dönme/uzama/kısalma) Görsel 7-9'da verilmiştir. Bina modelleri ve yüklemeler asal eksenlere göre simetrik olduğu için diğer akslardaki plastikleşmeler de simetrik olarak gerçekleşmiştir.

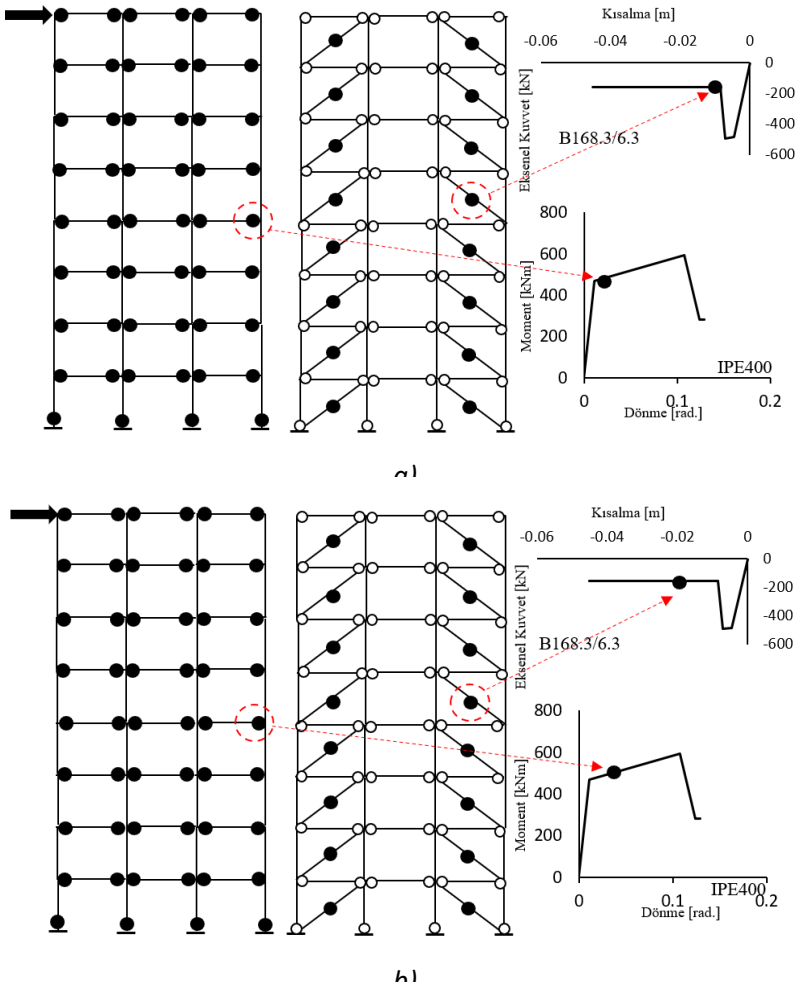


Görsel 7. 2KB'de Plastikleşme Dağılımları ve En Elverişsiz Talepler, a) DD-2 Deprem Düzeyi için, b) DD-1 Düzeyi İçin



Görsel 8. 4KB'de Plastikleşme Dağılımları ve En Elverişsiz Talepler a) DD-2 Deprem Düzeyi İçin, b) DD-1 Deprem Düzeyi İçin

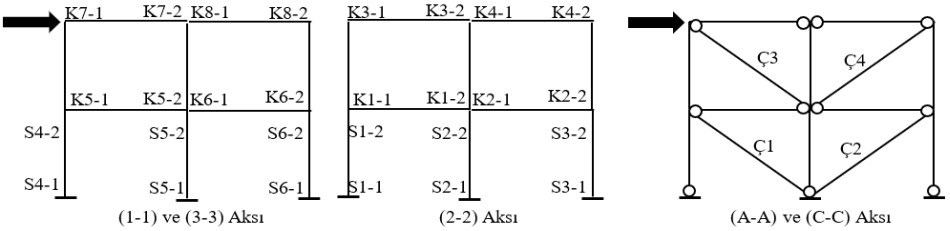
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 9. 8KB'de Plastikleşme Dağılımları ve En Elverişsiz Talepler a) DD-2 Deprem Düzeyi İçin, b) DD-1 Deprem Düzeyi İçin

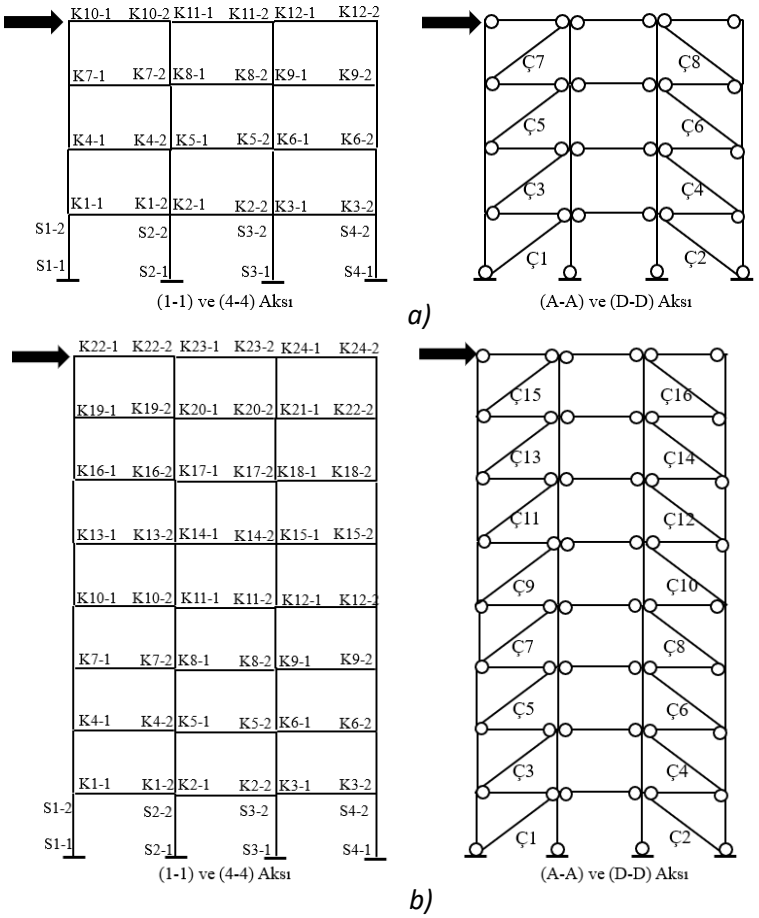
2.4 Bina Performans Düzeyleri

Bina modellerinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için elde edilen plastik şekildeğiştirme talepleri TBDY-2018'de verilen performans düzeyi sınırları ile karşılaştırılarak eleman ve bina bazında performans düzeyleri belirlenmiştir. Plastikleşme dağılımlarına ait grafiklerdeki mafsal kodları Görsel 10-11'de verilmiş ve kolon/kirişlerde 0.0005 rad değerinin altında oluşan plastik dönme değerleri gösterilmemiştir (Görsel 11-13).

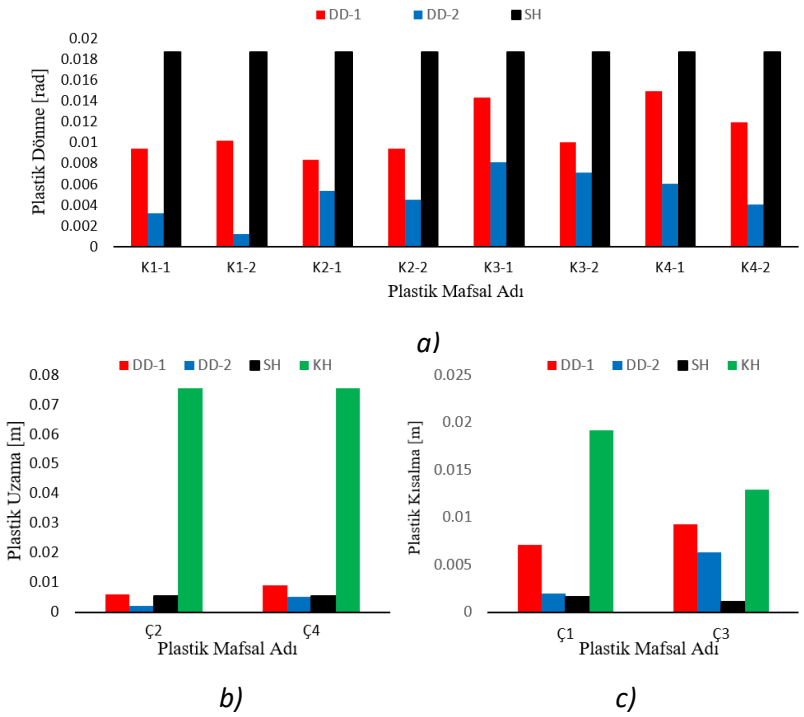


Görsel 10. 2KB Binasına Ait Plastik Kesit İsimleri

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

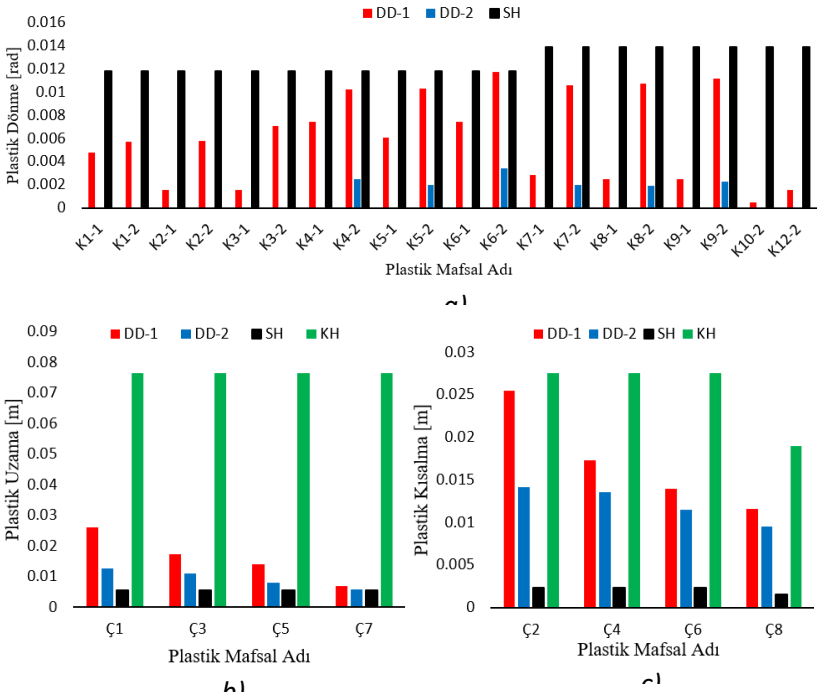


Görsel 11. Bina Elemanlarının Plastik Kesit İsimleri a) 4KB, b) 8KB

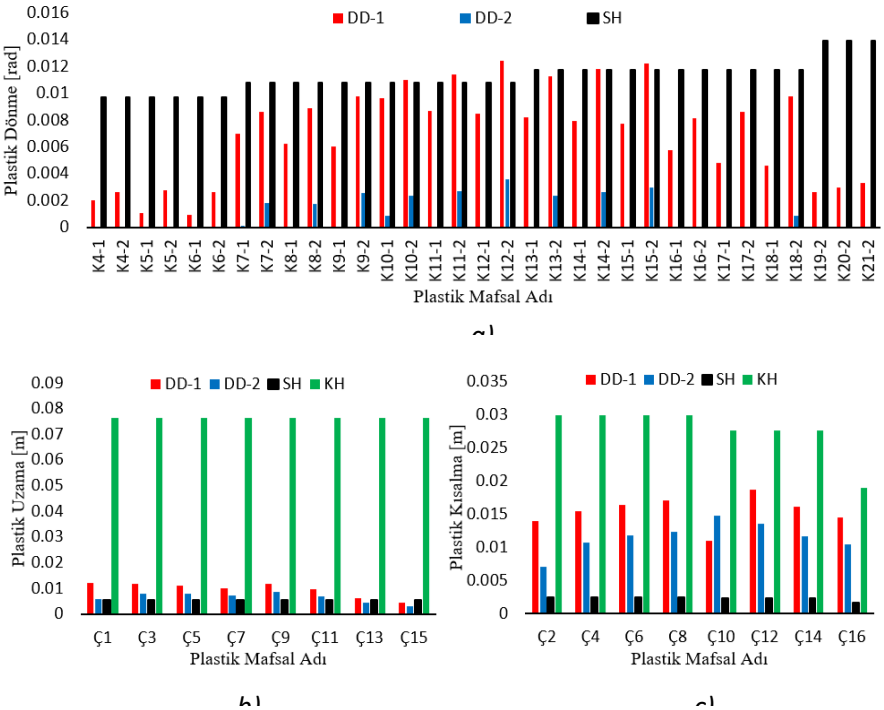


Görsel 12. 2KB'de Deprem Talepleri ve Performans Sınırları a) Kirişler, b) Çaprazlar (çekme), c) Çaprazlar (basınç).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0



Görsel 13. 4KB'de Deprem Talepleri ve Performans Sınırları a) Kirişler, b) Çaprazlar (çekme), c) Çaprazlar (basınç).



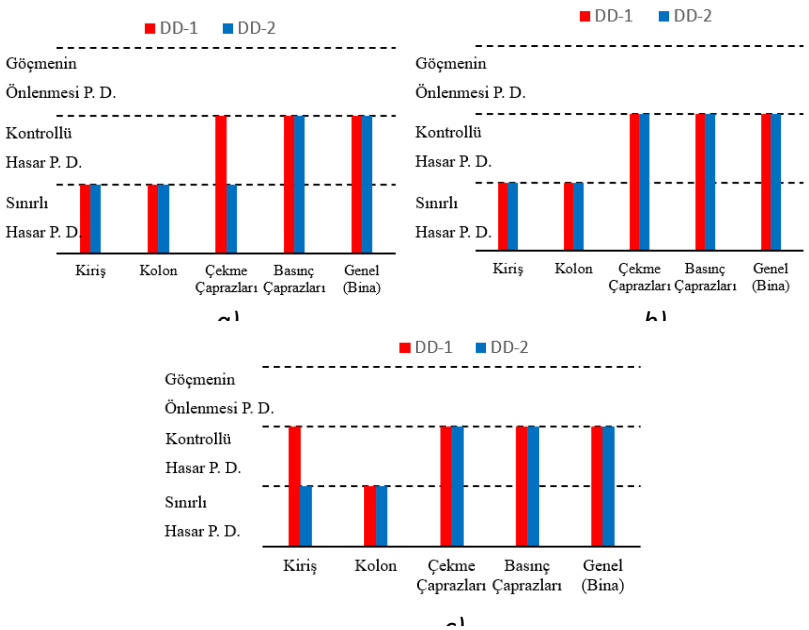
Görsel 14. 8KB'de Deprem Talepleri ve Performans Sınırları a) Kirişler, b) Çaprazlar (çekme), c) Çaprazlar (basınç)

Her bir bina modeli için elde edilen plastik şekildeğiştirme talepleri ile ilgili performans sınırları karşılaştırılıp binalar için genel performans düzeyi belirlenmiştir (Görsel 15). 2KB binasında DD-2 deprem düzeyi için kirişler, kolonlar ve çekme çaprazları Sınırlı Hasar (SH)

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

performans düzeyini sağlarken, basınç çaprazları *Kontrollü Hasar* (KH) performans düzeyine ulaşmış ve bina performans düzeyinin KH olmasında belirleyici olmuştur. DD-1 deprem düzeyinde bina performans KH olarak elde edilmiş, DD2'den farklı olarak MÇÇ'lerdeki çekme çaprazları da KH düzeyine ulaşmıştır. MAÇ'lerdeki kolon ve kirişlerde DD1 düzeyinde dahi *Sınırlı Hasar* (SH) performans düzeyi aşılmamıştır. 4KB binasında hem DD-1 hem de DD-2 için kiriş ve kolonlarda SH, çekme ve basınç çaprazlarında KH performans düzeyi elde edilmiş ve bina performansı KH olarak belirlenmiştir. 8KB binasında DD-2 için kiriş ve kolon elemanlarda SH performans düzeyi elde edilirken çekme ve basınç elemanlarında KH performans düzeyi elde edilmiş ve bina performans düzeyi her iki deprem düzeyi için de KH olarak belirlenmiştir.

Buna göre TBDY-2018'de DD2 düzeyi için öngörülen temel performans düzeyi tüm binalarda sağlanmıştır. DD-1 düzeyi depremlerde ise Yönetmelikte açık bir performans hedefi belirtilmemekle birlikte, ilgili bina özellikleri göz önüne alınarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyinin öngörüldüğü kabul edildiğinde tüm binalarda öngörülenin üzerinde bir performans sağlandığı belirlenmiştir. Performans düzeylerinde tüm binalar için genel olarak MÇÇ sistem çaprazlarındaki hasar düzeyleri belirleyici olmuş, MAÇ sistemlerde ise hasar düzeyleri çok düşük düzeyde kalmıştır.



Görsel 15. Eleman ve bina performans düzeyleri a) 2KB, b) 4KB, c) 8KB

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre tasarlanan iki, dört ve sekiz katlı çelik bina modellerinin doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiş ve tasarım deprem düzeyi (DD-2) ve maksimum deprem düzeyi (DD-1) altında performansları değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçları, tüm bina modellerinde TBDY-2018'de DD-2 deprem düzeyi için öngörülen *Kontrollü Hasar* (KH) performans hedefinin sağlandığını göstermiştir. DD-1 deprem düzeyi için ise yönetmelikte bir performans hedefi tanımlanmamış olmakla birlikte, incelenen bina özellikleri için kabul edilebilir düzeyin (*Göçmenin Önlenmesi* düzeyi) çok üzerinde performans gösterdiği belirlenmiştir. Performans düzeylerini belirleyen temel unsurun merkezi

çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistemindeki çapraz elemanlar olduğu, moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistemindeki kolon ve kirişlerin ise DD-1 deprem düzeyinde dahi *Sınırlı Hasar* (SH) performans düzeyini aşmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, modern çelik binalarda moment aktaran çerçevelerin genel olarak daha yüksek güvenlik marjı ile davranırken, merkezi çaprazlı sistemlerde performansın çapraz elemanların doğrusal olmayan davranışı tarafından belirlendiğini ortaya koyan analitik çalışmalar ve son yıllardaki deprem gözlemleri ile genel olarak uyumludur.

MAÇ sistemlerinde göreli kat ötelemesi sınırı ve periyot üst sınırı koşulları nedeniyle eleman talep/kapasite oranları düşük kalmış ve yönetmelikte öngörülen performans düzeyinin üzerinde bir güvenlik düzeyi elde edilmiştir. Buna karşılık MÇÇ sistemlerinde tasarımın büyük ölçüde eleman dayanımı tarafından belirlenmesi nedeniyle yönetmelikte hedeflenen performans düzeyi doğrudan sağlanmıştır. Bu bulgular, TBDY-2018'in öngördüğü performans hedeflerinin genel olarak sağlandığını, ancak farklı taşıyıcı sistemler için farklı güvenlik marjları oluşturabildiğini göstermektedir. Bu nedenle, TBDY-2018 kapsamında farklı taşıyıcı sistemler için kullanılan tasarım ölçütlerinin, özellikle göreli kat ötelemesi sınırları ve periyot sınırlamalarının, hedeflenen performans düzeyleri ile birlikte değerlendirilmesi ve farklı taşıyıcı sistemler arasında daha dengeli bir hasar dağılımı sağlayacak tasarım yaklaşımlarının araştırılması yararlı olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, incelenen düzenli bina modelleri ve benimsenen modelleme varsayımları kapsamında değerlendirilmelidir. Sonuçların genelleştirilebilmesi için farklı merkezi çapraz tipleri, açıklık ve kat sayıları ile yapısal düzensizlikler içeren bina modelleri üzerinde, betonarme döşeme etkisi ve basit/rijit birleşimlerde rijitlik ve dayanımın sistem davranışına etkilerini dikkate alan kapsamlı doğrusal olmayan analiz çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] American Society of Civil Engineers (ASCE), *ASCE/SEI 41-23: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, Reston, Virginia, USA, 2023.

[2] European Committee for Standardization (CEN), *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings (EN 1998-3)*, Brussels, Belgium, 2005.

[3] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)*, Resmî Gazete, Ankara, 2018.

[4] Harris, J.L. III and Speicher, M.S., Assessment of Performance-Based Seismic Design Methods in ASCE 41 for New Steel Buildings: Special Moment Frames, *Earthquake Spectra*, **34**(3), 977–999, 2018.

[5] Harris, J.L. III and Speicher, M.S., *Assessment of First-Generation Performance-Based Seismic Design Methods for New Steel Concentrically Braced Frames*, NIST Technical Note 1863-2, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2015.

[6] Clifton, G.C. and MacRae, G.A., Lessons from the Field: Steel Structure Performance in Earthquakes in New Zealand from 2010 to 2016, *Key Engineering Materials*, **763**, 61–71, 2018.

[7] D'Aniello, M., Landolfo, R. ve diğerleri, Behavior of Steel Building Structures Subjected to Strong and Benchmark Seismic Actions: An Overview of Damage from the Observations of the Last 40 Years, *Technical Annals*, 2024.

[8] Tapia-Hernández, E. ve diğerleri, Field Observations and Assessment of Performance Level of Steel Structures After the Kahramanmaraş Earthquake Sequence of 2023, *Earthquake Spectra,* 2025.
[9] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
[10] SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures, Inc. (CSI), Berkeley, CA, USA, Version 26, 2024.
[11] PERFORM-3D Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computers and Structures, Inc. (CSI), Berkeley, CA, USA, Version 9, 2023.
[12] Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2017.
[13] Sayılır, A., Çelik Binaların Deprem Performansları Üzerine Sayısal İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2024.

ICSAS 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
August 7 – 9, 2026 – IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

EFFECTS OF SHORT-TERM AGING ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF WASTE FISH FRYING OIL-MODIFIED BITUMEN

Lecturer Dr., Öznur KARADAĞ
Süleyman Demirel University, E-mail: oznurkaradag@sdu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-0755-5626

ABSTRACT

Waste oils have gained attention as sustainable bitumen modifiers due to their potential to enhance bitumen properties while addressing waste management challenges. Although previous studies have extensively investigated waste cooking oils, use of waste animal oils as bitumen modifiers remains relatively unexplored. In this study, waste fish frying oil obtained from a fish restaurant at ratios of 1, 3, and 5% by weight of bitumen was investigated as a modifier for 50/70 penetration grade bitumen. The physical properties (penetration, softening point, and viscosity) of modified bitumen were evaluated before and after short-term oxidative aging using Rolling Thin Film Oven Test. To evaluate aging characteristics of modified bitumen, penetration aging ratio, softening point increment, and viscosity aging index were calculated. Under unaged conditions, incorporation of waste fish frying oil into 50/70 bitumen resulted in higher penetration values and lower softening point and viscosity values of modified bitumen. The oxidative aging resulted in an increase in softening point increment value and a decrease in penetration aging ratio value of modified bitumen. These changes indicate that oxidative aging caused hardening of modified bitumen and altered its aging-related properties. However, effect of aging on viscosity of modified bitumen was relatively limited. Compared with unmodified 50/70 bitumen, modified bitumen exhibited a lower viscosity aging index value at both test temperatures (135 and 165°C). This discrepancy can be attributed to the fact that different aging indices reflect different aspects of bitumen behavior and exhibit varying susceptibility to changes in physical and rheological properties of bitumen during aging. This study demonstrated potential of waste fish frying oil as a bitumen modifier.

Keywords: Waste fish frying oil, bitumen modification, short-term aging, aging index.

1. INTRODUCTION

Bitumen plays an essential role in pavement construction and different waterproofing applications, including hydraulic coatings and building protection systems, due to its strong bonding capability, moisture resistance, and long-term performance. However, depletion of

natural resources and the growing demand for sustainable pavement have prompted the bitumen industry to explore alternative materials and technologies. Consequently, various additives are been incorporated into bitumen to enhance its engineering performance, extend pavement service life, and improve sustainability [1,2]. Despite the growing interest in sustainable bitumen modifiers, the use of waste derived from marine organisms, particularly aquatic product waste, insufficiently explored. Moreover, only a limited number of studies have investigated aging behavior and temperature-dependent performance of bitumen modified with chitosan obtained from various sources. Arabani and Farkhondeh (2024) [3] were conducted the first study on the use of chitosan derived from shrimp shell (SSPCH) as bio-based modifier for bitumen. The addition of SSPCH (2-8%) resulted in lower penetration and higher softening point values, demonstrating improved thermal stability of modified bitumen. It has been reported that bitumen modified with 6% SSPCH exhibited the best high-temperature performance. Slazor-Cruz et al. (2021) [1] evaluated how Sargassum (SGZ), a seaweed species affecting numerous coastal regions worldwide, influences physical characteristics and rheological behavior of bitumen. SGZ incorporation improved thermal performance of bitumen of bitumen, particularly under high-temperature conditions. Furthermore, potential of seashells as fillers in hot mixtures asphalt has been investigated. Incorporation of seashells was found to enhance durability-related properties of asphalt mixtures by improving fatigue behavior and reducing susceptibility to deformation and moisture damage [4]. Effects of incorporating oyster shell powder (OSP) as a filler on the performance properties of asphalt mixtures have been examined. Incorporation of OSP improved fatigue and rutting performance of asphalt mixtures, highlighting its suitability as substitute filler material in asphalt mixtures [5]. In other study, waste crayfish shell powder, which are generated in large quantities in China and pose significant environmental concerns, as a bitumen modifier was investigated. The results revealed that the incorporation of waste crayfish shell powder effectively enhanced high-temperature rheological properties of bitumen, supporting its potential use as a sustainable bitumen modifier [6].

Depletion of non-renewable resources and growing environmental concerns have accelerated the exploration of waste materials as sustainable alternatives in pavement engineering. In particular, conversion of biological waste into value-added products, such as biofuels and functional additives, has gained increasing attention as a sustainable waste management strategy. The increasing global population, together with ongoing urbanization and industrial development, has considerably enhanced fisheries and aquaculture production. Indeed, approximately two-thirds of fish biomass has been reported to be discarded as waste. Accordingly, the conversion of marine waste resources into value-added products is considered a promising and sustainable approach aligned with the principle of the circular bioeconomy. Generation of large quantities of fish waste poses significant environmental concerns; therefore, its utilization as a feedstock for biodiesel production is encouraged as a sustainable waste management approach [7,8]. Fish waste obtained from processing operations, including viscera, bones, skin, fins, and other residual components, has gained interest as a renewable feedstock for biodiesel production [9]. In addition, waste fish oil has significant potential as a sustainable feedstock for biodiesel production in Iran. It has been estimated that, in the initial phase,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

biodiesel produced from fish oil could satisfy approximately 5% of the diesel fuel demand in the pavement sector [10]. In addition to, the potential of 30 different types of low-cost waste oil (14 seafood, 5 fast-food restaurants, 5 hospitals, 4 pastry shop, and 2 restaurants) as alternative feedstocks for biodiesel production was investigated. Utilizing waste oil as a feedstock for biodiesel production not only lowers production costs but also mitigates the environmental impacts associated with improper waste oil disposal [11].

Although fish waste represents a sustainable and cost-effective biomaterial, its utilization in value-added engineering applications remains limited. Among various types of fish waste, fish scales are generated in substantial quantities and pose significant environmental and public health concerns due to unpleasant odors and bacterial proliferation during accumulation. Therefore, appropriate management and disposal strategies are essential to mitigate their adverse impacts. Despite being an abundant by-product of fishing industry, fish scale powder remains largely underutilized. A review of existing literature reveals that use of fish scale powder as bitumen modifier has been explored in only a limited number of studies. Performance of bitumen and asphalt mixtures incorporating fish scale powder (FSP) at different ratio (3-9%) was investigated. Incorporating of FSP into bitumen and asphalt mixtures enhances their performance by improving rutting resistance, moisture damage resistance, and storage stability. Use of FSP not only improves long-term performance of asphalt mixtures but also promotes environmental sustainability by reducing the impacts associated with waste disposal [12]. Also, the rheological behavior of bitumen modified with fish scale powder (FSP) at ratios of 4-16% was systematically evaluated. FSP-modified bitumen exhibited improved interfacial bonding, viscoelastic characteristics, and resistance against temperature-induced changes and permanent deformation. Furthermore, incorporating of low ratios of FSP was found to effectively improve bitumen's resistance to aging, fatigue, and cracking, highlighting its potential as a sustainable and high-performance bitumen modifier [13]. In addition to fish scale powder, effects of long-term storage on physical, chemical, and thermal properties of waste fish oils and used cooking vegetable oils were comprehensively evaluated [14]. Field observations in Iceland have reported that pavements incorporating bitumen modified with fish oil and rapeseed oil were susceptible to severe distress, including bleeding, binder drain down, and adhesion of the surface coating to vehicle tires. Examination of samples obtained from six different pavement surfaces demonstrated that oil residue formed a coating on aggregate particles, weaking interfacial adhesion between bitumen and aggregates. Results demonstrated that fish oil exhibited more effective than rapeseed oil [15]. Although waste vegetable oils have been widely studied as bitumen modifiers, use of waste animal fats has received limited attention in the literature, including waste chicken fat oil [16], waste pig fat [17], and yellow grease [18]. Furthermore, research on the use waste fish frying oil as bitumen modifier remains limited. Therefore, this study evaluated physical properties of bitumen modified with waste fish frying oil (WFFO) ratios of 1, 3, and 5% by weight of bitumen, obtained from fish restaurant, before aging and after short-term aging using Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Physical properties of modified bitumen were evaluated before and after short-term aging through penetration, softening point, and rotational viscosity measurements. In addition, ageing indexes

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

of bitumen incorporating WFFO, including penetration aging ratio (PAR), softening point increment (SPI), and viscosity aging index (VAI) were calculated.

2. MATERIALS AND METHODS

The properties of 50/70 bitumen and waste fish frying oil (WFFO) used in this study were determined. Experimental program consisted of bitumen modification, short-term aging using Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT), and determination of penetration, softening point, and rotational viscosity before and after aging. Furthermore, penetration aging ratio (PAR), softening point increment (SPI), and viscosity aging index (VAI) were calculated to assess aging performance of modified bitumen.

2.1. 50/70 Bitumen and Waste Fish Frying Oil (WFFO)

The materials used in this study consisted of 50/70 penetration grade bitumen and waste fish frying oil obtained from a fish restaurant. To characterize physical properties of 50/70 bitumen, penetration (TS EN 1426), softening point (TS EN 1427), and specific gravity (TS E 15326+A1) tests were conducted. The measured penetration, softening point, and specific gravity values of 50/70 bitumen were 52 (0.1 mm), 50.5°C, and 1.030 g/cm^3, respectively. Prior to its use in bitumen modification, waste fish frying oil collected from fish restaurant was filtered through filter paper.

2.2. Preparation of Modified Bitumen and Experimental Characterization

Modified bitumen were prepared by incorporating waste fish frying oil into 50/70 bitumen at different ratios of 1%, 3%, and 5%. The blending process was performed in a temperature-controlled high-speed mixer operated at 160°C temperature and 2000 rpm for 60 min. Following preparation, physical characteristics of bitumen were evaluated through penetration, softening point, and rotational viscometer tests.

2.3. RTFOT Procedure for Short-Term Aging

To evaluate effects of short-term aging, modified bitumen incorporating 1%, 3%, and 5% WFFO were aged using the RTFOT following procedure specified in TS EN 12607-1. During RTFOT procedure, modified bitumen samples were aged in air-blown oven at 163°C test temperature for 75 min. Physical properties of short-term aged modified bitumen samples were evaluated through conventional bitumen tests.

2.4. Aging Index (AI) Calculation of Modified Bitumen

Penetration aging ratio (PAR), softening point increment (SPI), and viscosity aging index (VAI) were calculated using results of bitumen tests conducted before and after short-term aging to evaluate aging behavior of modified bitumen (Table 1).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Table 1. Calculation of aging indices

Aging Index (AI)	Equation
Penetration Aging Ratio (PAR)	$\text{PAR} = \frac{\text{Penetration value of aged}}{\text{Penetration value of unaged}}$
Softening Point Increment (SPI)	SPI= Softening point aged – Softening point unaged
Viscosity Aging Index (VAI)	$\text{VAI} = \frac{\text{Viscosity value of aged} - \text{Viscosity value of unaged}}{\text{Viscosity value of unaged}}$

3. RESULTS

This section discusses experimental results obtained to evaluate performance characteristics of bitumen modified with different WFFO ratio.

3.1. Physical Characterization of WFFO-Modified Bitumen

Figure 1 illustrates variation in softening point values of unaged and aged WFFO-modified bitumen. In the absence of aging, addition of WFFO resulted in a gradual decrease in softening point of modified bitumen as WFFO ratio increased. RTFOT aging process caused oxidative hardening of modified bitumen, leading to an increase in softening point values.

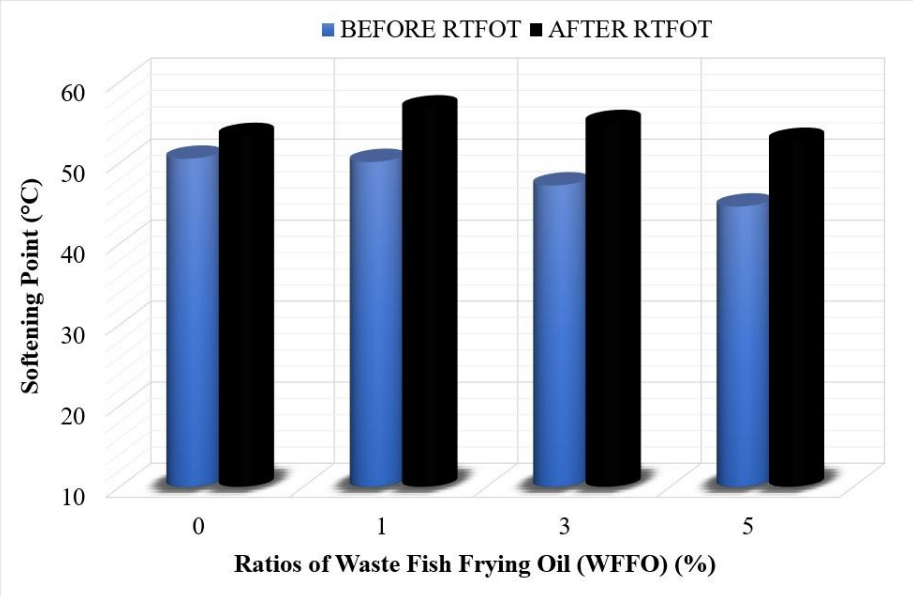


Figure 1. Softening point values of WFFO-modified bitumen before and after short-term aging

Figure 2 illustrates the changes in penetration values of unaged and aged WFFO-modified bitumen. Consistent with softening point test results, penetration values of WFFO-modified bitumen increased with increasing WFFO ratio in the absence of aging. The results revealed that RTFOT aging reduced penetration values of WFFO-modified bitumen due to oxidation-induced hardening. Use of waste oil as a bio-modifier reduces viscosity and softening point of bitumen while increasing its penetration value, which contributes to improved bitumen workability and may enhance long-term performance of asphalt pavements [16]. These results

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

indicate that improved performance characteristics of pavement may contribute to enhanced resistance against low-temperature thermal cracking and reduced susceptibility to permanent deformation under high-temperature and repeated traffic loading conditions [19].

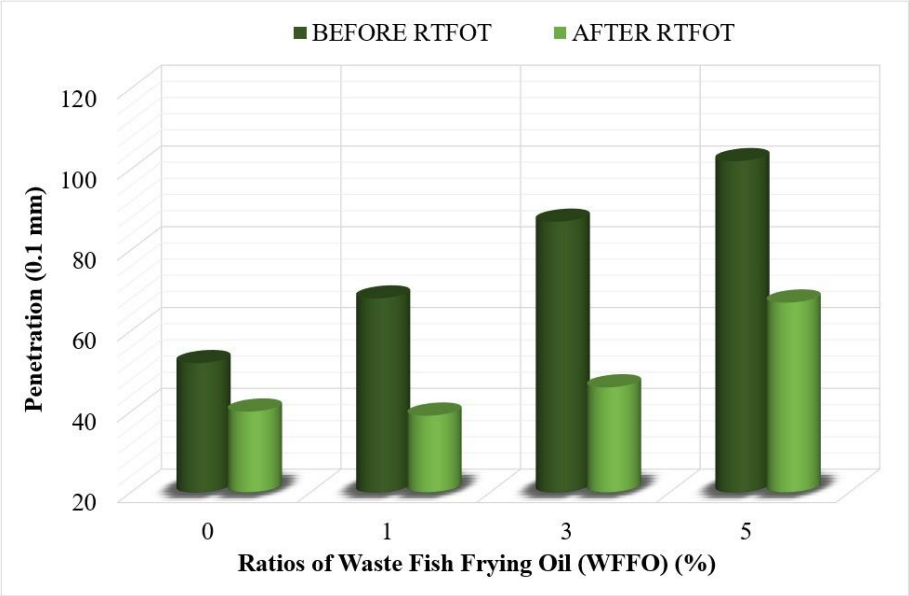


Figure 2. Penetration values of WFFO-modified bitumen before and after short-term aging

Incorporating of WFFO consistently reduced viscosity of bitumen before and after aging (Figure 3). The reduced viscosity of WFFO-modified bitumen may enable lower mixing and compaction temperatures, thereby reducing energy consumption during asphalt production and contributing to more sustainable pavement construction.

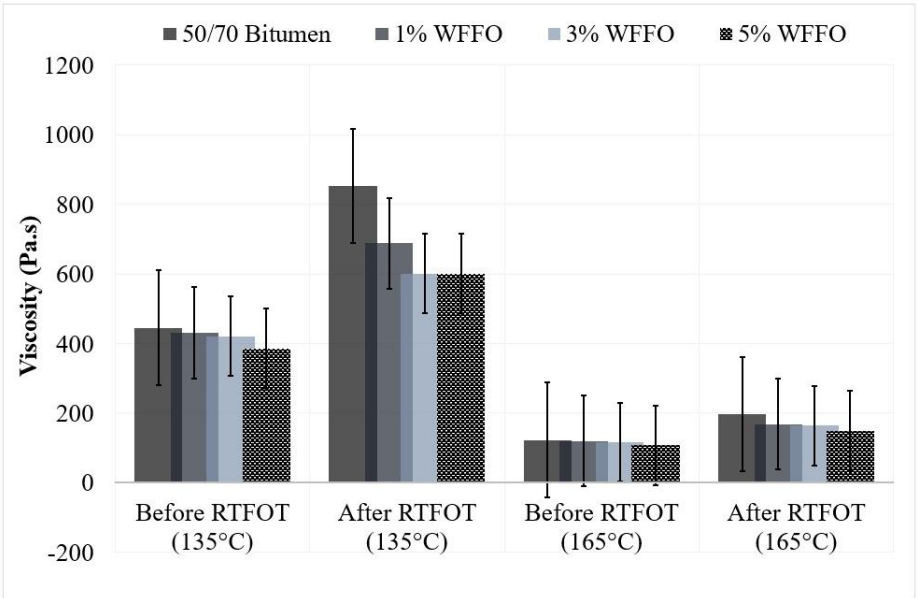


Figure 3. Viscosity values of WFFO-modified bitumen before and after short-term aging

3.2. Calculation of Aging Indices for WFFO-Modified Bitumen

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

The aging index is commonly used to evaluate aging performance of bitumen. It is defined based on the variation in a specific property of bitumen before and after aging process, and provides an indication of the extent of property changes induced by aging [20]. In this study, PAR, SPI, and VAI aging indices were determined using measured physical properties of WFFO-modified bitumen before and after short-term aging. As shown in Figure 4, SPI values of modified bitumen increased with increasing WFFO ratio. A higher SPI value for WFFO-modified bitumen indicates lower aging resistance.

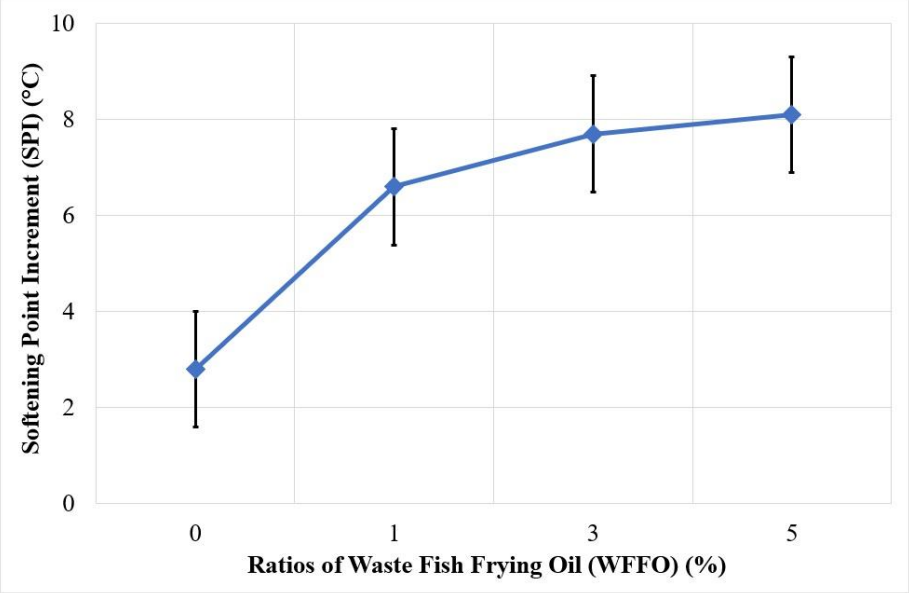


Figure 4. SPI values of WFFO-modified bitumen

Figure 5 shows PAR values of WFFO-modified bitumen calculated using penetration values obtained before and after aging.

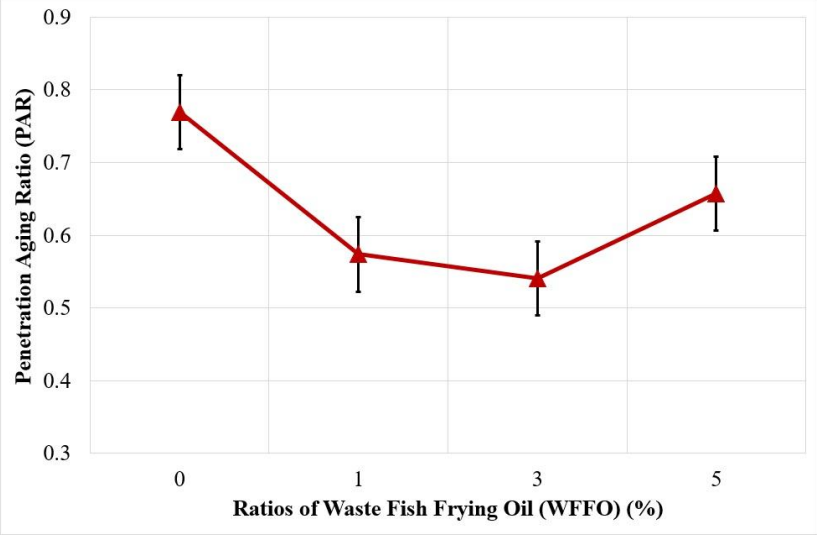


Figure 5. PAR values of WFFO-modified bitumen

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Compared with 50/70 bitumen, WFFO-modified bitumen exhibited lower PAR values, indicating a greater reduction in penetration after aging and, consequently, lower aging resistance. The combination of a low SPI value and a high PAR value indicate improved aging resistance and enhanced high-temperature performance of bitumen, which consequently contributes to greater resistance against deformation and rutting [21]. An examination of Figure 6 demonstrates that short-term aging exerted a relatively limited influence on viscometer values of WFFO-modified bitumen. The lower VAI values observed for WFFO-modified bitumen compared with 50/70 bitumen at test temperatures of 135 and 165°C indicate that incorporation of WFFO effectively mitigated viscosity increase induced by short-term aging. These results suggest that WFFO incorporation improved viscosity-based aging resistance of modified bitumen by reducing its susceptibility to oxidative hardening during short-term aging process. However, changes observed in SPI and PAR aging indices revealed a different aging behavior, indicating that positive effect observed in viscosity-based aging evaluation was not consistently reflected in hardening-related properties of WFFO-modified bitumen. This discrepancy can be attributed to the fact that different aging indices reflect different aspects of bitumen behavior and exhibit varying susceptibility to changes in physical and rheological properties of bitumen during aging.

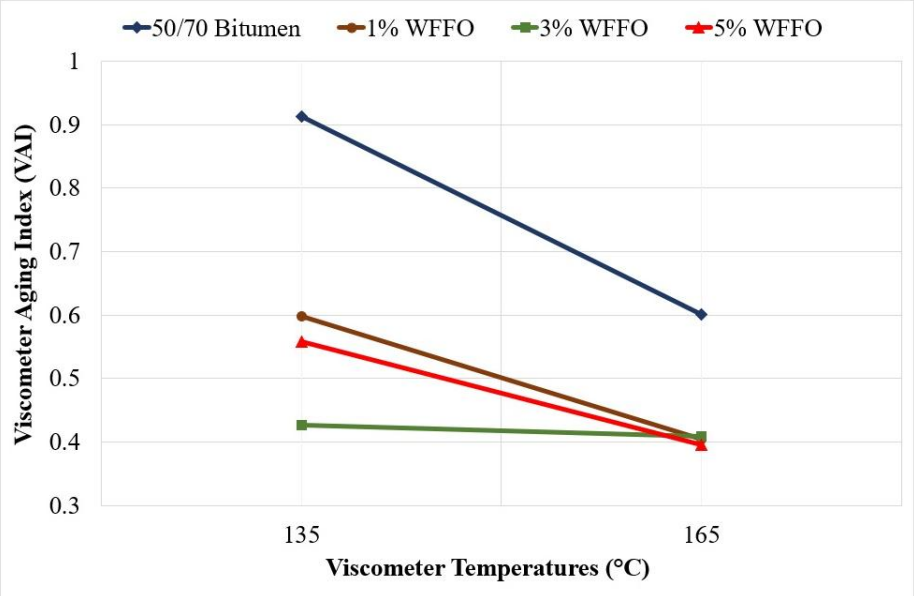


Figure 6. VAI values of WFFO-modified bitumen

4. CONCLUSIONS

In this study, physical characterizations of 50/70 bitumen modified with waste fish frying oil (WFFO) collected from a fish restaurant were examined before and after short-term aging using Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). The penetration aging ratio (PAR), softening point increment (SPI), and viscosity aging index (VAI) were calculated based on penetration, softening point, and viscosity values of WFFO-modified bitumen before and after short-term aging, respectively. Before aging, incorporation of WFFO increased penetration value of 50/70 bitumen and reduced its softening point and rotational viscosity. The oxidative aging induced

by RTFOT resulted in an increase in SPI value and a decrease in PAR value of modified bitumen. These changes indicate that oxidative aging caused hardening of modified bitumen and altered its aging-related properties. However, effect of aging on viscosity of modified bitumen was relatively limited. Compared with unmodified 50/70 bitumen, modified bitumen exhibited a lower VAI value at both test temperatures (135 and 165°C). This discrepancy can be attributed to the fact that different aging indices reflect different aspects of bitumen behavior and exhibit varying susceptibility to changes in physical and rheological properties of bitumen during aging. This study demonstrated potential of waste fish frying oil as a bitumen modifier. Given the limited research on use of waste animal oil in bitumen and asphalt mixtures, these results contribute to the existing knowledge and may serve as a reference for future studies.

REFERENCES

[1] Salazar-Cruz, B.A., Zapien-Castillo, S., Hernandez-Zamora, G., Rivera-Armenta, J.L. Investigation of the Performance of Asphalt Binder Modified by Sargassum, Construction and Building Materials, 271,121876, 2021. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121876.

[2] Kamaruddin, N.H.M., Hainin, M.R., Hassan, N.A., Abdullah, M.E., Yaacob, H. Evaluation of Pavement Mixture Incorporating Waste Oil, Jurnal Teknologi, 71, 3, 93-98, 2014.

[3] Arabani, M., Farkhondeh, J. Evaluation of Rheological and Microstructural Behavior of Modified Asphalt Binder with Chitosan Derived from Shrimp Shell Powder, Results in Engineering, 23,102758, 2024. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102758.

[4] Arabani, M., Babamohammadi, S., Azarhoosh, A.R. Experimental Investigation of Seashells Used as Filler in Hot Mix Asphalt, International Journal of Pavement Engineering, 16,6,502-509, 2015. https://doi.org/10.1080/10298436.2014.943132.

[5] Nciri, N., Shin, T., Lee, H., Cho, N. Potential of Waste Oyster Shells as a Novel Biofiller for Hot-Mix Asphalt, Applied Sciences, 8,3,415, 2018. https://doi.org/10.3390/app8030415.

[6] Lv, S., Xia, C., Yang, Q., Guo, S., You, L., Guo, Y., Zheng, J. Improvements on High-Temperature Stability, Rheology, and Stiffness of Asphalt Binder Modified with Waste Crayfish Shell Powder, Journal of Cleaner Production, 264,121745,2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121745.

[7] Prasanna, V.A., Chandrasekhar, T., Riazunnisa, K., Kumar, P.R., Teja, S.V.R., Rajeswari, D., Reddy, M.C.,Wee, Y.J., Lebaka, V.R. Fish Waste: A Potential Source of Biodiesel, Fermentation, 9,9,861, 2023. https://doi.org/10.3390/fermentation9090861.

[8] Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, F.P., Riccio, G., Rizzo, C., de Pascale, D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource, Marine Drugs, 19,2,116, 2021. https://doi.org/10.3390/md19020116.

[9] Al Azad, S., Wuen, L.Y., Mohamad Lal, M.T.B. Potential of Fish Wastes as Feedstock for Biodiesel, Advances in Bioscience and Biotechnology, 10,05,109-118, 2019. https://doi.org/10.4236/abb.2019.105008.

[10] Yahyaee, R., Ghobadian, B., Najafı, G. Waste Fish Oil Biodiesel as a Source of Renewable Fuel in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17,312-319, 2013. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.025.

[11] Sanli, H., Canakci, M., Alptekin, E. Characterization of Waste Frying Oils Obtained from Different Facilities, World Renewable Energy Congress-Sweden, 57, 8-13, 2011.

[12] Sathvik, S., Kumar, G.S., Bahrami, A., Nitin, G.C., Singh, S.K., Althaqafı, E., Özkılıç, Y.O. Evaluation of Asphalt Binder and Mixture Properties Utilizing Fish Scale Powder as a Biomodifier, Case Studies in Construction Materials, 20, e03238, 2024. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03238.

[13] Lv, S., Hu, L., Xia, C., Cabrera, M.B., Guo, Y., Liu, C., You, L. Recycling Fish Scale Powder in Improving the Performance of Asphalt: A Sustainable Utilization of Fish Scale Waste in Asphalt, Journal of Cleaner Production, 288,125682, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125682.

[14] Bruun, N., Tesfaye, F., Hemming, J., Dirbeba, M.J., Hupa, L. Effect of Storage Time on the Physicochemical Properties of Waste Fish Oils and Used Cooking Vegatable Oils, Energies, 19961073, 14,1, 2021. https://doi.org/10.3390/en14010101.

[15] Guarin, A., Khan, A., Butt, A.A., Birgisson, B., Kringos, N. An Extensive Laboratory Investigation of the Use of Bio-oil Modified Bitumen in Road Construction, Construction and Building Materials, 106,133-139, 2016. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.009.

[16] Nciri, N., Shin, T., Kim, N., Caron, A., Ben Ismail, H., Cho, N. Towards the Use of Waste Pig Fat as a Novel Potential Bio-Based Rejuvenator for Recycled Asphalt Pavement, Materials, 13,4,1002, 2020. https://doi.org/10.3390/ma13041002.

[17] Shi, K., Fu, Z., Song, R.M., Liu, F.L., Ma., F., Dai, J.S. Waste Chicken Fat Oil as a Biomass Regenerator to Restore the Performance of Aged Asphalt: Rheological Properties and Regeneration Mechanism, Road Materials and Pavement Design, 24,1, 191-215, 2023. https://doi.org/10.1080/14680629.2021.2012505.

[18] Mankhi, B.S., Sead, S.A., Kadhim, N.S., Al-Khafaji, Z., Hashim, T.M., Nasr, M.S., Shubbar, A. From Waste to Performance: Advancing Asphalt Recycling with Waste Oil Rejuvenators, Construction Materials, 6,4,40-40, 2026. https://doi.org/10.3390/constrmater6040040.

[19] Abo-Shanab, Z.L., Ragab, A.A., Naguib, H.M. Improved Dynamic Mechanical Properties of Sustainable Bio-Modified Asphalt Using Agriculture Waste, International Journal of Pavement Engineering, 22,7,905-911, 2021. https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1652301.

[20] Abdelmagid, A.A.A., Feng, C.P. Laboratory Evaluation of the Effects of Short-term Aging on High Temperature Performance of Asphalt Binder Modified with Crumb Rubber and Rice Husk Ash, Petroleum Science and Technology, 37,13,1557-1565, 2019. https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1590409.

[21] Mahmi, L.M.J., Muniandy, R., Yunus, R.B., Hasham, S., Aburkaba, E. Effect of Short Term Aging on Organic Montmorillonite Nanoclay Modified Asphalt, Indian Journal of Science and Technology, 6,11,5434-5442, 2013.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND MOISTURE RESISTANCE OF HOT ASPHALT MIXTURES BY USING WASTE FOUNDRY SAND IN BITUMEN MODIFICATION

Assistant Professor, Gizem KAÇAROĞLU

Süleyman Demirel University, gizemkacaroglu@sdu.edu.tr - 0000-0002-5734-7131

ABSTRACT

The utilisation of waste materials as alternatives to natural resources in asphalt production through recycling or reuse can reduce costs while supporting environmental sustainability. This study evaluates the volumetric properties, indirect tensile strength, and moisture resistance of hot asphalt mixtures incorporating waste foundry sand, an industrial by-product with considerable potential but limited application in asphalt mixtures. Firstly, 50/70 penetration grade bitumen was modified with waste foundry sand ground to filler size (<75 μm) at 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% by weight. Following determination of the physical properties of the modified bitumen samples, their suitability for hot asphalt mixtures was assessed according to the Superpave volumetric mix design criteria. The 1.5% waste foundry sand mixture did not meet specified requirements, whereas optimum bitumen contents were determined for the 3%, 4.5%, and 6% mixtures that met the volumetric criteria. Subsequently, indirect tensile strength tests were conducted, and tensile strength ratios were calculated to evaluate moisture resistance. The results showed that waste foundry sand increased bitumen stiffness at lower modification ratios, while the 6% modified bitumen exhibited consistency properties similar to the reference bitumen. Furthermore, the 6% modified mixture demonstrated the greatest improvement in both dry and wet indirect tensile strength. All modified mixtures exhibited higher tensile strength ratios than the reference mixture, with the highest moisture resistance achieved at the 3% modification ratio. The findings demonstrate that waste foundry sand can be successfully utilised in asphalt mixtures, improving mechanical performance while supporting sustainable pavement construction and the effective reuse of industrial waste.

Keywords: Waste foundry sand, Bitumen modification, Superpave mix design, Indirect tensile strength, Moisture resistance, Sustainable pavement

1. INTRODUCTION

Asphalt mixtures are extensively utilised in the construction of pavements due to their ability to offer a practical combination of economic efficiency, flexibility, and relatively easy maintenance [1-4]. However, the production of such materials necessitates substantial quantities of natural resources and non-renewable energy, thereby giving rise to concerns regarding the long-term environmental sustainability of conventional pavement construction

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

practices. This has resulted in an increased demand for alternative materials that can maintain or enhance pavement performance while reducing the consumption of natural resources and energy [5-8]. In parallel, the increasing amount and diversity of solid waste, constrained landfill capacity, and gradual depletion of natural resources have increased the need to recover and reuse discarded materials. The use of waste materials in pavement construction has therefore received growing attention, both to reduce the demand for virgin resources and to address waste management problems. In this context, industrial by-products are particularly attractive because their reuse can reduce the amount of material sent for disposal while providing alternative materials for more resource-efficient pavement construction [7, 9].

Among these industrial by-products, waste foundry sand (WFS) has attracted attention as a potential material for use in engineering applications. Foundry sand is employed in the fabrication of moulds and cores in metal casting, and it becomes waste once it is no longer reusable in the foundry [10, 11]. Significant quantities of WFS are generated annually, particularly by iron and steel foundries. This has given rise to a range of environmental and economic concerns relating to its storage and disposal [9, 12]. These concerns have encouraged researchers to investigate alternative uses for WFS rather than treating it solely as a waste material. The silica-based composition of foundry sand, in conjunction with its relatively fine particle size and similarities to natural sand, makes it suitable for consideration in several engineering applications [9-12]. Consequently, its potential use in road construction and asphalt mixtures has been investigated in several studies [13-17].

Previous studies have analysed the use of WFS as a fine aggregate in asphalt concrete [10, 11, 18]. Evaluations of the volumetric properties and stability of the resulting mixtures have generally indicated that WFS can be incorporated into asphalt mixtures as a partially replacing constituent for conventional aggregates, although the replacement levels have been relatively low. It has been reported that partially replacing the fine aggregate fraction with WFS in hot asphalt mixtures containing cement and limestone powder as mineral fillers resulted in satisfactory values of density, air voids, Marshall stability, and indirect tensile strength ratio when the mixtures were designed utilising the Marshall volumetric mix design procedure [13]. More recently, another study found that hot asphalt mixtures containing WFS required a higher asphalt binder content by mass than corresponding mixtures without WFS when the Marshall volumetric mix design procedure was used [15]. Despite the higher binder demand, the mixtures with and without WFS showed comparable mechanical properties. Most studies in the literature have examined WFS as a partial replacement for fine aggregate or mineral filler in asphalt mixtures using the Marshall volumetric mix design approach. Overall, these studies have reported broadly consistent findings at similar replacement levels [14, 19-22].

As discussed above, although a significant number of previous studies have investigated the use of WFS as a partial replacement for fine aggregate or mineral filler in asphalt mixtures, comparatively little attention has been paid to its potential use as a direct modifier of the asphalt binder. To address this gap in the literature, the present study adopted an alternative approach by incorporating WFS into the asphalt binder phase. Accordingly, 50/70 penetration grade reference bitumen was modified with WFS at dosages of 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% and the physical properties of the modified binders were characterised. The resulting binders were subsequently incorporated into asphalt mixtures to investigate their effects on the volumetric

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

properties, based on the Superpave mix design criteria, as well as on the mechanical performance and moisture resistance of the mixtures.

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL STUDIES

The materials used in this study were 50/70 penetration grade bitumen, aggregates, and waste foundry sand (WFS). The experimental program included bitumen modification, evaluation of volumetric properties using the Superpave mix design procedure, and assessment of mechanical properties and moisture resistance by means of indirect tensile strength (ITS) testing and tensile strength ratio (TSR) analysis.

2.1. 50/70 Penetration Grade Bitumen and Aggregates

A 50/70 penetration grade bitumen was used as the binder. Its fundamental properties were characterized through penetration, softening point, specific gravity, and rotational viscosity measurements, conducted in accordance with TS EN 1426, TS EN 1427, TS EN 15326+A1, and ASTM D4402, respectively. The corresponding test results are presented in Table 1. In addition, limestone aggregates were utilised in the asphalt mixtures that were prepared for the present study.

Table 1. The Physical Properties of 50/70 Penetration Grade Bitumen

Tests	**50/70 Penetration Grade Bitumen**	
Penetration (25 °C)	56	
Softening Point (°C)	50.5	
Specific Gravity (g/cm^3)	1.021	
Rotational Viscometer (cP)	135 °C	165 °C
	445.6	123.1

2.2. Waste Foundry Sand (WFS)

The widespread use of foundry sand in metal casting is associated with several favourable characteristics, such as its availability, relatively low cost, high refractoriness, and compatibility with clay and different inorganic and organic binders. Following their use in mould and core production, these sands are discarded as waste and are commonly referred to as waste foundry sand [11].

In the present study, WFS (Figure 1) was obtained from a metal foundry located in Isparta, Türkiye. Before being incorporated into the bitumen modification process, the WFS was mechanically ground to obtain a filler-sized material with particles finer than 75 μm and subsequently passed through a No. 200 sieve. The 50/70 penetration grade reference bitumen was then modified using WFS with particles finer than 75 μm. The WFS had a specific gravity of 2.58 g/cm^3.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Figure 1. Waste Foundry Sand

2.3. Bitumen Modification

WFS was incorporated into the 50/70 penetration grade bitumen at ratios of 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% by weight. The bitumen modification was performed using a temperature-controlled high-shear mixer at 160 °C for 60 minutes. The mixer speed was maintained at 2000 rpm throughout the process.

2.4. Determination of Volumetric Properties

The suitability of the modified binders for incorporation into hot asphalt mixtures was assessed using the Superpave volumetric mix design criteria, based on the resulting volumetric properties. Superpave is an advanced asphalt mixture design system that considers both traffic and climatic conditions, thereby providing a more performance-oriented and realistic approach to mixture design. In this method, the design number of gyrations (N_{design}) is determined according to the anticipated traffic level. The mixtures were classified under the very high traffic category because the design traffic exceeded 30 million equivalent standard axle loads (ESALs). Accordingly, specimens were prepared using 125 design gyrations (Table 2). Under the Superpave procedure, the target air void content at the design condition is 4%. In addition to this requirement, voids in mineral aggregate (VMA) and voids filled with asphalt (VFA) are considered to be key volumetric criteria, with the applicable limits depending on the traffic level. For mixtures with a nominal maximum aggregate size of 12.5 mm and a design traffic level above 30 million ESALs, as in this study, the required VMA and VFA values are 14% and 65-75%, respectively (Table 2). Once the specified volumetric property criteria are satisfied, the optimum bitumen content for each mixture can be determined, allowing the asphalt mixtures to be prepared using the corresponding optimum content for the subsequent testing procedures.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Table 2. Superpave Mix Design Criteria According to Traffic Level

20-Year Traffic Loading (in millions of ESALs)	Number of Gyrations			Minimum VMA (%)	VFA (%)
	$N_{initial}$	N_{design}	$N_{maximum}$		
≥ 30	9	**125**	205	14	65-75

2.5. Evaluation of Mechanical Properties and Moisture Resistance

For each asphalt mixture containing modified bitumen, six specimens were produced using the optimum bitumen content obtained from the preceding mix design stage and following the requirements of AASHTO T 283. Firstly, all samples were stored at 40 °C for 72 h. Following the initial storage period, three specimens were assigned to the unconditioned group and the remaining three to the conditioned group. The conditioned specimens underwent vacuum saturation followed by freeze-thaw conditioning, while the unconditioned specimens were maintained at 25 °C. Both the conditioned and unconditioned specimens were finally tested for ITS at 25 °C. The ITS results obtained from the two groups were used to calculate the dry and wet ITS values and to determine the TSR, which was used to evaluate the moisture resistance of the mixtures.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section provides a presentation of the results obtained from experimental investigations conducted in the present study.

3.1. Results of Bitumen Tests

The consistency properties of the bitumen samples modified with WFS ratios of 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% are presented in Figure 2. As shown in the figure, the softening point increased slightly, whereas the penetration values decreased as the WFS ratio increased up to 3%. Beyond this level, however, the trend was reversed, and at the highest WFS ratio of 6%, the consistency properties approached those of the unmodified 50/70 penetration grade bitumen. This indicates that WFS caused a slight stiffening of the bitumen at modification levels up to 3%. In addition, the penetration index (PI), which indicates the temperature sensitivity of bitumen, was calculated from the penetration and softening point test results (Table 3).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

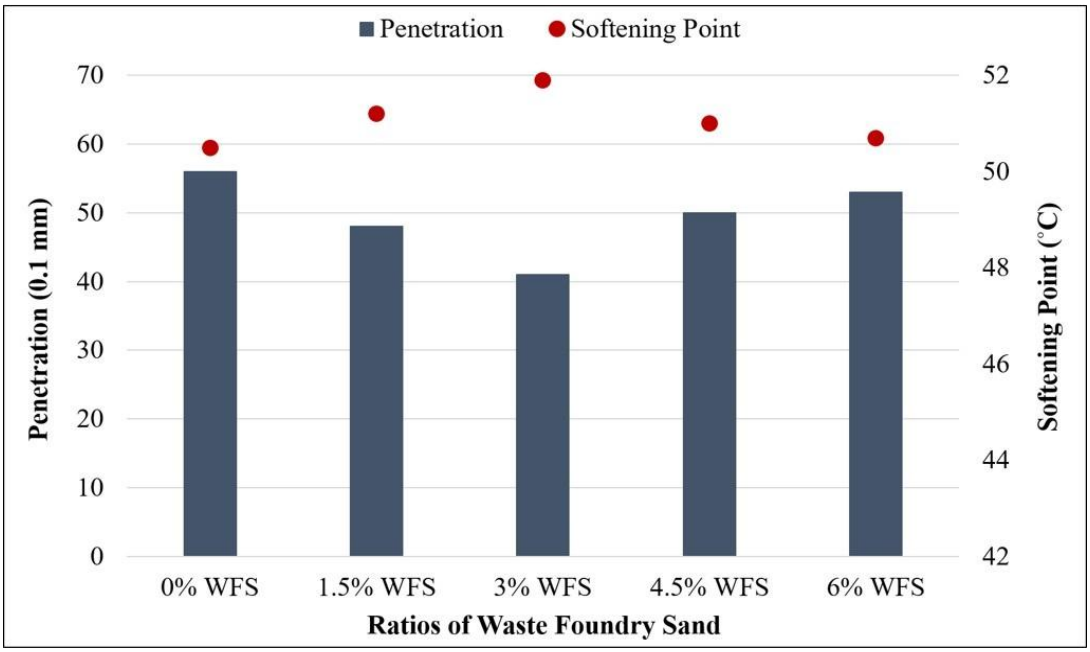


Figure 2. Softening Point and Penetration Test Results of WFS Modified Bitumen

Table 3. PI Values of WFS Modified Bitumen

WFS Ratio (%)	PI
0	-0.82
1.5	-1
3	-1.18
4.5	-0.96
6	-0.90

As presented in Table 3, the PI values initially decreased and subsequently increased with increasing WFS ratio. This trend suggests that the incorporation of WFS up to 3% increases the temperature susceptibility of the modified bitumen, whereas further increases in WFS ratio tend to reduce its temperature sensitivity.

3.2. Evaluation of Volumetric Properties Based on Superpave Mix Design

The volumetric properties of the hot asphalt mixtures prepared using the reference bitumen with a penetration grade of 50/70 and bitumen modified with WFS at ratios of 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% are presented in Figures 3-7. As demonstrated by the figures, when mixture design is conducted considering the 4% air void criterion, all VMA values obtained from the mixtures that are prepared with both reference bitumen and WFS modified bitumen samples are above the 14% (minimum specification limit), indicating that this criterion is satisfied for all mixtures.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

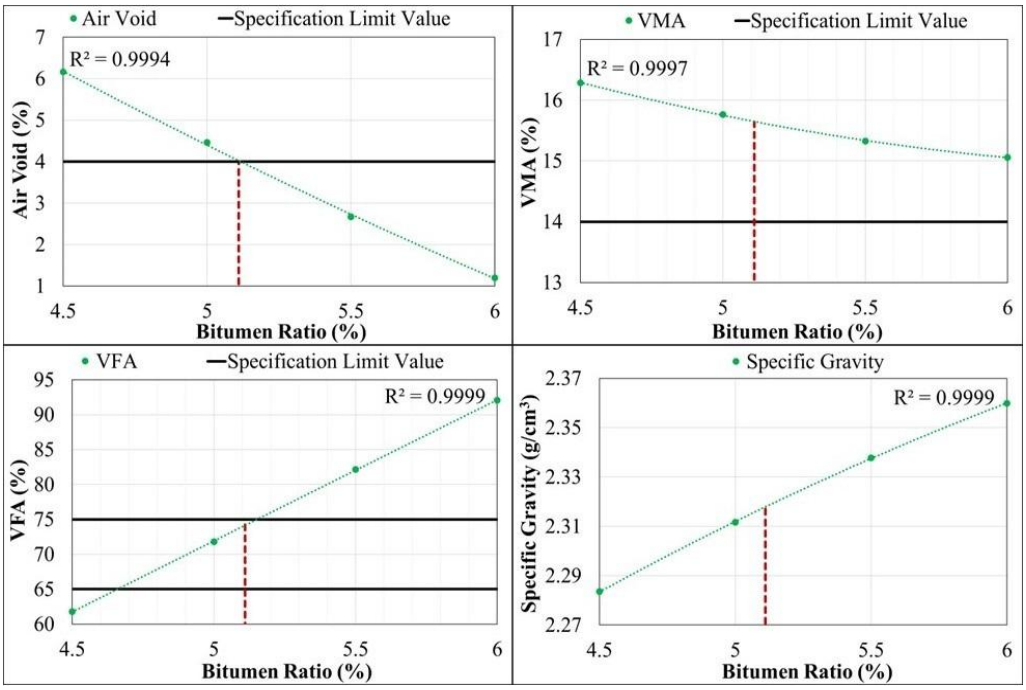


Figure 3. Volumetric Properties of Mixtures with 50/70 Reference Bitumen

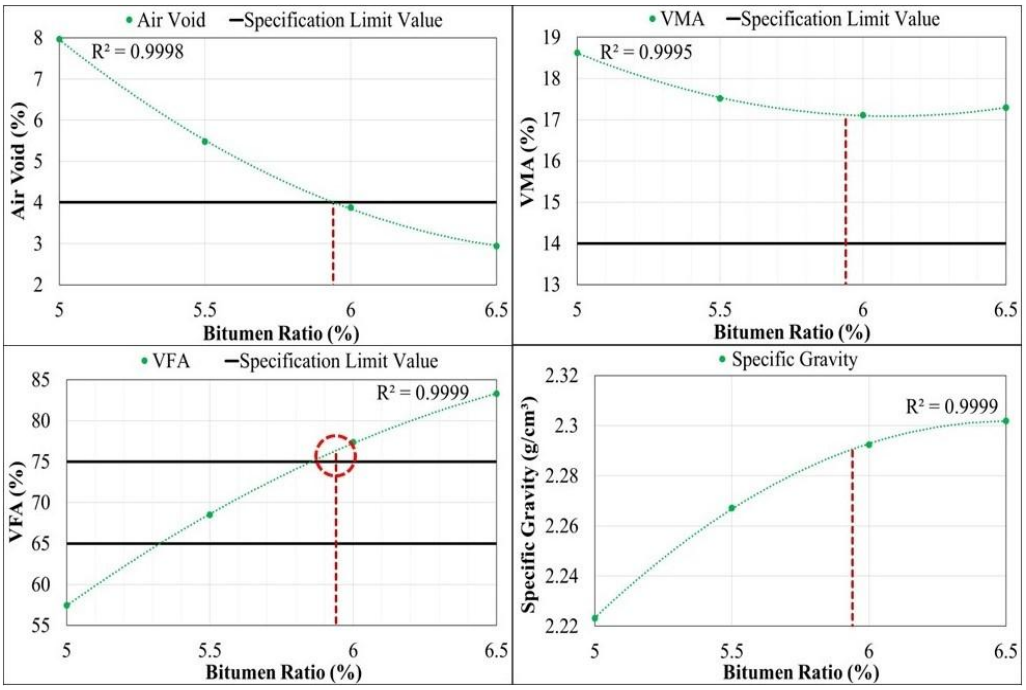


Figure 4. Volumetric Properties of Mixtures with 1.5% WFS Modified Bitumen

However, the same does not apply to VFA, which is required to remain within the range of 65-75%. As shown in Figure 4, the VFA value of the mixtures containing the 1.5% WFS modified bitumen exceeds the upper specification limit of 75%. Therefore, under the conditions considered in the present study, the use of 1.5% WFS in hot asphalt mixtures can be considered volumetrically unsuitable, and an optimum bitumen content cannot be determined for this WFS modification level.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

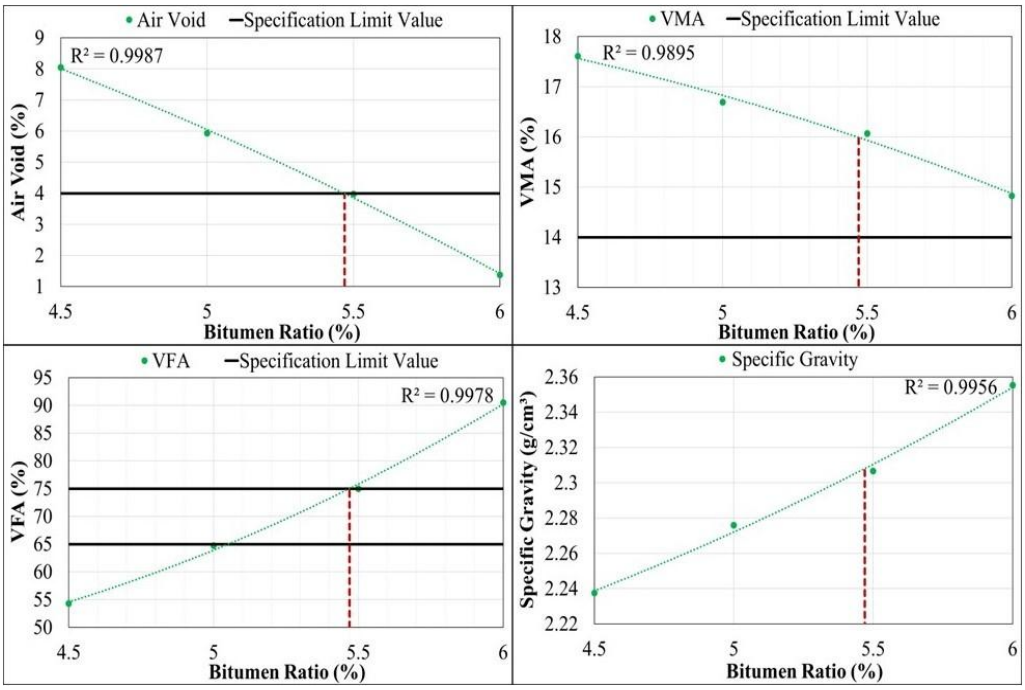


Figure 5. Volumetric Properties of Mixtures with 3% WFS Modified Bitumen

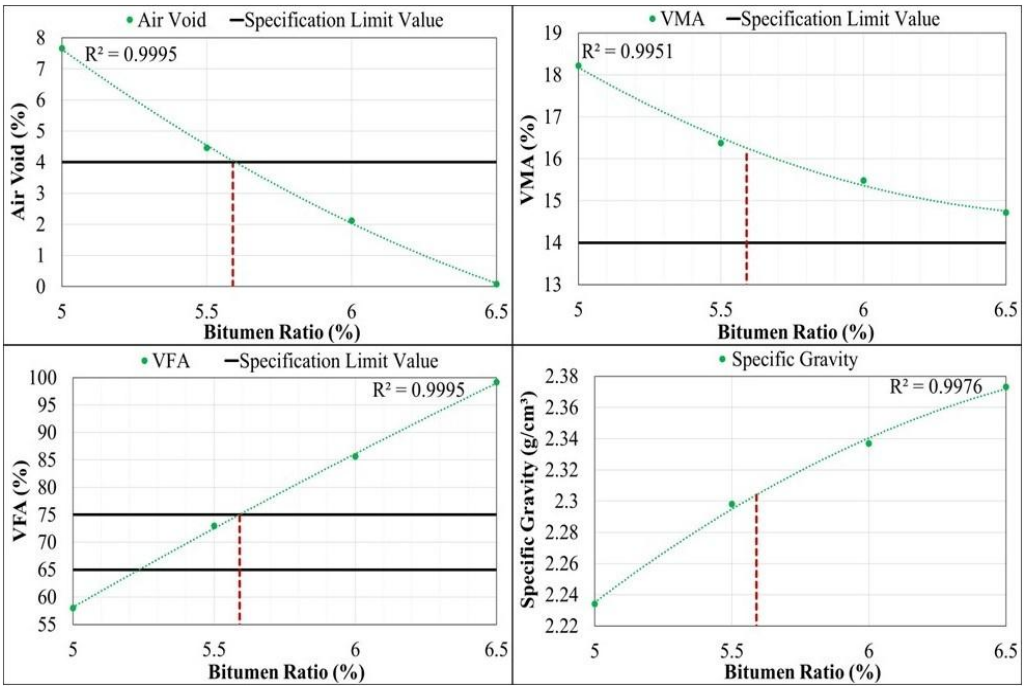


Figure 6. Volumetric Properties of Mixtures with 4.5% WFS Modified Bitumen

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

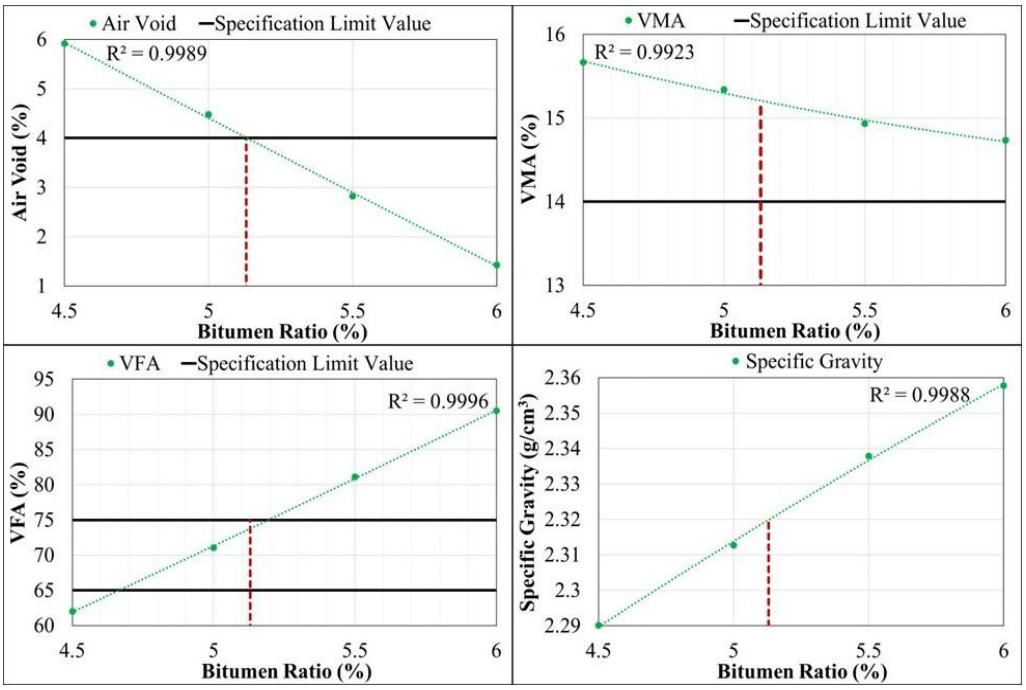


Figure 7. Volumetric Properties of Mixtures with 6% WFS Modified Bitumen

As the specification criteria were satisfied for the other mixtures, the optimum bitumen contents were determined, and the corresponding values are presented in Figure 8. Accordingly, the optimum bitumen content exhibited an increasing trend with increasing WFS ratio up to 4.5%. However, when the WFS ratio was increased to 6%, the optimum bitumen content decreased compared with that obtained at the 4.5% WFS ratio and reached the same level as that determined for the reference bitumen.

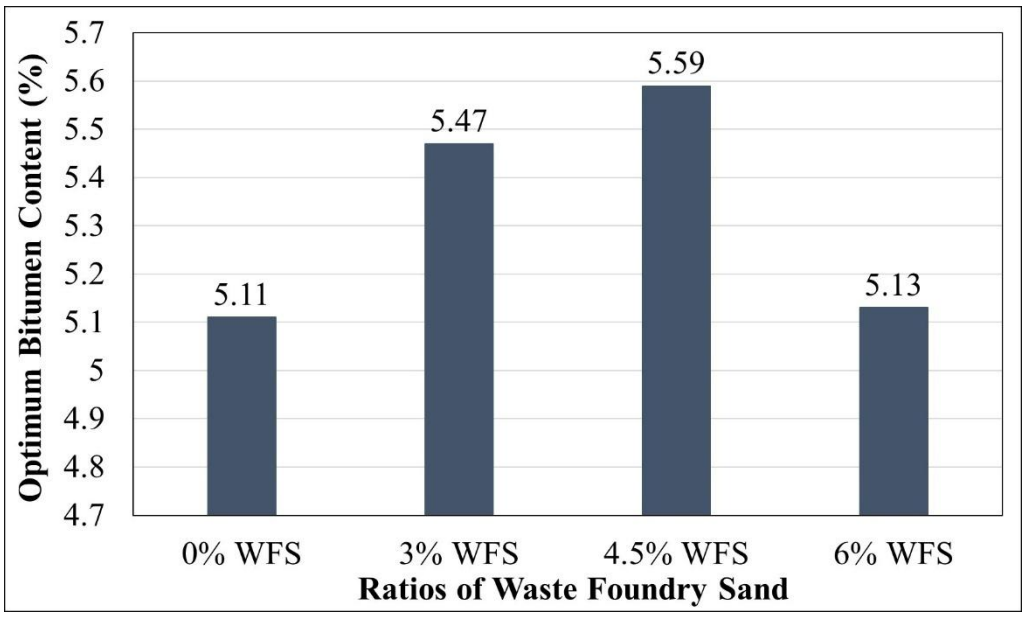


Figure 8. Optimum Bitumen Contents of Asphalt Mixtures

3.3. Assessment of Mechanical Properties and Moisture Resistance

The results of the ITS tests performed on the reference, 3%, 4.5%, and 6% WFS hot asphalt mixtures are presented in Figure 9. As demonstrated in the associated figure, the incorporation of WFS led to a clear improvement in the ITS of the mixtures under both dry and wet conditions. This increase was observed in all investigated WFS ratios when a comparison was made with the reference mixture. The magnitude of the improvement varied with the WFS ratio. The mixture containing 6% WFS showed the highest dry and wet ITS values among the mixtures tested. The tensile strength ratios, calculated as the ratio of wet to dry ITS values and indicative of the resistance of the mixtures to moisture-induced damage, are presented in Figure 10.

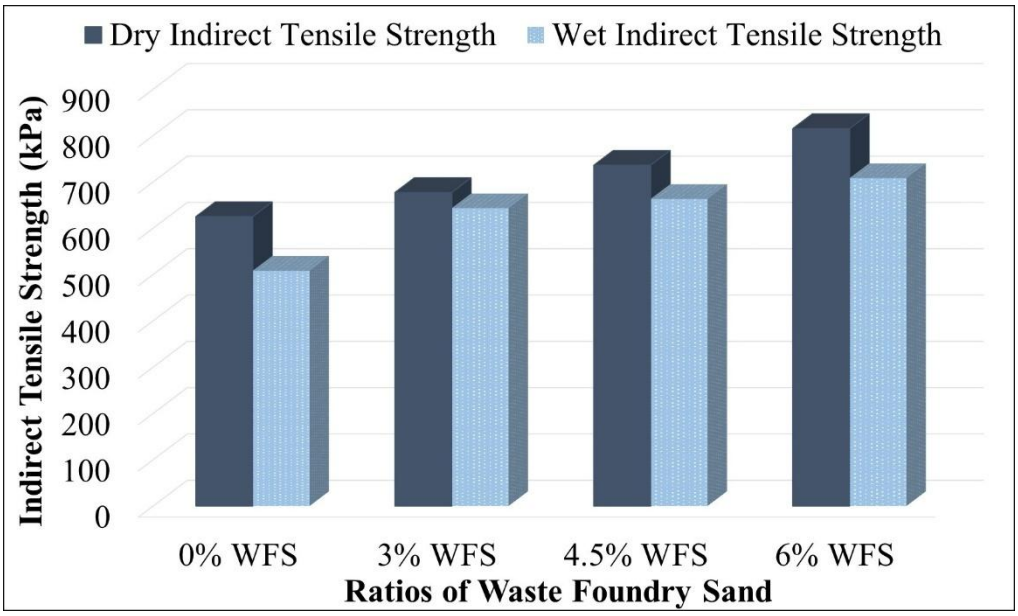


Figure 9. Dry and Wet ITS Results of Asphalt Mixtures

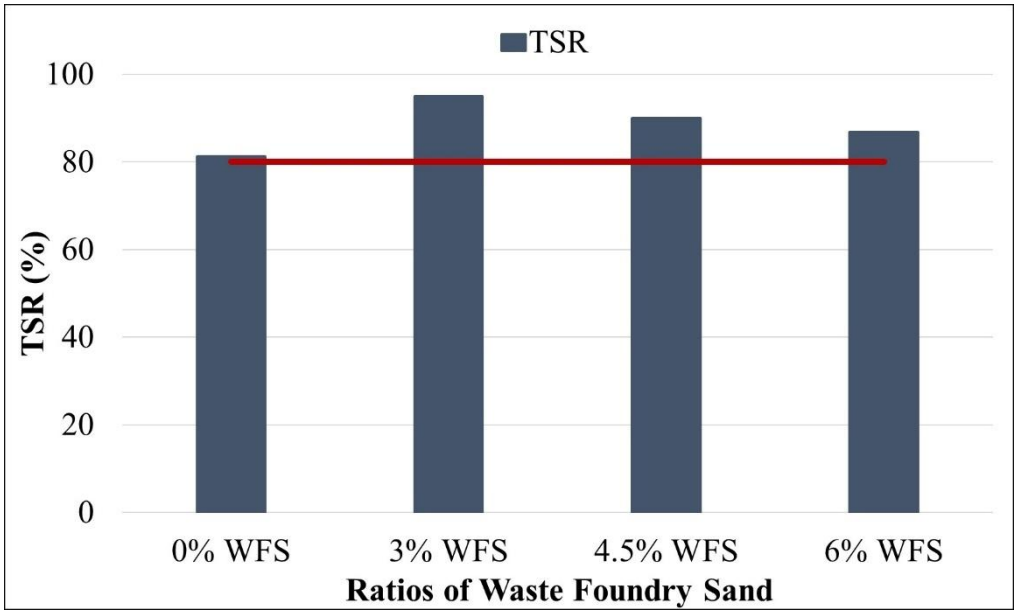


Figure 10. TSR Results of Asphalt Mixtures

TSR findings show that introducing WFS improved the resistance to moisture-induced damage of the hot asphalt mixtures. All modified mixtures had higher TSR values than the reference mixture. As shown in Figure 10, the mixture containing 3% WFS had the highest TSR value, indicating the greatest resistance to moisture-induced damage among the mixtures tested. Considering the volumetric properties, strength, and moisture resistance together, the 3% WFS ratio provided the most balanced overall performance and can therefore be regarded as the most favourable modification level.

4. OVERVIEW AND CONCLUSIONS

In the present study, 50/70 penetration grade reference bitumen was modified with 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% WFS, and the suitability of the modified binders for asphalt mixtures was evaluated using volumetric criteria and mixture performance. The mixtures were also examined based on their indirect tensile strength and resistance to moisture-induced damage. Overall, adding WFS improved the mechanical performance and resistance to the moisture of asphalt mixtures. When the volumetric requirements, strength, and moisture resistance were considered together, the 3% WFS ratio provided the most balanced overall performance and can be regarded as the most favourable modification level. The increases in tensile strength and moisture resistance also show that WFS has potential as an additive for improving asphalt mixture performance. In addition, using WFS in asphalt mixtures provides a potential waste management benefit by reducing the amount of foundry waste requiring disposal and enabling the reuse of an industrial by-product. The use of WFS as a bitumen modifier may, therefore, potentially contribute to the construction of more durable and environmentally responsible asphalt pavements.

REFERENCES

[1] Mansour, W., Ashraf, D., Basha, A. Evaluating the impact performance of environmentally friendly asphalt concrete slabs containing different proportions of recycled concrete aggregate and corrugated steel fibers, International Journal of Concrete Structures and Materials, January, 19, 1, 2025. https://doi.org/10.1186/s40069-024-00742-4

[2] Ramroop, V., Leon, L., Maharaj, C. Optimising crumb rubber integration in hot mix asphalt, Journal of Sustainability Research, June, 7, 2, 2025. https://doi.org/10.20900/jsr20250041

[3] Imoh, U. U., Apata, A. C., Raji, S. O., Adeboje, A. O., Babafemi, A. J., Rad, M. M. Mechanical and microstructural performances of hot-mix asphalt modified with recycled polyethylene terephthalate, Results in Engineering, March, 29, 109572, 2026. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109572

[4] Sun, Y., Tao, Z., Hou, R., Wen, L. Dynamic assessment of life cycle carbon emissions and economic benefits of surfactant foam warm recycled asphalt pavement, Environmental Impact Assessment Review, January, 116, 108092, 2026. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108092

[5] Kamaruddin, N. M., Hainin, M. R., Hassan, N. A., Abdullah, M. E., Yaacob, H. (2014). Evaluation of pavement mixture incorporating waste oil, Jurnal Teknologi, October, 71, 3, 2014.

[6] Liu, Y., Liu, Z., Zhu, Y., Zhang, H. A review of sustainability in hot asphalt production: Greenhouse gas emissions and energy consumption, Applied Sciences, November, 14, 22, 2024. https://doi.org/10.3390/app142210246

[7] Decký, M., Remišová, E., Samek, M. Research on the possibilities of reusing mixed reclaimed asphalt materials with a focus on the circular economy, Applied Sciences, November, 15, 22, 2025. https://doi.org/10.3390/app152212004

[8] Pan, Q., Zhao, Y., Cabrera, M. B., Hu, J., Song, X., Zha, X., Tan, Y. Performance Analysis of Cold-Mixed Integrated Semi-Flexible Pavement Mixtures, Materials, April, 19, 9, 2026. https://doi.org/10.3390/ma19091757

[9] Dyer, P. P., de Lima, M. G. Waste foundry sand in hot mix asphalt: A review, Construction and Building Materials, December, 359, 129342, 2022. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129342

[10] Javed, S., Lovell, C. W., Wood, L. E. Waste foundry sand in asphalt concrete, Transportation Research Record, 1994.

[11] Bakis, R., Koyuncu, H., Demirbas, A. An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures, Waste Management & Research, June, 24, 3, 2006. https://doi.org/10.1177/0734242X06064822

[12] Yazoghli-Marzouk, O., Vulcano-Greullet, N., Cantegrit, L., Friteyre, L., Jullien, A. Recycling foundry sand in road construction–field assessment, Construction and Building Materials, June, 61, 2014. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.055

[13] Joni, H. H., Zghair, H. H. Effect of adding used-foundry sand on hot asphalt mixtures performance, Eng. & Tech. Journal, March, 34, 6, 2016.

[14] Abdulsattar, Z. A., Mohammed, E. A. Effect of waste foundry sand on indirect tensile strength of asphalt mixture, Journal of Engineering and Sustainable Development, July, 22, 4, 2018. https://doi.org/10.31272/jeasd.2018.4.9

[15] Dyer, P. P., de Lima, M. G., Klinsky, L. M. G., Silva, S. A., Coppio, G. J. Environmental characterization of Foundry Waste Sand (WFS) in hot mix asphalt (HMA) mixtures, Construction and Building Materials, May, 171, 2018. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.151

[16] Dyer, P. P., Coppio, G. J., Silva, S. A., Cividanes, L. S., Klinsky, L. M. G., de Lima, M. G. Mechanical and microstructural assessments of waste foundry sand in hot mix asphalt, Construction and Building Materials, December, 311, 125329, 2021. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125329

[17] Aktaş, B., Karabel, Ü. B. Investigation of waste foundry sand as an eco-friendly fine aggregate replacement in asphalt concrete, Journal of Ceramics and Composites, August, 1, 2, 2025.

[18] Javed, S., *Use of Waste Foundry Sand in Highway Construction*, Doctor of Philosophy Thesis, Purdue University, Indiana, 1994.

[19] Shuaibu, A. A., Otuoze, H. S., Mohammed, A., Lateef, M. A. Properties of asphalt concrete containing waste foundry sand (WFS) as filler material, Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment, September, 15, 3, 2019.

[20] de Souza Campelo, N., da Costa, K. J. S., Vieira, R. K., Vieira, A. K., *Use of Waste Foundry Sand (WFS) as Filler in Hot-Mixed*, Sandy Materials in Civil Engineering: Usage and Management, 49, 2020.

[21] Supriya, C. B., Prakash, J., Mallesh, T. V., Manjunath, B. H. Comparative Study on Marshall Properties of Bituminous Concrete with Partial Replacement of Fine Aggregate by Waste Foundry Sand, July, 2, 2, 2020.

[22] Ravishankar, C., Nagakumar, M. S. Laboratory investigations on bituminous concrete mixtures utilizing foundry sand. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, January, 12, 1, 2023. https://doi.org/10.7770/safer-V12N1-art2762

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KÜTAHYA'DAKİ KÜÇÜK ÖLÇEKLİ MOBİLYA ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ÇALIŞANLARIN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNE İLİŞKİN ALGILARI

Prof. Dr. Hamza ÇINAR

Gazi Üniversitesi, hamzacinar@gazi.edu.tr - 0000-0003-2607-852X

Selim KILIÇARSLAN

Gazi Üniversitesi, selimkilicarslan43@gmail.com - 0000-0003-2662-1641

ÖZET

Giriş ve Amaç: İş sağlığı ve güvenliği tüm işyerleri için çok önemlidir. Bu, çalışanları işleri sırasında karşılaşabilecekleri tehlikelerden ve risklerden korumak anlamına gelir. Mobilya imalatı, çalışanların kesme ve delme makineleri kullanmaları ve ahşap tozu, gürültü ve kimyasallara maruz kalmaları nedeniyle birçok risk içeren bir sektördür. Bu nedenle, mobilya sektörü mevzuat kapsamında tehlikeli sektör olarak sınıflandırılmıştır. Küçük işletmelerde sağlık ve güvenlik önlemleri genellikle yetersizdir ve bu işyerlerinde birçok iş kazası meydana gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, Kütahya'daki küçük ölçekli mobilya imalat işletmelerinde çalışanların iş sağlığı ve güvenliği algı düzeylerini belirlemektir. Bu amaca ulaşmak için veri toplama aracı olarak bir anket kullanılmıştır. Anket, yedi farklı işletmede 50 çalışana uygulanmıştır. Anketin ilk bölümü çalışanların demografik bilgilerini, ikinci bölümü ise beş puanlık Likert ölçeği kullanılarak algılarını içermiştir. Veriler, frekans ve yüzde gibi tanımlayıcı istatistikler kullanılarak analiz edilmiş ve çapraz tablolar ile çalışma değerlendirilmiştir. Çalışmanın Sonuçlarına göre, tüm çalışanlar erkekti ve %74'ü evli ve çoğunluk olarak %46'sı lise mezunuydu. İşçiler, elektrik güvenliği ve makine güvenliği gibi somut önlemlere ilişkin olumlu algılara sahip olduklarını belirtmişlerdi. Bu önlemlerin kendilerini koruduğunu, eğitim ve organizasyon gerektiren konulara ilişkin algıları olumsuz olduğunu ayrıca belirtmişlerdi. Örneğin, güvenli çalışma kılavuzlarını, yangın tatbikatlarını, acil durum tatbikatlarını veya ilk yardım düzenlemelerini yeterli görmüyorlardı. Sonuç olarak, bu küçük işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği çoğunlukla fiziksel önlemler olarak görülürken, eğitim ve organizasyon ihmal edilmektedir. Bu nedenle, eğitimin artırılması ve eksik uygulamaların tamamlanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği; Mobilya imalatı; Algı düzeyi; Küçük ölçekli işletme; Kütahya

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ÜNIVERSITE KAMPÜSLERINDE PEYZAJ TASARIMLARININ ÖĞRENCILERIN PSIKOLOJIK YÖNDEN İYI OLUŞLARINA ETKISININ İNCELENMESI

Peyzaj Mimarlığı Yüksek Lisans, DİLARA KAYALI
Bursa Uludağ **Üniversitesi502530008@ogr.uludag.edu.tr-**
0009-0001-8172-8233
Prof. Dr. ELVAN ENDER ALTAY
Bursa Uludağ Üniversitesi, **elvanender@uludag.edu.tr-**
0000-0001-5933-1611

ÖZET

Üniversite yaşamı öğrencilerin akademik başarı hedefleri doğrultusunda yoğun çalışma süreci, rekabet ve çeşitli sosyal uyum döngüsü nedeniyle stres ve kaygı bozukluğu yaşayabildikleri bir dönemdir. Bu durum öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Araştırmalar, öğrencilerin iyi oluşlarının sağlanmasında kampüs çevresinin ve özellikle yeşil alanların önemli bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada üniversite kampüslerinde yer alan peyzaj tasarımlarının öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşları üzerindeki etkileri literatür kapsamında çeşitli makaleler dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada öncelikle üniversite ve kampüs kavramları ele alınmış, kampüslerin yalnızca eğitim ve öğretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği alanlar olmadığı; aynı zamanda öğrencilerin sosyal hayatlarını sürdürdüğü, dinlendiği, fiziksel aktivite yaptığı yaşam alanları olduğu vurgulanmıştır. Bu doğrultuda kampüs tasarımının öğrencilerin yaşam kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında kampüs peyzajı; yeşil alan varlığı, bitkisel tasarım, erişilebilirlik, dinlenme alanları ve rekreasyon alanları olmak üzere 5 temel ölçüt üzerinden incelenmiştir. Literatür bulguları, yeşil alanlarla etkileşimin stres seviyesini azalttığını ve öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşlarını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bitkisel çeşitlilik açısından nitelikli peyzaj tasarımlarının mekansal kaliteyi yükselttiği, erişilebilir açık alanların kampüs kullanımını ve öğrenci etkileşimini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca sosyal alanlar ve rekreasyonel aktivitelerin öğrencilerin sosyalleşmesine ve aidiyet duygusunun gelişmesine katkı sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak öğrenci odaklı ve sürdürülebilir kampüs tasarımlarının öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşlarını desteklediği, yaşam kalitelerini arttırdığı ve üniversite deneyimini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kampüs peyzajı, Öğrenci iyi oluşu, Üniversite kampüsleri, Yeşil alanlar

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. GİRİŞ

Üniversite öğrencileri zamanlarının büyük bir dilimini bilimsel araştırma ve öğrenme ağırlıklı geçirirler bu durum emek ve motivasyon gerektirir (Lu M, Fu J.,2019). Fakat üniversitede geçirilen eğitim ve öğretim süreci çoğu öğrenci için zorlu ve bir gelişim süreci olmasından kaynaklı streslidir ve stres geri plana atılabilecek bir ruh hali değildir. Stres öğrencileri psikolojik, fizyolojik ve sosyolojik ilişkileri açısından negatif beslemektedir (Hipp, JA ve Ark,2016). Üniversitelerin öğrencilerden doğru ve etkili verimi alabilmesi, öğrencilerin iyi oluşları ile doğrudan ilişkilidir. İyi oluşlarını sağlamanın ve stres seviyelerini azaltmanın en önemli, üzerinde durulması gereken yolu ise üniversitenin içinde bulunduğu, bir öğrenci yerleşkesi olan kampüs alanlarından geçmektedir. Kampüs alanlarının doğru planlanması ve yeşil alan miktarı, öğrencilerin üniversite ile kurduğu bağı destekler ve iyi oluşlarına fayda sağlamaktadır. Araştırmalar gösteriyor ki doğal ve yeşil alanlarla kurulan etkileşim, insan sağlığını ve huzurunu doğrudan etkileyen faktörlerdir; çevre psikolojisi alanında yapılan çalışmalarda bu konuyu desteklemektedir. Yeşil alanlarda geçilen temas, stres kaynaklı yorgunluğa iyi gelmektedir (E.holt ve Ark,2019).

Seminer konusu bakımından Kampüs alanlarında peyzaj tasarımlarının öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik yönden iyi oluşlarına etkisi incelenmiştir. Üniversite hayatında okul, idare, yurt ve sosyal erişimlerin bulunduğu yerleşke olan kampüs içerisinde bulunan yeşil alanların ve peyzaj tasarımlarının doğrudan öğrenci ile kurduğu etkileşim ve bütünsel sağlık ele alınmıştır.

İyi yaşam, anlarla kısıtlı olmamakta; insan ömrünü izleyen tüm süreçleri kapsamaktadır. Her bireyin yaşamını doğru ve kaliteli sürdürmesi gerekir ve bu bakış açısını sürdürülebilir kılmak, eğitim ile sağlanmaktadır. Başarılı bir eğitim, bugünün gençlerini, yarının geleceğini refah içinde yaşatmak için değerli bir faktördür. Üniversitelerde verilen eğitimler ve yüksek yaşam standartları bu açıdan çok değerlidir. Eğitimde birebir yaşayarak kazandırılan standartlar, geleceğinde olumlu şekillenmesini destekleyecektir (Oktay E ve Ark,2019). Buradan yola çıkarak, öğrencilerin iyi oluşlarının üniversitedeki yaşam alanları olan kampüslerde ne kadar ve nasıl sağlanabildiği hakkında görüşleri incelemek, öneriler getirmek ve gelecekte yüksek yaşam standartlarına sahip bireyler mezun etmek amacıyla yola çıkılmaktadır.

2. ARAŞTIRMA SORULARI

2.1. Üniversite Yalnızca Eğitim-Öğretim Midir?

YÖK (Yükseköğretim Kurulu) mevzuatına göre üniversite; bilimsel özerkliğe sahip, üst düzeyde eğitim-öğretim, bilimsel araştırma, yayın ve danışmanlık yapan; fakülte, enstitü, yüksekokul gibi birimlerden oluşan akademik bir kurumdur. Uğurluya göre Üniversite sorgulayan insanlar geliştiren, akademik başarı ve azmin ortaya konduğu uzmanların projelerini rahat bir şekilde planladığı ve uyguladığı, toplum ile bağlantılı olan bilimsel tabanlı bir kurumdur (Uğurlu,2018). Üniversiteler belirli standartların üzerinde kaliteli ve donanımlı bireyler yetiştirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda yürütülen araştırma faaliyetleri, akademik

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

veriyi koruma, çoğaltma ve kullanımını destekleyerek insanlığa fayda sağlamayı hedeflemektedir (Güçlü ol,1996; Erdem A. R,2003).

Üniversite kavramı, birçok kişi ve kurum tarafından benzer ama farklı şekillerde ifade edilmektedir; çünkü üniversite, kurulduğu tarihten günümüze değişmiş, dönüşmüş ve gelişim kaydetmiştir (Uğurlu, 2018). Fakat istenilen başarı ve azim, öğrencilerin psikolojik açıdan iyi oluşları ile doğrudan etkilidir. Psikolojik sağlığı ve iyi oluşları desteklenmeyen bireyler, doğru eğitim-öğretimle dahi istenilen verimi sağlayamamaktadır. Anlaşıldığı üzere, üniversite kavramına yalnızca eğitim ve öğretim görülen bir mekân doğrultusunda bakmak, kavramın anlamında kısıtlamaya sebep olmaktadır.

2.2. Kampüs Nedir ve Ne Olmalıdır?

Üniversite kampüsleri, akademik sürecin yaşandığı, eğitim ve öğretim alınan; barınma, dinlenme, sosyalleşme gibi yaşamsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği, Kent içinde küçük yerleşkelerdir (Sağlık, E., Sağlık, A. & Temiz, M.,2020). Üniversiteler, eğitim ve araştırma odaklı olup öğrenciler için kampüs içerisinde çeşitli fırsatlar sunmaktadır. En önemlisi, öğrencileri psikolojik ve sosyolojik açıdan iyileştirmeyi ve geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Üniversite, sadece eğitim yapılarının olduğu mekân olarak algılanmamalıdır. Kampüs içerisinde bulunan açık ve kapalı her mekân, birbiri ile ilişkilidir ve kampüse hizmet etmektedir (Salihoğlu, T. et al,2021). Kampüs yerleşkelerinin konum, büyüklük, yeşil alanlar gibi birçok yönden değerlendiriliyor olması, içerisinde barındırdığı insan kitlesinin hayat kalitesini arttırmaya yönelik bir adımdır. Sağlıklı bireyler yetiştirmesi gereken bu eğitim mekanizması, sadece dersler kapsamında istediklerini sağlayamamaktadır.

Çalışmalar gösteriyor ki, kampüs içerisinde yeşil alanlara erişimi daha kolay olan ve yeşil alan miktarının üst düzey algılandığı, bu alanlarda etkin zaman geçiren öğrencilerin yaşam doyumları daha fazladır (Mc Farland ve ark.,2008, Akpınar,2019). Kampüs alanları, öğrencilerin yaşam standartlarını yükseltmeli ve fizyolojik ile sosyolojik açılardan iyi oluşlarına katkı sağlamalıdır.

2.3. Kampüs Tasarımı ve Mekan İlişkisi

Üniversite kampüsleri akademik ve idari personeller, lisans ve lisansüstü öğrenci profilleri ile kurumsal oluşum, kültür ve akademik yaşamı içinde barındırır. Buradan yola çıkarak kampüs içi tasarım; kentsel açık alanlarında içerisinde barındırdığı yeme-içme, barınma, serbest vakit geçirme, sosyalleşme gibi faaliyetleri sağlamayı amaçlamalıdır (Sağlık, E., Sağlık, A. & Temiz, M.,2020). Ayrıca Kampüs yalnızca yaşamsal faaliyetler demek değil öğrencilik hayatının geçtiği 4 yıl ila daha fazdaki süre zarfında öğrencilerin aktif zaman geçirdiği ve anı biriktirdiği mekanlardır (Yılmaz,2015).

Kampüs tasarımını şekillendiren ilkeler düşünüldüğünde; doğal yeşil alanlar, mekânın kullanıcı kitlesine verimi ve kaliteyi hissettirmek, görsel açıdan etkileyici alanlar sunmak olarak ifade edilebilir (Yılmaz,2015). Öğrencilerin kampüs içerisinde yürüyüş, koşu, spor aktiviteleri, ders çalışma, serbest zaman geçirme faaliyetlerini gerçekleştirebilecekleri aktif ve pasif alanlar bu doğrultuda tasarlanmalıdır (Yılmaz,2015; Sağlık, E., Sağlık, A. & Temiz, M., 2020).

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

2.4. Yeşil Alan Nedir?

İnsan, var olduğu günden son güne doğanın kaynaklarını kullanan ve doğa ile varlığını sürdüren canlıdır. Yaşarken doğayı da yaşatması gerekendir. Araştırmalar gösteriyor ki doğanın içinde var olmak ve yeşil ile etkileşimde bulunmak bütünsel sağlığı gözetir ve insanlığa fayda sağlamaktadır (Akpınar,2019).

Yeşil alan varlığı betonlaşmanın getirdiği tek düzelik ve tahribatın önüne geçebilmek adına son dönemlerde daha önemli hale gelmiştir. Yeşil alanlar yaşam standartlarını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Yeşilin ulaşılabilirliği ve erişimde mesafe ölçütü ile iyi olma halinin bağlantılı olduğu görülmüştür (Stigsdotter ve ark., 2010, Akpınar,2019). Doğaya erişimi kolay olan insanların erişimi az olan insanlara kıyasla ev, okul, iş ve sosyal hayatlarında daha mutlu ve sağlıklı oldukları anlaşılmaktadır (Mc Farland ve ark.,2008, Akpınar,2019).

2.5. Kampüs Peyzajı ve Öğrenci İyi Oluşu ilişkisi

Üniversite öğrencileri eğitim süreçlerinde duygusal olarak yoğun ve rekabet içerisinde hissedebilmektedirler. Elde edilen sonuçlar yeterli gelmediğinde ise hayal kırıklığı yaşamaktadırlar. Oluşan duygusal iniş çıkışlar kaygı problemlerini meydana getirmektedir. Araştırmalar her ne kadar orta düzey kaygının rekabet düzeyini ve çalışma verimini arttırdığını gösterse de devam eden ve artan kaygı problemleri bireylerin psikolojik ve fizyolojik sağlığını olumsuz etkiler. Bu durum sağlık ve kişisel gelişim açısından istenmeyen bir durumdur (Wang ve Ark,2022).

Doğru ve etkili tasarlanmış kampüs açık alanları üniversitede eğitim gören öğrencilerin yaşam standartlarını iyileştir, doğal unsurlarla kurulan etkileşim stres düzeylerinin azalmasına katkı sağlar ve öğrencilerin fiziksel ve zihinsel olarak olumlu etkilenmesini amaçlamalıdır (Yılmaz,2015; McFarland ve ark.,2008). Öğrencilerin doğa ile kolaylıkla etkileşim kurabilmeleri, kaygıdan uzaklaşmaları için en etkili yoldur (Wang ve Ark,2022).

Fakat birçok kampüste sadece peyzaj etkisi önemsenmektedir ve öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşları dikkate alınmamaktadır ve bu nedenle kampüslerin öğrencilerin iyi oluşlarına etkisi üzerinden iyileştirilmeleri gerekmektedir (Wang ve Ark,2022).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Materyal kapsamında, üniversite kampüslerinde yer alan peyzaj tasarımları öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşları açısından önemi literatür ile araştırılmıştır. Bu doğrultuda kampüs peyzajı; yeşil alan varlığı, bitkisel tasarım, erişilebilirlik, dinlenme alanları ve rekreasyon alanları gibi çeşitli ölçütler üzerinden ele alınmıştır.

3.1. Kampüs Peyzaj Tasarımının Değerlendirme Ölçütleri

3.1.1.Yeşil Alan Varlığı

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Yeşil alan varlığı Kampüs içerisinde yer alan çim alanlar, çalılar, ağaçlar ve diğer bitkisel düzenlemeleri içermektedir. İnsan kullanımına doğrudan veya dolaylı olarak olanak sağlayan bitki örtüsüyle kaplı açık alanları kapsamaktadır (Demirkan,2019; Fratini ve Marane,2011). Yeşil alanlarla geçirilen en kısa süreler bile (10-20 dk) kent içerisinde geçirilen zamana kıyasla, Üniversite dönemindeki bireylerin iyi oluşlarına katkı sunmaktadır (Alves ve ark. 2021; Colding ve Barthel,2017). Ayrıca depresyon ve stresle ilgili davranış şekilleri ile yeşil alanlar arasındaki bağlantılar, tercih edilen yeşil alan çeşidine göre değişkenlik gösterebilmektedir (Yang ve Ark, 2021; Giles-Corti B, ve Ark,2005).

3.1.2.Bitkisel Tasarım

Kampüs peyzajında tercih edilen ağaç, çalı, yer örtücü bitki türlerinin çeşitliliği ve tasarımını ifade etmektedir. Bitkisel tasarım; mevsimsel faktörler, renk, doku ve görsel bütünlük açısından mekansal kaliteyi arttırarak kullanıcılara estetik ve işlevsel alanlar sunmaktadır. Kampüs içinde bitkisel tasarım, kampüsü kullanan bireylere dört mevsim boyunca ekolojik ve estetik olarak fayda sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (OğuzTürk ve Ark. 2025; Kılıçaslan ve Dönmez,2016). Bu açıdan her bitkinin her dönem farklı şekilde alana etki etmesi ve yıl boyunca yeşil alanların yaşamını devam etmesi ile sürdürülebilir bir alan sunmalıdır (OğuzTürk ve Ark.,2025; Acar ve Oğuztürk,2024).

3.1.3.Erişilebilirlik

Öğrencilerin kampüs içerisinde yer alan yeşil ve açık alanlara kolay ve hızlı bir şekilde ulaşabilme durumunu ifade etmektedir.

İnsanlar dış mekanlarda aktif bir şekilde ulaşım ve erişim sağlayabilmelidirler. Fiziksel alanlarda erişilebilirlik kavramı; tasarımda kriterlere göre; alan ölçeği, topografya, büyüklük, döşeme çeşitleri, donatılar, yönlendirici işaretler olarak 6 başlık altında erişimden bahsedilebilmektedir (Çorbacı ve Ark,2020; Andaç, 1997; Altay Baykan, 2007).

Mekanlar arası yürüme mesafesinin uygun olması, bağlantılı yolların sürekliliğinin olması ve engelsiz erişimin olması kampüs alanının kullanımını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Çevre planlamasında herkes için eşit olanakların sağlanabilmesi erişilebilirliğin sağlanabilmesine bağlıdır. Kampüsler çeşitli kullanıcılara hizmet etmelidir ve bütün bireyler için alanların, donatıların kullanılabilir ve erişilebilir olması önemlidir. Bu kapsamda kampüs tasarımları bütünü ele almalı, geliştirilebilir olmalı ve erişilebilirliği sağlaması bir zorunluluktur (Ö. Yerli ve S. Özdede,2017).

3.1.4. Dinlenme alanları ve Donatılar

Yoğun ders süreçlerinden sonra öğrencilerin huzur bulabileceği yoğun ses olmayan ve gölge alanları ifade etmektedir. Bu alanlar zihinsel dinlenmeyi destekleyerek stres seviyesinin azalmasına yardımcı olmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Açık kullanım alanları kent içerisinde yaşamın temelini ve çeşitliliğini oluşturan, insanları buluşturan ve mekansal deneyimler yaşanmasına olanak veren alanlardır. Kampüsler de içerisinde bu açık alanları barındıran sistemlerdir (Gülen,2021; Bakan & Konuk,1987; Canbay Türkyılmaz & Sarıgül,2019). Buradan yola çıkılarak kampüs alanlarında tercih edilen donatılarında kampüsü kullanan tüm kullanıcılar düşünülerek ihtiyaçlar bazında tasarlanması gerekmektedir.

Bu alanlarda kullanılan donatılar yer aldıkları alana karakter kazandıran, şekillendiren ve bütünlük kazandıran elemanlardır. Tercih edilirken tasarım kriterlerine bakılması, kullanıcı profili ve konforunun düşünülmesi ile daha etkili tasarımların ortaya çıkması sağlanabilmektedir (Gülen,2021).

3.1.5. Rekreasyon Alanları

Rekreasyon alanlarının içinde özellikle sosyalleşmeyi barındıran alanlar vardır. Bu alanlar öğrencilerin dersler dışında toplu ve bireysel olarak paylaştıkları meydanlar, oturma alanları, amfiler, vb. Alanlardır. Bu alanlar kampüs yaşamında sosyal etkileşimi artırarak öğrencilerin kampüsü benimsemesini sağlamaktadır.

Bireylerin öğrenme süreçleri sosyalleşme kavramının içinde yer alan sosyal gözlem ile gerçekleşmektedir. Sosyalleşme işlevcilik kuramı'na göre sosyal birleşme, sosyal kullanım alanı ve sosyokültürel yenilikler eğitimin önemli amaçlarındandır (Yılmaz ve Çiftçi,2023; Ballantine ve Hammack,2009). Eğitim ve sosyalleşme kavramları bir arada yaşayan kavramlardır (Yılmaz ve Çiftçi,2023; Bernstein, 2003). Bu nedenle üniversite yerleşkelerinde öğrenciler için sosyal alanların varlığı önem taşımaktadır (Yılmaz ve Çiftçi,2023).

Araştırmalara göre Öğrencilerin kampüs içerisinde sosyalleşirken özellikle kendi fakültelerinin etrafında yer alan yeşil alanları ve kafeleri tercih ettikleri sonrasında diğer rekreasyonel alanlara yöneldikleri tespit edilmiştir (Yılmaz ve Çiftçi,2023; Al-Ansari,2022; Düzenli ve Ark,2017).

Aynı zamanda rekreasyon alanları Yürüyüş yolları, spor alanları ve açık hava etkinliklerine olanak sağlayan mekanları kapsamaktadır. Bu alanlar öğrencilerin fiziksel aktivite düzeyini arttırarak hem psikolojik hem fizyolojik iyi oluşlarına katkı sağlamaktadır.

Rekreasyon kavramı toplumların ve bireylerin yaşam düzeylerini arttıran sosyal, fiziksel ve yaratıcı olma arayışına hür irade ile katılım gerçekleştirilen kazanımdır (Yavaş,2025; Canadian Parks and Recreation Association,2015).

Ayrıca rekreasyon öğrenciler için eğitim sürecinin içerisinde yer alan, rekreasyonel faaliyetlerin öğrencilerin hem fiziki hem akademik açıdan başarı yüzdelerini arttıracağını ve kampüsü paylaşan diğer akademik personeller ile ilişkilerine pozitif etki sunacağı belirtilmektedir. YÖK'e bağlı olarak da üniversite kurumlarında rekreasyonel faaliyetlerin üzerinde durulmaktadır. Sebebi ise öğrencilerin memnuniyeti ve devamlılığının rekreasyonel faaliyetler ile doğrudan ilişkili olmasıdır (Yavaş,2025; Çelik ve Akyol, 2015; Lindsey ve Sessoms,2006).

Yavaş (2025) sağlıklı kurumların, öğrencilerin akademik süreçte fiziksel ve psikolojik iyi oluşa sahip oldukları topluluklar olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca aidiyet duygusunu sağlamak iyi oluşlarını önemseyen toplumlar için önemli olmaktadır (Yavaş,2025). Bu

bağlamda, öğrencilerin fiziksel ve ruhsal olarak tazelenmeleri amacıyla rekreasyonel faaliyetlere katılımı hem sağlıklı hayat tavrını destekleyen hem de psikolojik iyi oluşlarının sağlanabilmesi açısından önem arz etmektedir (Yavaş,2025; Yıldırım ve Koç,2022).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Üniversite kampüsleri yalnızca eğitim ve öğretim süreçlerinin gerçekleştirildiği mekanlar değil, aynı zamanda öğrencilerin günlük yaşantılarında önemli bir zaman dilimlerini geçirdikleri, sosyalleştikleri, dinlendikleri ve kişisel gelişimlerini sürdürdükleri çevrelerdir. Bu nedenle kampüslerin fiziksel ve mekansal özellikleri, öğrencilerin psikolojik ve fizyolojik iyi oluşları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Literatür incelemesi sonucunda kampüslerde yer alan yeşil alanların, öğrencilerin stres seviyelerinin azalmasına, zihinsel yorgunluğun giderilmesine, yaşam doyumlarının artmasına ve genel sağlıklarında iyi oluşun desteklenmesine katkı sunduğu anlaşılmaktadır. Doğa ile kurulan etkileşim, öğrencilerin akademik süreç içerisinde karşılaştıkları baskı, başarı ve gelecek kaygısı gibi psikolojik iyi oluşlarını etkileyen duygu durumlarının azaltılmasında önemli bir işlev görmektedir. Bununla beraber yalnızca yeşil alan miktarının değil bu alanların tasarımında ve işlevinde niteliğinin, erişilebilirliğinin ve kullanım olanaklarının da öğrenci iyi oluşu üzerinde belirleyici faktörler olduğu anlaşılmaktadır.

Araştırma kapsamında bir kampüs alanının değerlendirme ölçütleri bakımından tespit edilen başlıklar; yeşil alan varlığı, bitkisel tasarım, erişilebilirlik, dinlenme alanları ve rekreasyon alanları olmuştur ve bu kampüs peyzaj bileşenlerinin öğrencilerin kampüs içerisindeki yaşamlarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Özellikle erişilebilir ve işlevsel açık alanlar, öğrencilerin fiziksel aktivitelere katılımını arttırırken sosyal etkileşimlerini desteklemekte ve aidiyet duygusunu güçlendirmektedir.

Sonuç olarak üniversite kampüslerinde gerçekleştirilecek peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarının yalnızca estetik kaygılarla değil, öğrencilerin üniversite hayatlarında ve sonraki yaşamlarında psikolojik ve fizyolojik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak ele alınması gerekmektedir. Gelecekte daha sağlıklı, mutlu ve üretken bireylerin yetiştirilmesi için öğrenciyi merkeze alan, sürdürülebilir ve yeşil alan, yeşil kampüs bilincinin kazandırılması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda üniversite yönetimlerinin kampüs açık alanlarını öğrencilerin iyi oluşlarını destekleyecek düzende planlamaları ve geliştirmeleri önerilmektedir. Bu çalışma, üniversite kampüslerinde öğrenci iyi oluşunu destekleyen peyzaj tasarım ölçütlerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

KAYNAKÇA

(Bildiri Kitabı Örneği)

(1) AKPINAR, Öğr Üyesi Abdullah. "Üniversite kampüs yeşil alanı kalitesi ile öğrencilerin stres ve ruh sağlığı arasındaki ilişkinin incelenmesi." *Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi* (2019): 18-19.

(Makale Örneği)

(2) Çorbacı, Ömer Lütfü, Talip Turna, and Gülcay Ercan Oğuztürk. "Kamusal Alanların Peyzaj Düzenlemesi Açısından Erişilebilirliğinin İncelenmesi; Dicle Üniversitesi Kampüsü Örneği/Examining Accessibility of Public Spaces in terms of Landscape Arrangement: A Sample on Dicle University Campus." *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi* 16.1 (2020): 105-127.

(3) Demirkan, Gülbin Çetinkale. "Üniversite öğrencilerinin kampüs açık ve yeşil alanlarını kullanımları ve memnuniyetleri." *Journal of Agriculture Faculty of Ege University* 57.1 (2020): 39-52.

(4) Erdem, Ali Rıza. "Üniversite kültüründe önemli bir unsur: Değerler." *Değerler eğitimi dergisi* 1.4 (2003): 55-72.

(5) Gülen, Mustafa. "Donatı Elemanlarının Kentsel Alanlara Etkisi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüsü Örneği." *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 26.1 (2021): 34-44.

(6) Ilgan, Abdurrahman, et al. "Factors affecting university choice: A study on university freshman students." *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi* 46 (2018): 199-216.

(7) Oğuztürk, Gülcay Ercan, et al. "Kampüs Alanlarında Perennial Bahçe Tasarımı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Örneğinde Öneri Proje ve Kullanıcı Algısı." *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 26.2 (2025): 507-519.

(8) Oktay, Elif Yüksel, et al. "Yalova Üniversitesi öğrencilerinin üniversite yaşam kalitesi algılarının değerlendirilmesi." *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi* 9.19 (2019): 17-43.

(9) Sağlık, Elif, Alper Sağlık, and Merve Temiz. "Peyzaj tasarımı-kampüs içi yürüyüş yolları-yaşam kalitesi." *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences* 3.1 (2020): 35-46.

(10) Salihoğlu, Tayfun, et al. "Kampüs tasarımının öğrencilerin kampüs yaşamının kalitesine etkisi: Gebze Teknik Üniversitesi Çayırova Kampüsü master planı örneği." *Kent Akademisi* 14.4 (2021): 975-994.

(11) Yavaş, Özge. "Öğrenci Yaşamları: Hayalimdeki Kampüs." *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi* 21.1 (2026): 236-251.

(12) Yerli, Ö., and S. Özdede. "Bir anıtpark projesinin tasarım süreci." *Uluslararası Hakemli Tasarım Mimarlık Dergisi* 10 (2017): 116-131.

(13) YILMAZ, Serap. "Bir Kampüs Açık Mekanının Peyzaj Tasarımı: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Binası."

(14) Yılmaz, Cansu, and Esma Esen Çiftçi Houghton. "Öğrencilerin Gözünden Sosyalleşme Alanları: Aidiyet Hissi ve Psikolojik İyi Oluşun Anahtarı." *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 24.1 (2024): 79-104.

(**E-dergilerdeki Makaleler)**

(15) Holland, I.; DeVille, NV; Browning, MHEM; Buehler, RM; Hart, JE; Hipp, JA; Mitchell, R.; Rakow, DA; Schiff, JE; White, MP; ve diğerleri. Doğayla Temasın Ölçülmesi: Anlatısal Bir İnceleme. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021** , *18* , 4092. **https://doi.org/10.3390/ijerph18084092**

(16) Holt, EW; Lombard, QK; Best, N.; Smiley-Smith, S.; Quinn, JE Üniversite Öğrencileri Arasında Yeşil Alanların Aktif ve Pasif Kullanımı, Sağlık ve Refah. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019** , *16* , 424. **https://doi.org/10.3390/ijerph16030424**

(17) Lu, M.; Fu, J. Bir Üniversite Kampüsünde Dikkat Yenileme Alanı: Öğrencilerin Çevresel Tercihlerine Dayalı Yenileyici Kampüs Tasarımını Keşfetmek. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019** , *16* , 2629. **https://doi.org/10.3390/ijerph16142629**

(18) Robinson ZP and Laycock Pedersen R (2021) How to Repurpose the University: A Resilience Lens on Sustainability Governance. Front. Sustain. 2:674210. doi: 10.3389/frsus.2021.674210

(19) wang, yuntao & Su, Zhou & Zhang, Ning & Liu, Dongxiao & xing, rui & Luan, Tom Hao & Shen, Xuemin. (2022). A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy. 10.36227/techrxiv.19255058.v1.

(20) White, Marcus & Huang, X. & Langenheim, Nano & Yang, Tianyi & Schofield, R. & Young, M. & Livesley, S. & Seneviratne, Sachith & Stevenson, Mark. (2022). WHY ARE PEOPLE STILL NOT WALKING? THE NEED FOR A MICRO-SCALED MULTI-CRITERIA SPATIO-TEMPORAL DESIGN APPROACH TO IMPROVE WALK-QUALITY. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. X-4/W3-2022. 269-276. 10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-269-2022.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

"Recent Trend Covalent Organic Frameworks (COFs) in Sustainable Development"

Assistant lecturer,Fatimah Kanaan Fateh FATEH

Northern Technical University, fatimah@ntu.edu.iq - 0009-0007-6406-3317

Assistant lecturer , Payman Sarwat Ali ALDAWOODI

Northern Technical University, paymansawatali@ntu.edu.iq - 0009-0009-8795-8695

Abstruct:

In recent years, the increasing interest in Covalent Organic Frameworks (COFs) has primarily been attributed to their exceptionally high surface areas, tunable pore sizes, low densities, and outstanding chemical and thermal stability, as well as their facile functionalization. Owing to these advantageous properties, COFs have found significant applications in a wide range of fields, including gas storage and separation, catalysis, sensor technologies, energy storage, environmental pollutant removal, and controlled drug delivery systems.

In particular, over the past five years, the development of biocompatible COFs and their applications in drug delivery, cancer therapy, photodynamic therapy, bioimaging, and biosensing have attracted considerable attention. Moreover, COFs synthesized via green chemistry approaches contribute to sustainable manufacturing processes, thereby supporting the advancement of environmentally benign materials.

Currently, research on COFs is mainly focused on the development of novel synthetic methodologies, the rational design of functional architectures, and the enhancement of performance in biomedical and energy-related applications. Accordingly, COFs are regarded as promising multifunctional smart materials of the future, with a steadily increasing number of scientific publications in this field each year.

The present study aims to investigate the synthesis, characterization, and performance of Covalent Organic Frameworks (COFs) in the targeted application area especially in sustainable development by providing a comprehensive evaluation of the latest eco-friendly technologies and comparing their operational efficiencies. Furthermore, the study outlines a promising vision that highlights the essential role of these materials in supporting clean energy sources and mitigating environmental pollution, thereby opening new horizons for green industrial applications.

Keywords : COFs , Covalent Organic Frameworks , Sustainable Development

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Design and Characterization of Metal–Organic Framework Encapsulated Levofloxacin for Antioxidant Applications

Assistant lecturer,Fatimah Kanaan Fateh FATEH

Northern Technical University, fatimah@ntu.edu.iq - 0009-0007-6406-3317

Ayşe YILDIRIM

Selçuk University, ayse.yldrm2020@gmail.com - 0000-0003-1219-5514

Prof.Dr.Elif ÖZYILMAZ

Selçuk University, eyilmaz@selcuk.edu.tr - 0000-0003-4360-4165

Abstract

Long-term antimicrobial therapies are required to treat infections caused by virulent intracellular pathogens, including biothreat agents. Recently, bacterial infections, which pose a serious threat to human health and are one of the top ten causes of global death, have attracted much attention. Antibiotic pollutants, as a unique category, act like a double-edged sword. On one hand, they provide precise treatment for related diseases, but on the other hand, their excessive use or improper handling can lead to environmental contamination or entry into the biological chain.

Among these antibiotics, Levofloxacin (LVF), a broad-spectrum antibacterial agent, effectively treats various bacterial infections but also causes severe problems due to its misuse. Therefore, in the study, metal-organic cages have been used as a robust platform that supports the sustained release of Levofloxacin, which is important antimicrobial agent for many critical bacterial infections. In recent years, metal organic cages (MOFs) have emerged as unique material platforms for various bio-related applications with biocompatibility and unique particle size control, ability to load various drugs, and facile surface chemistry allowing conjugation of metals. In the study, ZIF-8 and NH_2MIL-101, known metal organic cage types, were prepared. Then, commercial antibacterial drugs (Levofloxacin) encapsulated with MOFs. ZIF-8@ Levofloxacin, and NH_2MIL-101@ Levofloxacin have been characterized using FTIR, SEM, XRD techniques. . Then, the antioxidant properties of these composite structures were examined.

Keywords : MOF , Levofloxacin , antioxidant

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

CONSTRAINED MIXTURE-DESIGN MODELLING AND MULTI-RESPONSE OPTIMISATION OF DETONATION PERFORMANCE IN HMX/TNT MELT-CAST EXPLOSIVES WITH INERT AND ENERGETIC BINDERS

Asst. Prof. Dr., YILMAZ MERT

Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemical Engineering - ORCID ID: 0000-0003-3843-9177

Asst. Prof. Dr., IBRAHIM KORKUT

Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemical Engineering - ORCID ID: 0000-0002-2720-0796

ABSTRACT

Melt-cast HMX/TNT explosives necessitate a polymeric binder for mechanical integrity and insensitivity; however, the addition of a binder dilutes the energetic fill, ultimately impairing performance. A validated Modified Kistiakowsky-Wilson and Kamlet-Jacobs thermochemical engine was coupled with a sixteen-run D-optimal constrained mixture design, examining HMX, TNT, the inert thermoplastic polyurethane Estane 5703, and the energetic azido binder poly(3,3-bis(azidomethyl)oxetane), adhering to a 20 wt% binder ceiling. Scheffé quadratic surrogates successfully reproduced detonation velocity, pressure, heat of detonation, and power index, achieving R^2 values of ≥ 0.9975 and predicted R^2 values of ≥ 0.9216. Given the deterministic nature of the engine, replicated runs yield identical values, eliminating pure error and rendering the lack-of-fit test undefined; thus, the analysis is presented as a computer experiment validated by cross-validated predicted R^2 rather than relying on replicate-based inference. Two key findings emerge. First, the four responses exhibit strong collinearity (pairwise correlations ranging from 0.950 to 0.997; the first principal component accounts for 97.85% of the variance), indicating they do not compete, and the multi-response criterion simplifies to a monotone transformation of any single response. Second, Derringer-Suich optimization, when considering only the compositional constraints, proves to be degenerate: the desirability reaches a maximum of exactly 0.9999 across a 276-point plateau, commencing near HMX 0.91 with binder levels below 0.040. Within this range, the criterion is unable to discriminate, resulting in no compositions being melt-castable or polymer-bonded. By imposing a manufacturability window, a unique optimum is restored at HMX 0.645, TNT 0.305, and poly-BAMO 0.050, which is confirmed against the engine with a deviation of no more than 4.5%. At every fixed binder loading, the optimal binder is entirely energetic. Thus, effective optimization of detonation performance necessitates both genuinely competing responses and explicit processing constraints.

Keywords: Melt-cast explosives, HMX/TNT, energetic binder, poly-BAMO, mixture design, response surface methodology, desirability optimization, Kamlet-Jacobs

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

1. INTRODUCTION

Secondary explosives function by generating a self-sustaining detonation wave, with performance defined by a limited set of interrelated parameters. These include the detonation velocity (D), the Chapman-Jouguet detonation pressure (P), the heat of detonation (Q), and overall measures of blast capacity, such as the power index. These factors determine brisance, fragment acceleration, and blast output, serving as the primary criteria for evaluating a formulation.

2,4,6-Trinitrotoluene (TNT, $C_7H_5N_3O_6$) is the quintessential melt-cast carrier. Its primary advantage lies not in performance but in processability: with a melting point of approximately 80.9 °C, which is comfortably below its decomposition temperature, TNT can be melted and poured, enabling it to carry a suspended crystalline filler into a munition body as a castable slurry. Its oxygen balance is significantly negative (−73.9 % relative to CO_2), resulting in a modest detonation velocity of about 6900 m s^{-1} at a density of 1.60 g cm^{-3}, and a pressure range of approximately 19-21 GPa by modern standards. In contrast, octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine (HMX, $C_4H_8N_8O_8$) represents a different category. As a cyclic nitramine with a high crystal density (1.905 g cm^{-3} in the β-polymorph) and a much less negative oxygen balance (−21.6 %), HMX detonates at about 9100 m s^{-1} and produces pressures around 39 GPa. However, it is a high-melting solid that cannot be cast independently. The HMX/TNT family, known as the octols, takes advantage of this complementary relationship: TNT provides the castable phase, while HMX contributes the energy [1, 2].

A crystalline filler suspended in a brittle carrier is mechanically and ballistically vulnerable. To address this, polymeric binders are introduced to coat the filler crystals, absorb and dissipate mechanical and shock energy, suppress hot-spot formation at crystal interfaces, and confer dimensional stability during thermal cycling [3, 4]. Estane 5703 serves as a representative inert binder of this category; it is a segmented thermoplastic polyurethane with alternating hard and soft blocks that provide toughness and elasticity, boasting a long service history in polymer-bonded explosive (PBX) formulations [5]. However, being thermochemically passive, it contributes no energy of its own. Energetic binders are specifically designed to address this shortcoming. A prominent example is poly(3,3-bis(azidomethyl)oxetane), known as poly-BAMO. This binder features an oxetane-backbone polyether with two azidomethyl groups per repeat unit. Each azide contributes a strongly positive enthalpy of formation and releases molecular nitrogen upon decomposition, allowing the binder to participate in the detonation rather than merely acting as a diluent [6, 7].

The acceptance of any binder is driven by operational safety, and this requirement is not merely incidental but regulatory. Energetic materials primarily exist in non-functional states throughout their service life: they are manufactured, transported over long distances, stored for years or even decades in magazines and on platforms, handled multiple times, and only then utilized. Each of these stages poses significant accident risks, including impact and drop incidents during handling and loading, friction and electrostatic discharge during processing, fire and sympathetic detonation during storage, as well as bullet and fragment attacks on the platform. The insensitive munition doctrine addresses these risks by requiring that formulations withstand such stimuli without violent reactions, with binder incorporation being the main

method of achieving insensitivity [3, 4]. Melt-cast insensitive fills, such as those belonging to the IMX family, exemplify this design philosophy [8].

Insensitivity, however, comes at a cost. Each additional increment of binder displaces energetic filler, leading to a reduction in density, heat release, and gas production; thus, safety is achieved at the expense of performance. This dynamic makes binder selection a true engineering compromise rather than a simple matter of tabulation. The pertinent questions are how much of the performance cost can be mitigated by selecting an energetic binder instead of an inert one at equal loading, where the optimum exists when multiple responses are considered simultaneously, and whether such an optimum remains physically attainable.

Predicting responses across a composition space necessitates a thermochemical engine. Here, two classical elements are combined. The Kistiakowsky-Wilson product hierarchy [9], modified for strongly oxygen-deficient compositions, determines the distribution of detonation products based on elemental composition and a fixed oxidation priority. The Kamlet-Jacobs correlation [10, 11] subsequently relates the resulting gas yield, mean product molar mass, and heat release, along with the loading density, to detonation velocity (D) and pressure (P) through a compact closed form. This form incorporates a composite parameter, φ, which quantifies the intrinsic detonation potential of the composition [12]. This pairing is intentionally economical; unlike comprehensive equation-of-state codes from the Becker-Kistiakowsky-Wilson class [13], it relies solely on elemental composition, heat of formation, and density. This efficiency allows it to function as a rapid reference for designed experiments while maintaining an accuracy within a few percent for CHNO systems [14–17].

The statistical layer utilizes mixture-design response-surface methodology as implemented in Design-Expert (StatEase). Explosive formulations qualify as mixtures in the strict statistical sense: the components are mass fractions that must sum to unity, which means the factor space is a simplex rather than a hypercube, making ordinary factorial models inapplicable. Scheffé's canonical polynomials [18]serve as the appropriate model form. Additionally, Design-Expert supports constrained design generation, mixture response surfaces, and multi-response optimization through the Derringer-Suich desirability criterion [19], combined with a simplex search. This methodology is standard in formulation science but has been applied only infrequently to the problem of relating composition to detonation performance.

The present work integrates these layers. A constrained four-component mixture design involving HMX, TNT, Estane 5703, and poly-BAMO is assessed using the Mod-KW/K-J engine. Scheffé quadratic surrogates are fitted to detonation velocity, pressure, heat of detonation, and power index, and a multi-response desirability optimization is conducted. The study is presented not only for its methodological findings but also for its formulation results. Given that the oracle is deterministic, replicate design points yield identical responses, leading to the complete disappearance of pure error. Consequently, the traditional replicate-based inference associated with response-surface methodology must be reinterpreted, a scenario anticipated in the computer-experiment literature [20] but infrequently acknowledged when response-surface software is applied to simulation outputs. More significantly, the four performance responses demonstrate strong collinearity, indicating that they do not genuinely

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

compete with one another. Furthermore, multi-response optimisation over the unrestricted simplex is revealed to be degenerate, resulting in a saturated plateau of formally optimal yet physically unrealizable compositions. Both observations directly influence how such optimisations ought to be constructed and reported.

2. METHODS

2.1. Thermochemical framework

Detonation performance was computed from the Kamlet-Jacobs (K-J) correlation [10, 11]:

$$D = A\cdot\varphi^{1/2}\cdot(1 + B\cdot\rho_0), \qquad P = K\cdot\rho_0^{2}\cdot\varphi, \qquad \varphi = N\cdot M^{1/2}\cdot Q^{1/2} \qquad (1)$$

with A = 1.01, B = 1.30 (D in km s^{-1}, ρ_0 in g cm^{-3}) and K = 1.558 (P in GPa). N is the moles of gaseous product per gram, M their mean molar mass (g mol^{-1}) and Q the heat of detonation (cal g^{-1}). The composite parameter φ is the intrinsic detonation potential and separates the chemical contribution (N, M, Q) from the physical contribution of density [12].

The product speciation was determined using the Modified Kistiakowsky-Wilson (Mod-KW) hierarchy [9], which is suitable for the oxygen-deficient regime (Ω < −40 %) typical of HMX/TNT compositions [17]. In this process, carbon is initially oxidised to carbon monoxide (CO); any residual oxygen is converted to water (H_2O); remaining oxygen further oxidises CO to carbon dioxide (CO_2); nitrogen is released as nitrogen gas (N_2); and any unreacted carbon and hydrogen are partitioned into graphitic carbon ($C_{(s)}$) and molecular hydrogen (H_2). The heat of detonation is derived from the standard enthalpies of formation of the reactants and products [21], with the following gas-phase product values: $\Delta H_{f(H_2O)} = -241.8$ kJ mol^{-1}, $\Delta H_{f(CO2)} = -393.5$ kJ mol^{-1}, and $\Delta H_{f(CO)} = -110.5$ kJ mol^{-1}. The power index is defined relative to neat TNT as:

F = (Q·V)/(Q·V)TNT, where V represents the specific gas volume (L kg^{-1}) at standard temperature and pressure (STP) [15]. The theoretical maximum density is calculated using volume additivity from the component densities, and the charge density is established at 95 % of this value, reflecting a typical cast-cure figure.

2.2. Component thermochemistry and provenance

The four constituents were parameterised by their molecular formula, or, for the polymers, by their per-gram elemental composition, alongside density and solid-phase standard enthalpy of formation (shown Table 1). The filler enthalpies for β-HMX and TNT correspond to the accepted handbook values [22], which are consistent with the data set used to calibrate the K-J correlation. For the inert binder, the formation enthalpy was utilised rather than the combustion enthalpy; swapping these two values can introduce significant order-of-magnitude errors in the calculated heat release. The enthalpy of the energetic binder serves as the sole load-bearing input. The literature reports the poly-BAMO formation enthalpy to range from +0.06 kJ g^{-1}, based on a direct bomb-calorimetric determination of a carboxylated PBAMO copolymer [6], to considerably higher values derived from group-additivity estimations for idealised homopolymers [23]. A conservative central value of +1.50 kJ g^{-1}, which is representative of a processable BAMO-based elastomer [24], was consistently adopted throughout the analysis.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Table 1. Thermochemical component library and provenance of the adopted formation enthalpies.

Component	Role	Formula / composition	ρ (g cm^{-3})	ΔH_f	Source
β-HMX	filler	$C_4H_8N_8O_8$	1.905	+75.0 kJ mol^{-1}	[22]
TNT	filler / melt carrier	$C_7H_5N_3O_6$	1.654	−67.0 kJ mol^{-1}	[22]
Estane 5703	inert binder	C 62.9 / H 8.4 / N 2.9 / O 25.8 (wt %)	1.19	−0.60 kJ g^{-1}	[5]
Poly-BAMO	energetic binder	$(C_5H_8N_6O)_n$	1.30	+1.50 kJ g^{-1}	[24]

2.3. Engine validation

The engine was verified against four literature anchors that encompass the neat nitramine, the neat carrier, and the octol matrix (Table 2). The absolute deviations in detonation velocity range from 1.4% to 4.3%, with the largest deviation observed for TNT, which reflects the known tendency of the K-J correlation to over-predict values for strongly oxygen-deficient aromatics. The computed pressures fall within the reported ranges. This level of accuracy is sufficient for the comparative analysis conducted within this family of substances.

Table 2. Validation of the thermochemical engine against literature anchors [22].

Composition	ρ (g cm^{-3})	D calc (m s^{-1})	D lit. (m s^{-1})	P calc (GPa)	P lit. (GPa)
TNT	1.654	7195	≈ 6900	21.8	19–21
RDX	1.806	8935	≈ 8750	35.5	≈ 34
HMX	1.905	9268	≈ 9100	39.4	≈ 39
Octol (70/30 HMX/TNT)	1.800	8601	≈ 8480	32.8	≈ 34

2.4. Constrained mixture design

The formulation space is a mixture space, where the four mass fractions must sum to unity. This constraint means that the factor region is a simplex, allowing for the application of Scheffé canonical models [18]. HMX (A) and TNT (B) were permitted a full range from 0 to 1. The two binders, Estane (C) and poly-BAMO (D), were each restricted to a range of 0 to 0.20 and were further limited by the joint constraint $C + D \leq 0.20$. This reflects the practical maximum on total binder content in a melt-cast fill. Details regarding components and constraints are provided in Table 3. A sixteen-run D-optimal design, which includes three replicated points, was generated using Design-Expert and evaluated with the engine described in Section 2.1. The design and its computed responses are displayed in Table 4.

Table 3. Mixture components, levels and constraints applied in the design.

Component	Name	Type	Minimum	Maximum	Constraint set
A	HMX	Mixture	0.000	1.000	$0.000 \leq A \leq 1.000$
B	TNT	Mixture	0.000	1.000	$0.000 \leq B \leq 1.000$
C	Estane 5703	Mixture	0.000	0.200	$0.000 \leq C \leq 0.200$
D	poly(BAMO)	Mixture	0.000	0.200	$0.000 \leq D \leq 0.200$
—	—	—	—	—	$0.000 \leq C + D \leq 0.200$
—	—	—	—	—	$A + B + C + D = 1.000$

2.5. Surrogate modelling and the deterministic-oracle framing

Scheffé quadratic canonical polynomials were fitted to each response,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

$$Y = \Sigma \beta_i x_i + \Sigma \Sigma \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

which carry no intercept because the mixture constraint makes one redundant. Fitting, analysis of variance, and diagnostics were conducted using Design-Expert. All coefficients reported below were also reproduced through independent least-squares refitting of the raw design data, consistent with the reported rounding.

A point of principle must be established before interpreting the analysis. The responses generated here are produced by a deterministic code: re-evaluating a composition yields bit-identical output, which is a defining characteristic of a computer experiment [20]. Consequently, the three replicated design points reproduce their originals exactly, resulting in pure error being identically zero. This leads to two important consequences. First, the lack-of-fit F-statistic, defined as the ratio of lack-of-fit to pure-error mean squares, remains undefined; thus, the software appropriately refrains from reporting it. Second, the residual mean square does not estimate experimental noise but rather model bias, the deviation of a quadratic canonical form from a smooth non-polynomial function. Therefore, the F-ratios presented in Section 3.2 are retained as relative term-importance diagnostics, indicating how much of the residual truncation misfit each term accounts for, and should not be interpreted as tests of significance against experimental error. Instead, the primary validation criterion is the predicted R^2, calculated from PRESS using leave-one-out deletion, which assesses genuine out-of-sample predictive capability and is fully meaningful for deterministic data.

2.6. Multi-response desirability optimization

The simultaneous optimization of the four responses employed the Derringer-Suich desirability formulation [19], as implemented in Design-Expert. Each response was assigned a partial desirability score within the range of [0,1]: it was zero if it fell below a lower bound (L), one if it exceeded an upper bound (H), and calculated as $[(y - L)/(H - L)]r$ for values in between. The overall desirability was determined as the geometric mean of the four partial values. All four responses were given the objective of maximization with equal importance, using $r = 1$, while L and H were set based on the observed response ranges from the design (refer to Table 4), which is the default setting of the software. Optimization was conducted on the fitted surrogate models across a dense grid of the constrained simplex (150 101 points; step size of 0.005). Each reported optimum was subsequently subjected to a confirmation run, where the composition was input back into the thermochemical engine, allowing for a comparison between the surrogate prediction and the oracle. Three constraint scenarios were analysed: (A) the design constraints detailed in Table 3 alone; (B) a melt-cast manufacturability window that additionally required TNT to be at least 0.30 to ensure a pourable slurry exists, alongside a total binder content of at least 0.05 to maintain a polymer-bonded composition; and (C) a series of fixed total binder loadings while adhering to the same TNT minimum, thereby isolating the binder-class question at constant dilution.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

3. RESULTS AND EVALUATION

3.1. Design and computed responses

The sixteen-run design and the four computed responses are presented in Table 4. The responses exhibit a broad performance range: D varies from 6608 to 8783 m s^{-1}, P ranges from 17.12 to 34.01 GPa, Q spans from 2.416 to 4.770 kJ g^{-1}, and F fluctuates between 0.977 and 1.713. This confirms that the design explores the accessible space rather than remaining within a narrow neighbourhood. Runs 13, 14, and 15 replicate runs 10, 12, and 2, respectively, and, as expected for a deterministic oracle, reproduce these values to every reported digit.

Table 4. D-optimal constrained mixture design and computed detonation responses (mass fractions; 95 % TMD).

Run	A: HMX	B: TNT	C: Estane	D: poly(BAMO)	D (m s^{-1})	P (GPa)	Q (kJ g^{-1})	F
1	0.299	0.501	0.200	0.000	6900	18.91	2.519	1.090
2	0.592	0.208	0.093	0.107	7577	23.58	2.956	1.293
3	0.940	0.038	0.000	0.021	8783	34.01	4.770	1.713
4	0.822	0.000	0.000	0.178	8225	28.67	3.947	1.572
5	0.000	0.871	0.076	0.053	6640	17.45	2.490	0.977
6	0.782	0.218	0.000	0.000	8528	31.73	4.364	1.596
7	0.010	0.790	0.000	0.200	6608	17.18	2.537	0.985
8	0.132	0.668	0.200	0.000	6613	17.12	2.416	1.010
9	0.825	0.000	0.175	0.000	8044	27.07	3.509	1.520
10	0.488	0.419	0.093	0.000	7606	24.01	2.973	1.258
11	0.406	0.394	0.000	0.200	7305	21.72	2.780	1.174
12	0.310	0.592	0.000	0.098	7329	22.08	2.768	1.138
13*	0.488	0.419	0.093	0.000	7606	24.01	2.973	1.258
14*	0.310	0.592	0.000	0.098	7329	22.08	2.768	1.138
15*	0.592	0.208	0.093	0.107	7577	23.58	2.956	1.293
16	0.019	0.981	0.000	0.000	6984	19.90	2.636	1.009

* Replicated design points (13 ≡ 10, 14 ≡ 12, 15 ≡ 2). Being generated by a deterministic engine, they reproduce their originals exactly; the pure error is identically zero.

3.2. Surrogate models

The analysis of variance for the four Scheffé quadratic surrogates is summarized in Table 5, with corresponding statistical indicators detailed in Table 6 and fitted coefficients presented in Table 7. The models effectively reproduce the design data, exhibiting R^2 values ranging from 0.9975 to 0.9999 and predicted R^2 values from 0.9216 to 0.9953. The adequate-precision ratios, which range from 54 to 226, significantly surpass the conventional threshold of 4. Since the predicted R^2 is derived from leave-one-out deletion, it provides a reliable out-of-sample assessment, confirming that the quadratic canonical form serves as an accurate surrogate for the thermochemical engine within the design region. The parity plots illustrated in Figure 1 indicate no discernible structure in the residuals for any response.

The variance decomposition primarily consists of linear mixture terms, accounting for 99.8% of the model sum of squares for D and 98.9% for P; the six binary blending terms contribute only a small remainder. As discussed in Section 2.5, this indicates that a purely additive composition rule captures nearly all of the response variation, with curvature in the simplex

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

acting as a second-order correction. Among the blending terms, the HMX–TNT interaction (AB) consistently emerges as the largest, followed by the interactions of HMX with each binder, while the binder–binder term (CD) remains the weakest throughout. It is important to note that the F-ratios in Table 5 reflect the extent to which each term removes truncation misfit, rather than their significance against experimental noise. Additionally, the pure-error row is identically zero for all four responses, rendering the lack-of-fit test undefined by construction.

Table 5. Consolidated analysis of variance for the four Scheffé quadratic surrogates.

Source	df	F (D)	p (D)	F (P)	p (P)	F (Q)	p (Q)	F (F)	p (F)
Model	**9**	**2368.71**	**< 0.0001**	**4610.59**	**< 0.0001**	**262.96**	**< 0.0001**	**301.15**	**< 0.0001**
Linear mixture	3	7094.86	< 0.0001	13685.25	< 0.0001	700.41	< 0.0001	879.26	< 0.0001
AB	1	20.58	0.0039	180.97	< 0.0001	122.36	< 0.0001	50.21	0.0004
AC	1	0.0323	0.8633	9.98	0.0196	9.36	0.0222	0.1784	0.6875
AD	1	1.19	0.3168	9.74	0.0206	6.48	0.0438	1.23	0.3095
BC	1	0.3857	0.5574	0.8047	0.4042	1.94	0.2135	0.0238	0.8823
BD	1	0.4895	0.5104	2.07	0.1999	2.29	0.1812	0.5155	0.4998
CD	1	0.5790	0.4755	1.13	0.3289	2.77	0.1469	1.98	0.2085
Residual	6	—	—	—	—	—	—	—	—
Lack of fit	3	undef.	—	undef.	—	undef.	—	undef.	—
Pure error	3	0.0000	—	0.0000	—	0.0000	—	0.0000	—
Cor total	15								

The pure error is identically zero for all four responses because the oracle is deterministic. Consequently, the lack-of-fit F-ratio is undefined and not reported by the software. In this context, F-ratios serve as relative diagnostics for term importance against model truncation bias, rather than as tests of experimental error (Section 2.5).

Table 6. Statistical indicators of the fitted surrogates.

Response	Std. Dev.	Mean	C.V. (%)	R^2	Adj. R^2	Pred. R^2	Adeq. Precision
D (m s^{-1})	17.59	7478.38	0.2352	0.9997	0.9993	0.9916	158.65
P (GPa)	0.0952	23.32	0.4083	0.9999	0.9996	0.9953	226.41
Q (kJ g^{-1})	0.0557	3.09	1.81	0.9975	0.9937	0.9216	54.35
F (power index)	0.0175	1.25	1.40	0.9978	0.9945	0.9291	55.41

Table 7. Scheffé quadratic coefficients for the four responses (actual components).

Term	D (m s^{-1})	P (GPa)	Q (kJ g^{-1})	F (power index)
A (HMX)	+8995.4	+35.88	+5.21	+1.820
B (TNT)	+6956.6	+19.71	+2.65	+1.010
C (Estane)	+3318.2	+6.33	+7.32	+0.5982
D (poly-BAMO)	+5951.2	+15.92	+7.86	+1.720
AB	−276.6	−4.44	−2.14	−0.4298
AC	+266.07	−25.33	−14.36	−0.6222
AD	−1642.96	−25.42	−12.14	−1.660
BC	+954.9	−7.47	−6.78	+0.2362
BD	−1066.1	−11.88	−7.31	−1.090
CD	−1137.66	−8.60	−7.89	−2.100

Coefficients were independently reproduced by least-squares refitting of the raw design data and agree with the software output to the rounding shown.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

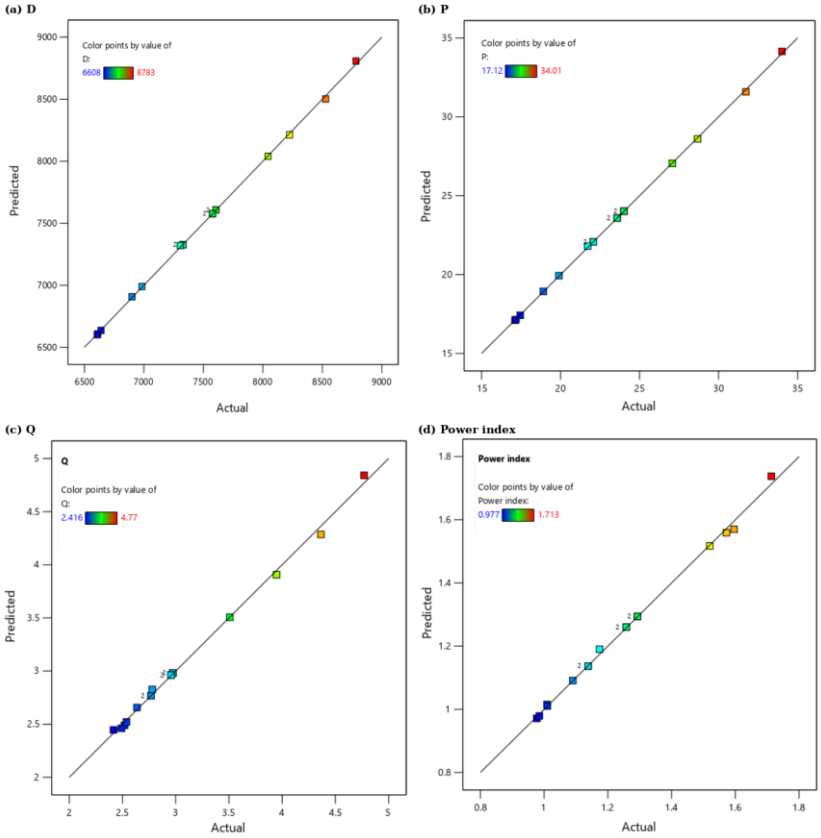


Figure 1. Predicted versus actual values for (a) detonation velocity, (b) detonation pressure, (c) heat of detonation and (d) power index.

3.3. Response behaviour over the simplex

The fitted coefficients provide a direct physical interpretation, as each linear coefficient in a Scheffé canonical polynomial represents the predicted response of the corresponding pure component. For detonation velocity, the ordering is as follows: HMX (8995 m s^{-1}) > TNT (6957 m s^{-1}) > poly-BAMO (5951 m s^{-1}) > Estane (3318 m s^{-1}). The energetic binder is approximately 2630 m s^{-1} more effective than the inert one when considered as a notional pure component, which quantitatively accounts for all the advantages reported below. This same ordering is observed for pressure and power index. However, for heat of detonation, the ordering of pure components inverts, with the binders scoring higher than the fillers. This occurs because Q is a mass-specific quantity, and the hydrogen-rich polymers release a significant amount of heat per gram when oxygen is provided by the fillers. The strongly negative AC and AD blending coefficients (−14.36 and −12.14) indicate that this potential cannot be realized in an oxygen-starved mixture. This behavior, which is limited by soot, is consistent with the characteristics observed in oxygen-deficient CHNO systems and is accurately represented by the Mod-KW hierarchy.

Figures 2–5 present response traces along the HMX/TNT axis under four fixed binder conditions: binder-free, 20% Estane, 20% poly-BAMO, and a combination of 10% of each binder. Figure 6 illustrates the corresponding three-dimensional mixture surfaces. Two consistent features emerge from all four responses. First, the traces exhibit a nearly linear relationship with the HMX/TNT ratio and increase monotonically with HMX content,

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

confirming the predominance of the linear mixture terms. Second, traces for the 20% poly-BAMO condition consistently lie above those for the 20% Estane at equivalent HMX content, showing a difference of approximately 250 m/s in detonation velocity at the HMX-rich end, while both conditions fall below the binder-free trace. The presence of the energetic binder does not eliminate the dilution penalty; rather, it reduces its impact.

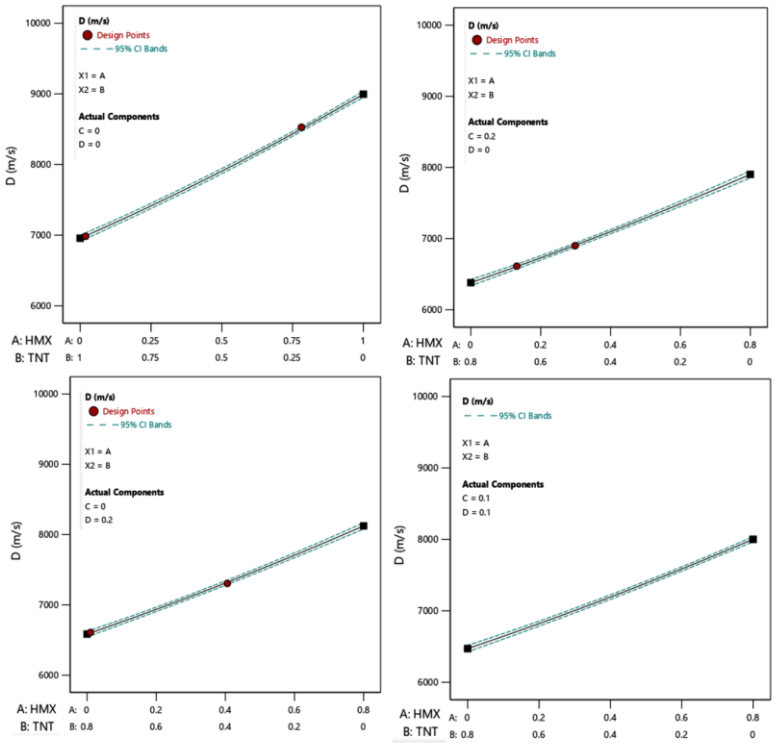


Figure 2. Detonation velocity across the HMX/TNT axis at four binder conditions: (top left) binder-free; (top right) C = 0.2; (bottom left) D = 0.2; (bottom right) C = D = 0.1.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

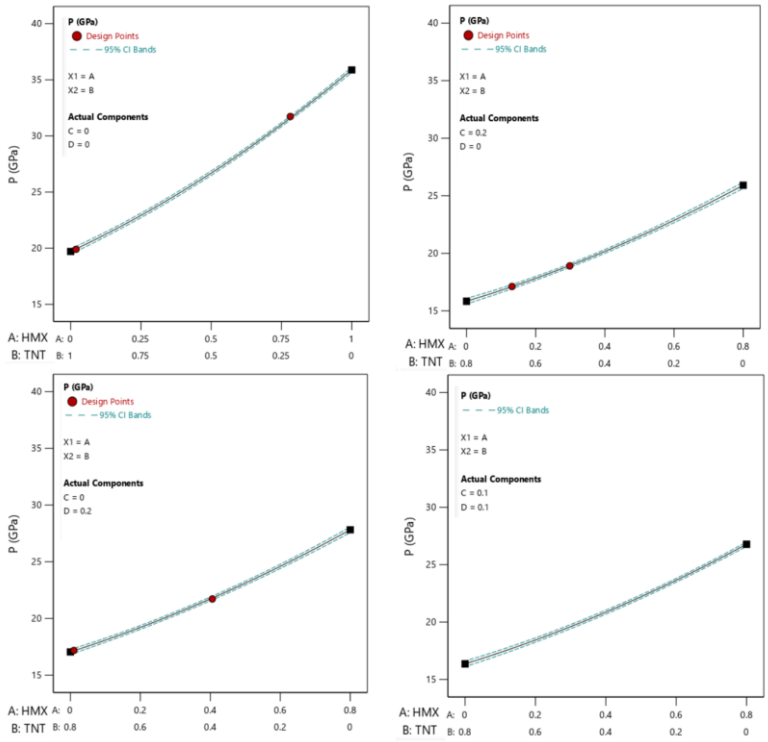


Figure 3. Detonation pressure across the HMX/TNT axis at the same four binder conditions.

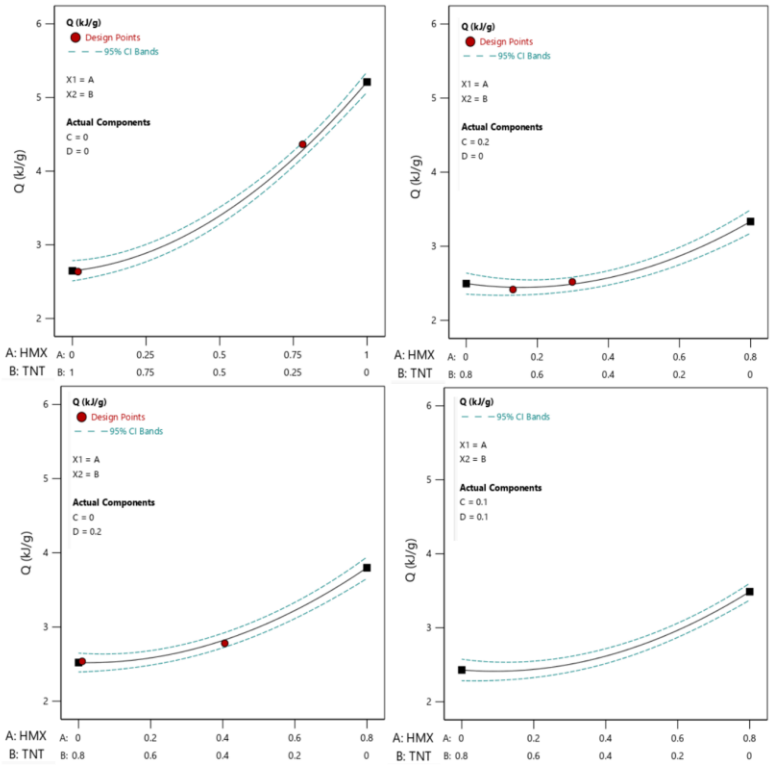


Figure 4. Heat of detonation across the HMX/TNT axis at the same four binder conditions.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

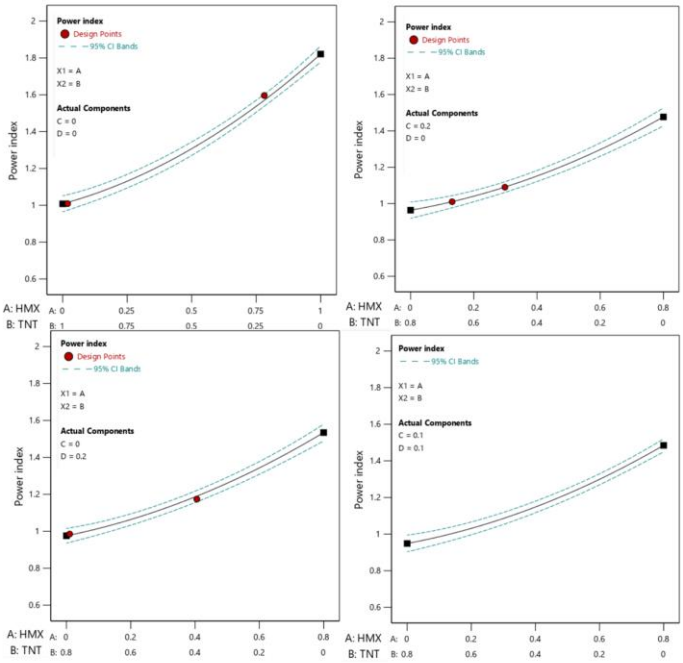


Figure 5. Power index across the HMX/TNT axis at the same four binder conditions.

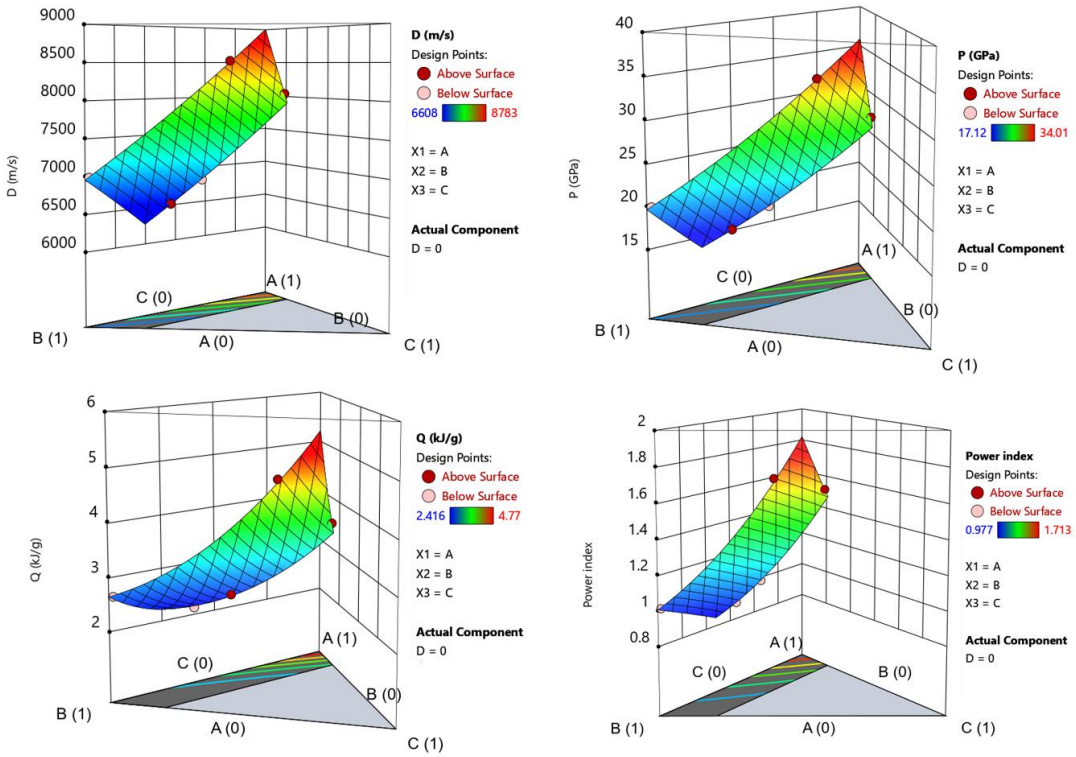


Figure 6. Three-dimensional mixture surfaces for D, P, Q and the power index over the HMX/TNT/Estane sub-simplex at poly(BAMO) = 0.

3.4. Collinearity of the responses

Before interpreting the optimization, it is essential to examine the structure of the response set, as this influences what a multi-response criterion can establish. The four responses exhibit strong collinearity across the design region (shown in Table 8). The pairwise Pearson correlations range from 0.950 to 0.997, with the weakest pairing being between Q and D; Spearman rank correlations are similarly aligned. A principal component analysis of the standardized responses reveals that 97.85% of the total variance is attributed to the first component, while the remaining three components account for 1.47%, 0.68%, and 0.01%, respectively. Notably, the same formulation (Run 3) is the best for all four responses, and there is no ranking conflict between any pair of responses throughout the design.

The consequence is direct and must be stated plainly. The Derringer-Suich criterion serves to reconcile competing objectives; it acts as a mechanism for selecting a compromise from a Pareto frontier. When the responses are collinear, no frontier is available for selection, and the geometric mean of the partial desirabilities becomes a monotone transformation of any one of them. Consequently, the multi-response optimization discussed in Section 3.5 is, in essence, a single-response optimization, and the composite criterion fails to provide any information beyond what is already encapsulated by the detonation velocity alone. This is not a flaw in the implementation but rather a characteristic of the response set: D, P, Q, and F are four distinct measurements of the same underlying quantity, the energetic content of the formulation, rendering the apparatus of multi-objective optimization somewhat superfluous in this context.

The explanation is thermochemical rather than statistical in nature. All four responses increase with the nitramine fraction and decrease with dilution by either carrier or binder, indicating that the composition variable that elevates one response similarly elevates all others. A true trade-off would necessitate a response that varies in the opposite direction, most intuitively, a sensitivity measure that improves as the nitramine fraction decreases. This type of response aligns precisely with the desensitization rationale discussed in the Introduction. Its absence from the model represents the principal structural limitation of the current study (Section 3.8).

Table 8. Pearson correlation matrix of the four responses (left) and principal-component decomposition of the standardised responses (right), over the sixteen design runs.

	D	**P**	**Q**	**F**		**PC**	**Eigenval.**	**Var. (%)**	**Cum. (%)**
D	1.000	0.997	0.950	0.981		PC1	3.914	97.85	97.85
P	0.997	1.000	0.970	0.977		PC2	0.059	1.47	99.31
Q	0.950	0.970	1.000	0.954		PC3	0.027	0.68	99.99
F	0.981	0.977	0.954	1.000		PC4	0.000	0.01	100.00

3.5. Multi-response optimisation and its degeneracy

Applying the Derringer-Suich criterion under the design constraints outlined in Table 3 (Scenario A) results in an overall desirability score of exactly 0.9999. However, this score is not a success but rather a diagnosis. Since the desirability bounds are based on the observed response ranges, any composition where all four responses exceed their upper limits receives a partial desirability of unity, yielding an overall desirability of 1.000. A grid search of the

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

constrained simplex identifies 276 such compositions, representing 0.18% of the design region, creating a contiguous plateau that starts near HMX 0.91 and extends to the pure-HMX vertex, with TNT levels below 0.085 and total binder below 0.040 (shown in Figure 7). Within this plateau, the criterion remains flat and lacks the ability to discriminate among formulations: all 276 compositions are categorized as global optima, and the specific formulation returned by an optimizer is merely a byproduct of its search path, not a reflection of the underlying chemistry.

The plateau is fundamentally inadmissible. None of its 276 compositions meets the criteria of TNT ≥ 0.30 and binder ≥ 0.05, in fact, none meets either criterion. A formulation that contains virtually no TNT cannot be melt-cast, as there is no fusible carrier to make the nitramine pourable; similarly, a formulation with virtually no binder does not qualify as a polymer-bonded explosive and loses the very insensitivity that prompted the study. The optimizer has essentially revealed that neat HMX surpasses any HMX-based formulation, which is a true statement but ultimately uninformative and impractical.

It is crucial to clarify the reasons behind this occurrence, as the proximate and underlying causes differ, and only one can be addressed through enhanced constraint specification. The proximate cause is the lack of lower bounds on TNT and binder content in Table 3, coupled with desirability anchors positioned at the observed response maxima, which results in criterion saturation. The underlying cause relates to the collinearity discussed in Section 3.4. Even with alternative bounds, four non-competing responses cannot yield an interior optimum: a criterion that is monotonic in a single latent variable is maximized at the boundary of any given region, leaving only the question of where that boundary is established. Multi-response optimization did not fail in this case due to careless configuration; there was nothing to reconcile. This represents the typical failure mode of desirability optimization in formulation science when all responses are assigned the same direction, while objectives that could contradict them, such as safety, processability, and cost, are excluded from the response set and included only as constraints, if at all.

A second, compounding issue arises from the fact that the plateau is situated where the surrogate model is least reliable. The design lacks a point at the pure-HMX vertex, with the closest being Run 3 at HMX = 0.940. Evaluating the surrogate at A = 1 and comparing the results to those from the engine reveals errors of +0.65% in D, +0.93% in P, +3.96% in Q, and +3.54% in the power index, significantly larger than the confirmation errors observed within the design region. Consequently, the optimizer ends up precisely where the model extrapolates, illustrating the traditional risk associated with vertex-seeking optimization on a constrained simplex.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

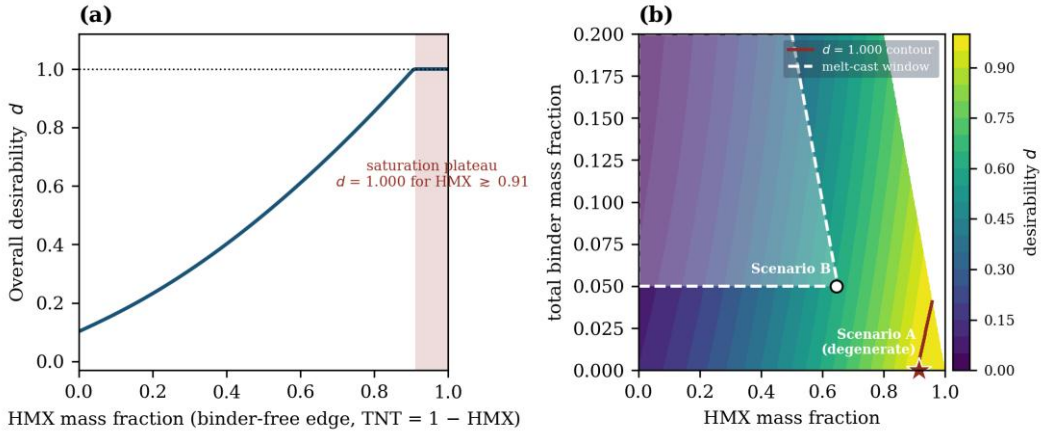


Figure 7. (a) Overall desirability along the binder-free HMX/TNT edge, showing saturation at d = 1.000 for HMX above about 0.91. (b) Desirability over the HMX/total-binder plane (binder taken as poly-BAMO), with the d = 1.000 contour, the melt-cast manufacturability window (dashed) and the Scenario A and Scenario B optima.

3.6. Optimisation within the manufacturability window

Imposing the melt-cast window (Scenario B), with TNT ≥ 0.30 as the fusible carrier and total binder ≥ 0.05 for mechanical integrity, creates a well-defined problem. The optimal formulation becomes unique: HMX 0.645 / TNT 0.305 / Estane 0.000 / poly-BAMO 0.050, yielding an overall desirability of 0.608 (shown in Table 9). The confirmation run validates the surrogate prediction within 0.7% for D, 1.1% for P, and 4.5% for Q, with the composition comfortably positioned within the design region. Two structural features of this optimum merit discussion. The total binder is exactly at its lower limit, indicating that dilution negatively impacts performance. This binder content is determined by safety and processing requirements rather than performance trade-offs, which is why it must be considered a constraint rather than an objective. Similarly, the TNT content is at its minimum, retained only as necessary for castability. Both observations align with Section 3.4: the optimum lies on the boundary due to the monotonic nature of the criterion, and the boundary reflects the imposed engineering constraints.

Table 9. Desirability optima under the three constraint scenarios, with engine confirmation runs.

Scenario	Constraints	HMX	TNT	Estane	poly-BAMO	d	D conf. (m s^{-1})	F conf.
A	Table 3 only	0.915	0.085	0.000	0.000	1.000 †	8780	1.697
B	TNT ≥ 0.30; binder ≥ 0.05	0.645	0.305	0.000	0.050	0.608	8151	1.466
C-1	binder = 0.05; TNT ≥ 0.30	0.645	0.305	0.000	0.050	0.608	8151	1.466
C-2	binder = 0.10; TNT ≥ 0.30	0.600	0.300	0.000	0.100	0.511	7947	1.402
C-3	binder = 0.15; TNT ≥ 0.30	0.545	0.305	0.000	0.150	0.416	7715	1.322
C-4	binder = 0.20; TNT ≥ 0.30	0.500	0.300	0.000	0.200	0.344	7495	1.243

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Degenerate: d = 0.999 is attained on a 276-point plateau (HMX above about 0.91, binder below 0.040) within which the criterion cannot discriminate and no composition is melt-castable. The tabulated Scenario A entry is one arbitrary member of that plateau.

3.7. Binder class at fixed loading

The most significant finding of the study pertains to the binder class. In Scenario B, the inert binder is reduced to zero, and the entire binder allocation is dedicated to poly-BAMO. To ensure that this outcome is not merely an artefact of the binder content reaching its lower limit, the optimisation was re-evaluated at total binder loadings successively fixed at 5, 10, 15, and 20 wt % under the same TNT floor (Scenario C, Table 9). At each loading, the optimal binder composition remains 100% poly-BAMO, with the Estane fraction being precisely zero. Figure 8(a) illustrates the reasoning: the desirability increases monotonically with the energetic fraction of the binder across all four loadings, with no interior optimum, indicating that no combination of the two binders is favoured over the pure energetic one. Conversely, Figure 8(b) depicts complementary behavior, the highest achievable desirability decreases monotonically with total binder loading, from 0.608 at 5 wt % to 0.344 at 20 wt %, reflecting the dilution penalty that compels the optimizer to reach the binder floor whenever possible.

Quantitatively, at a fixed 65:35 HMX/TNT fill, substituting poly-BAMO for Estane results in increased detonation velocities of 54, 120, 202, and 247 m s^{-1} at binder loadings of 5, 10, 15, and 20 wt %, respectively. This advantage grows with the binder loading, as one would expect: the greater the amount of binder present, the more significant the choice of binder chemistry becomes. These results align with the pure-component coefficient gap presented in Table 7, providing an internal validation of the surrogate against the engine data. It is important to note that this ranking stems directly from the chosen formation enthalpies, poly-BAMO at +1.50 kJ g^{-1} compared to Estane at −0.60 kJ g^{-1}. Furthermore, the response-surface analysis captures the magnitude of the advantage rather than merely indicating its presence.

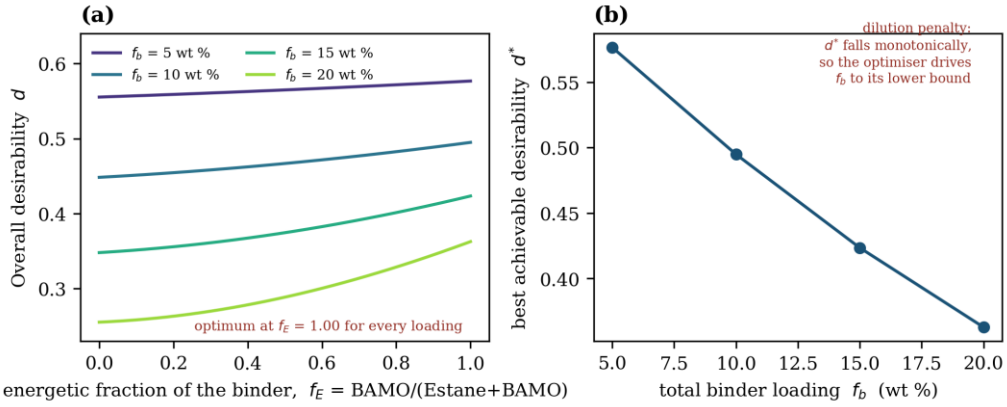


Figure 8. (a) Overall desirability versus the energetic fraction of the binder at four fixed total loadings; the optimum lies at fE = 1.00 in every case. (b) Best achievable desirability versus total binder loading.

3.8. Limitations

The principal structural limitation arises from Section 3.4: the response set lacks an objective that counteracts detonation performance, leaving the multi-response machinery without

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

elements to reconcile. A natural solution is to model a sensitivity response, such as impact or shock sensitivity, alongside the performance responses. This addition would transform the exercise into a true multi-objective problem featuring a legitimate Pareto frontier. It would also assign the binder a constructive role in the objective function, rather than the purely dilutive role it has in the current context, and would address the degeneracy at its core rather than just placing bounds on it. Additionally, it is important to note that the Kamlet-Jacobs correlation is a closed-form expression that can be evaluated almost instantaneously. Consequently, the surrogate does not provide any computational advantage over direct evaluation; its primary value lies in its interpretive capacity, as the Scheffé coefficients concisely summarize the design space, rather than offering predictive insights.

The analysis presented is primarily thermochemical and equilibrium-based. It focuses on the ideal Chapman-Jouguet performance while omitting the modelling of reaction-zone kinetics, critical diameter, or non-ideal behaviour. Additionally, it does not forecast the mechanical, rheological, and sensitivity properties that originally necessitate the addition of a binder. Consequently, the manufacturability window serves as a proxy: TNT ≥ 0.30 and binder ≥ 0.05 represent plausible engineering surrogates for castability and mechanical integrity. However, the actual admissible region must be determined through experimental means, and the optimization is only as relevant as the fidelity of that window. The charge density was maintained at 95% of the theoretical maximum throughout the analysis; achievable densities vary between melt-cast and cast-cure processing, which would influence the density-dependent responses without affecting the intensive comparison that underpins the binder-class conclusion. Lastly, the formation enthalpy of poly-BAMO is documented across a broad spectrum in the literature. The conservative central value used in this analysis suggests that the reported energetic advantage may be understated when compared to the idealized values for the homopolymer.

4. CONCLUSIONS

A four-component constrained mixture design involving HMX, TNT, Estane 5703, and poly-BAMO was assessed using a validated Mod-KW/Kamlet-Jacobs thermochemical engine and modelled with Scheffé quadratic surrogates in Design-Expert. The performance of the surrogates is exceptional, with R^2 values of 0.9975 or higher and predicted R^2 values of 0.9216 or greater. The response behaviour is predominantly influenced by linear mixture terms, with the interaction between HMX and TNT being the most significant blending effect. Given that the oracle is deterministic, the pure error is consistently zero, rendering the lack-of-fit test undefined. Consequently, the F-ratios are presented as diagnostics for term importance, while the cross-validated predicted R^2 serves as the primary validation criterion.

Two conclusions focus on the methodology rather than the chemistry, and they are presented here as the primary outcomes of the study. First, the four performance responses should not be viewed as competing objectives. The pairwise correlations, ranging from 0.950 to 0.997, along with a first principal component accounting for 97.85% of the variance, demonstrate that these responses represent four measurements of a single latent quantity. Therefore, the composite desirability is a monotonic transformation of any one of these measurements, rendering the

multi-response apparatus, in this case, somewhat ornamental. Second, as a consequence, the Derringer-Suich optimization method applied over the unrestricted simplex is degenerate: the desirability reaches a saturation point of exactly 1.000 across a 276-point plateau, which begins near HMX 0.91 with binder levels below 0.040. Within this range, the criterion is unable to discriminate, leading to the surrogate's extrapolation, and none of the formulations within this plateau can be classified as either melt-castable or polymer-bonded. This degeneracy is primarily due to the lack of defined bounds; fundamentally, it stems from the absence of any objective that counters detonation performance. The optimization of an energetic formulation is meaningful only when the processing and safety requirements that drive the formulation are explicitly represented, at minimum, as constraints, and ideally as modeled responses.

Within a melt-cast manufacturability window, the problem is well-defined and yields a unique optimum composition of HMX (0.645), TNT (0.305), and poly-BAMO (0.050), confirmed against the engine within a 4.5% margin. The binder reaches its lower limit and consists solely of the energetic polymer. This finding is robust: for every fixed binder loading ranging from 5 to 20 wt%, the optimal binder is 100% poly-BAMO, with the inert binder excluded. Desirability increases monotonically with the energetic fraction, showing no interior optimum. When substituting poly-BAMO for Estane, detonation velocities recover between 54 and 247 m/s across the loading range, with the advantage increasing as the loading increases. This ranking is based directly on the adopted formation enthalpies and is quantified, rather than being discovered through the analysis.

The clear direction for further work emerges from the diagnosis. Incorporating a sensitivity response into the design would provide the missing opposing objective, transforming the desirability analysis into a genuine trade-off characterized by a Pareto frontier. This would enable the binder to be optimized for its intended purpose. Expanding the underlying data set and experimentally validating the manufacturability window would complete the overall picture.

REFERENCES

1. Dobratz B (1981) LLNL explosives handbook: properties of chemical explosives and explosives and explosive simulants

2. Lynch JC, Brannon JM, Delfino JJ (2002) Effects of Component Interactions on the Aqueous Solubilities and Dissolution Rates of the Explosive Formulations Octol, Composition B, and LX-14. J Chem Eng Data 47:542–549. https://doi.org/10.1021/je010294j

3. Elbeih A, Zeman S, Jungova M, et al (2012) Effect of Different Polymeric Matrices on Some Properties of Plastic Bonded Explosives. Propellants, Explosives, Pyrotechnics 37:676–684. https://doi.org/10.1002/prep.201200018

4. Singh A, Kumar M, Soni P, et al (2013) Mechanical and Explosive Properties of Plastic Bonded Explosives Based on Mixture of HMX and tAtB. DSJ 63:622–629. https://doi.org/10.14429/dsj.63.5764

5. Daniel MA (2006) Polyurethane Binder Systems for Polymer Bonded Explosives. DSTO Defence Science and Technology Organisation

6. Lim M, Bu M, Jang Y, et al (2020) Synthesis and characterization of carboxylated PBAMO copolymers as promising prepolymers for energetic binders. RSC Adv 10:8967–8972. https://doi.org/10.1039/C9RA09881J

7. Touidjine S, Boulkadid MK, Trache D, et al (2023) Review on energetic copolymer binders for propulsion applications: Synthesis and properties. Journal of Polymer Science 61:2254–2275. https://doi.org/10.1002/pol.20230241

8. Frem D (2023) A Review on IMX-101 and IMX-104 Melt-Cast Explosives: Insensitive Formulations for the Next-Generation Munition Systems. Propellants Explo Pyrotec 48:e202100312. https://doi.org/10.1002/prep.202100312

9. Kistiakowsky GB, Wilson Jr EB (1941) The Prediction of Detonation Velocities of Solid Explosives. Office of Scientific Research And Development Washington DC National Defense Research Committee.

10. Kamlet MJ, Jacobs SJ (1968) Chemistry of Detonations. I. A Simple Method for Calculating Detonation Properties of C–H–N–O Explosives. The Journal of Chemical Physics 48:23–35. https://doi.org/10.1063/1.1667908

11. Kamlet MJ, Dickinson C (1968) Chemistry of Detonations. III. Evaluation of the Simplified Calculational Method for Chapman-Jouguet Detonation Pressures on the Basis of Available Experimental Information. The Journal of Chemical Physics 48:43–50. https://doi.org/10.1063/1.1667939

12. Politzer P, Murray JS (2019) The Kamlet-Jacobs Parameter φ: A Measure of Intrinsic Detonation Potential. Propellants Explo Pyrotec 44:844–849. https://doi.org/10.1002/prep.201900002

13. Arnold W, Rottenkolber E, Hartmann T (2023) DRAGON – The German Thermo-Chemical Code Based on the Becker-Kistiakowsky-Wilson Equation of State. Propellants Explo Pyrotec 48:e202100329. https://doi.org/10.1002/prep.202100329

14. Sivapirakasam SP, Kumar NV, Jeyabalaganesh G, Nagarjuna K (2021) Simple Model for Predicting the Detonation Velocity of Organic, Inorganic, and Mixed Explosives. Combust Explos Shock Waves 57:726–735. https://doi.org/10.1134/S0010508221060125

15. Keshavarz MH, Ghorbanifaraz M, Rahimi H, Rahmani M (2011) Simple Pathway to Predict the Power of High Energy Materials. Propellants Explo Pyrotec 36:424–429. https://doi.org/10.1002/prep.201000083

16. Muthurajan H, Sivabalan R, Talawar MB, Asthana SN (2004) Computer simulation for prediction of performance and thermodynamic parameters of high energy materials. Journal of Hazardous Materials 112:17–33. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.012

17. Hamad M, Mostafa H, Seleet M (2013) Thermochemical Calculations for Some Selected Advanced Plastic Bonded Explosives. International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology 15:1–7. https://doi.org/10.21608/asat.2013.22259

18. Scheffé H (1958) Experiments with Mixtures. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology 20:344–360. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1958.tb00299.x

19. Derringer G, Suich R (1980) Simultaneous Optimization of Several Response Variables. Journal of Quality Technology 12:214–219. https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968

20. Sacks J, Welch WJ, Mitchell TJ, Wynn HP (1989) Design and Analysis of Computer Experiments. Statist Sci 4:. https://doi.org/10.1214/ss/1177012413

21. Hu M, Guo L, Huang M, et al (2026) Prediction of Detonation Heat for Nitrogen-Containing Compounds Using the Main Products and Functional Group Method. Propellants Explo Pyrotec e70159. https://doi.org/10.1002/prep.70159

22. Dobratz B (1981) LLNL explosives handbook: properties of chemical explosives and explosives and explosive simulants

23. Xu R, Li Z, Chen Y, et al (2021) Enthalpy of Formation of p(BAMO)-b-GAP and Energetic Characteristics of Solid Propellants Based on the Copolymer. Propellants Explo Pyrotec 46:969–974. https://doi.org/10.1002/prep.202000244

24. An M, Luo Y (2026) Synthesis of Robust Poly(BAMO-THF) Energetic Thermoplastic Elastomers by Leveraging Hard Domains. Propellants Explo Pyrotec 51:81–88. https://doi.org/10.1002/prep.70072

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PRODUCTION AND FORMULATION OF A NOVEL, GREEN AND PHENOL-FREE OFFSET INK RESIN

ÖZLEN GÖKÇE ÇELİK
Ege University, ozlengokcecelik01@gmail.com - 0009-0001-7011-3399

Assoc. Prof. Dr. CANAN URAZ
Ege University, canan.uraz@ege.edu.tr - 0000-0002-9072-1420

ABSTRACT

Modern inks contain organic and inorganic ingredients such as solvents, binders, colorants and additives. Binders are important ink ingredients that bind the ink to the substrate and resins are a type of binder that can be biological or synthetic. Phenolic and phenol-formaldehyde resins are often used in offset printing inks due to their good printing qualities. However, phenolic compounds and formaldehyde are both highly toxic for human health and harmful to the environment. Therefore, this research aims to produce a green, phenol-free ink resin specifically designed to be used in offset printing. In order to produce a phenol-free ink resin, alternative reaction pathways are used using green raw materials such as rosin. This rosin is reacted with maleic anydride and then the resulting adduct is further reacted with glycerol and phtalic anhydride to create the final resin product through a three-step procedure. The reaction time for the second step, the reaction between rosin and maleic anhydride, was chosen as the independent variable. The resulting products from different step 2 reaction times (1, 1.5 and 2 hours) were analysed with FTIR and DSC while acid number was measured for all the steps. The variations in step 2 reaction times showed minimal difference in product acid values. The acid values, FTIR spectras and DSC graphs were then compared to a commercially used resin and the findings showed that all resin types show similar and commercially acceptable qualities. Future plans for the project such as the exploration of multiple reaction conditions at the same time, the acid value optimization using Minitab and the offset ink formulation using the produced novel resin will be discussed.

Keywords: Offset printing inks, Phenol-free resin, Rosin

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

HAYVAN BESLEMEDE FONKSİYONEL HAMMADDE OLARAK KEÇİBOYNUZU (*CERATONİA SİLİQUA* L.) VE YAN ÜRÜNLERİ: BESİNSEL ÖZELLİKLERİ, ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ, SAĞLIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Ziraat Mühendisi Betül ÇELİK

0000-0002-5762-1217

ÖZET

Ülkemizde keçiboynuzu ve yaban balı adlarıyla da bilinen *Ceratonia siliqua* L. (keçiboynuzu), Leguminosae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde doğal olarak yetişen bu bitki; erozyon, yangın ve kuraklıkla mücadele çalışmalarında değerlendirilmekte olup, meyveleri ve tohumları insan ve hayvan beslenmesinde kullanılırken, ağacın kendisi de sanayi sektöründe önemli bir yere sahiptir. Keçiboynuzu meyvesi 13,5-26,4 g ağırlığında olup %10 oranında çekirdek ve %90 oranında kabuktan oluşur. Meyvenin besin içeriği birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterse de; %62-67 oranında karbonhidrat, %4-6 oranında protein, %23-27 oranında selüloz ve %6 oranında yağ içerir. Yüksek karbonhidrat içeriği, onun enerji yemi olarak kullanılabilmesini sağlar ve sıklıkla ithal enerji yemlerine alternatif oluşturabilir. Keçiboynuzu; fenolik bileşikleri ve mineral içeriğinin yanı sıra antioksidan, anti-hiperglisemik ve anti-hiperlipidemik aktiviteleriyle de önem taşır. Keçiboynuzu pekmezi üretiminden geriye kalan posanın; sağlık koruyucu etkilerin ve sindirilebilirliğin yanı sıra besin değerleri de taşıdığı bilinmektedir. Yem olarak kullanılan bu posanın, çevresel bir sorunu ortadan kaldırması beklenmektedir. Yem kalitesini artırma, yem hammaddesi olarak çeşitlilik sağlama, kolay erişilebilir ve ekonomik olma; ayrıca meyvesinden yaprağına, posasından ağacına kadar çok yönlü kullanım imkânı sunma özellikleri, keçiboynuzunun bir kaynak olarak ne denli değerli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu derlemenin amacı, hayvan yemlerinde keçiboynuzu kullanımı üzerine bugüne kadar yürütülen çalışmalardan elde edilen verileri bir araya getirmek ve eksiklikleri belirleyerek hayvancılığın yararına bir kaynak oluşturmaktır.

Anahtar Kelimeler: Keçiboynuzu, besleme, çiftlik hayvanları, besin maddesi.

CAROB (*CERATONIA SILIQUA* L.) AND ITS BY-PRODUCTS AS FUNCTIONAL RAW MATERIALS IN ANIMAL NUTRITION: NUTRITIONAL PROPERTIES, ANTIOXIDANT CAPACITY, AND EFFECTS ON HEALTH AND SUSTAINABILITY

Dr. Ziraat Mühendisi Betül ÇELİK

0000-0002-5762-1217

ABSTRACT

Carob (*Ceratonia siliqua* L.) also known as horn and wild honey in our country, is a perennial plant belonging to the Leguminoseae family. Carob, which naturally grows in regions with a Mediterranean climate is considered in efforts to combat erosion, fire and drought; its fruits and

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

seeds are used in human and animal nutrition, while the tree itself holds an important place in the industrial sector. The carob fruit weighs between 13.5-26.4 g, consisting of 10% seed and 90% shell. Although the nutrient content of the fruit varies depending on many factors, it contains 62-67% carbohydrates, 4-6% protein, 23-27% cellulose, and 6% fat. Its high carbohydrate content allows it to be used as an energy feed and can often serve as an alternative to imported energy feeds. Carob is important for its phenolic compounds and mineral content as well as its antioxidant, anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic activities. It is known that the pulp remaining from the carob molasses has both health-protective effects and digestibility, as well as nutritional properties. The pulp used as feed is expected to eliminate an environmental problem. Its ability to improve feed quality, provide diversity as a feed raw material, be easily accessible and economical, and offer versatile uses from its fruit to its leaves, from its pulp to its tree, highlights how valuable carob is as a resource. The purpose of this review is to compile the data obtained from studies conducted so far on the use of carob in feed and, by identifying the deficiencies, to serve as a resource for the benefit of animal husbandry.

Keywords: Carob, feeding, livestock, nutrient.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SÜRDÜRÜLEBİLİR GIDA VE YEM UYGULAMALARI İÇİN PROTEİN BAKIMINDAN ZENGİN TARIM-GIDA YAN ÜRÜNLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Dr. Ziraat Mühendisi Betül ÇELİK

dr.betulcelik07@gmail.com - 0000-0002-5762-1217

Dr. Gıda Mühendisi İdil TEKİN

Dokuz Eylül Üniversitesi, idil.tekin@deu.edu.tr - 0000-0001-6494-7226

Dr. Gıda Mühendisi Ayça AKYÜZ

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, aakyuz@adu.edu.tr - 0000-0001-9862-0176

Özet

Dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak, protein arzındaki yükseliş ve sürdürülebilir üretim sistemlerine duyulan gereksinim, alternatif protein kaynakları arayışına yönelimi önemli ölçüde artırmıştır. Bu kapsamda, tarımsal üretim ve gıda işleme süreçlerinde ortaya çıkan protein bakımından zengin tarım-gıda yan ürünleri katma değerli ürünlerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Yağlı tohum küspeleri, tahıl kepekleri, baklagil işleme yan ürünleri ile meyve ve sebze işleme atıkları, yüksek protein içeriğinin yanı sıra diyet lifi, fenolik bileşikler ve diğer biyoaktif bileşenler bakımından da zengin olmasına rağmen kullanım alanları oldukça kısıtlıdır. Bu yan ürünlerin etkin şekilde kullanılması, gıda kayıplarının ve atıkların azaltılmasına, kaynak verimliliğinin artırılmasına ve döngüsel biyoekonomi yaklaşımının desteklenmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, protein bakımından zengin tarım-gıda yan ürünlerinden protein geri kazanımına yönelik güncel yaklaşımlar ile bu proteinlerin gıda ve yem uygulamalarındaki kullanım potansiyeli kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin yanı sıra enzim, ultrases, mikrodalga, darbeli elektrik alan destekli ekstraksiyon uygulamaları ve çevre dostu çözücü sistemler gibi yenilikçi teknolojiler değerlendirilmekte; bu yöntemlerin protein verimi, yapısal bütünlük, tekno-fonksiyonel özellikler, besinsel değeri ve biyoyararlanım üzerindeki etkileri tartışılmaktadır.

Ayrıca geri kazanılan proteinlerin bitki bazlı gıdalar, fonksiyonel gıdalar, et ve süt ürünleri alternatifleri ile büyükbaş ve kanatlı hayvan besleme, su ürünleri yetiştiriciliği ve evcil hayvan yemleri gibi farklı kullanım alanlarındaki uygulamaları incelenmektedir. Gıda ve yem sektörlerini bütüncül bir yaklaşımla ele alan değerlendirme stratejilerinin biyokütlenin daha etkin kullanılmasına, çevresel etkilerin ve geleneksel protein kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılmasına sağlayacağı katkılar vurgulanmaktadır. Son olarak, ham madde değişkenliği, endüstriyel ölçeklenebilirlik, ekonomik uygulanabilirlik, yasal düzenlemeler ve tüketici kabulü gibi temel zorluklar değerlendirilmekte; sürdürülebilir protein değer zincirlerinin geliştirilmesine yönelik geleceğe dönük araştırma alanları ve perspektifler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Protein geri kazanımı, Tarım-gıda yan ürünleri, Döngüsel biyoekonomi, Gıda uygulamaları, Yem uygulamaları

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

VALORIZATION OF PROTEIN-RICH AGRO-FOOD BY-PRODUCTS FOR SUSTAINABLE FOOD AND FEED APPLICATIONS: CURRENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES

PhD Agricultural Engineer Betül ÇELİK

dr.betulcelik07@gmail.com - 0000-0002-5762-1217

PhD Food Engineer İdil TEKİN

Dokuz Eylül University, idil.tekin@deu.edu.tr - 0000-0001-6494-7226

PhD Food Engineer Ayça AKYÜZ

Aydın Adnan Menderes Üniversity, aakyuz@adu.edu.tr - 0000-0001-9862-0176

Abstract

The rapid growth of the global population, coupled with the increasing demand for protein and the urgent need to establish sustainable production systems, has intensified interest in alternative protein resources. Among these, protein-rich agro-food by-products generated during agricultural production and food processing offer considerable potential for developing value-added products. Oilseed meals, cereal brans, legume processing by-products, and fruit and vegetable processing residues are rich not only in proteins but also in dietary fiber, phenolic compounds, and other bioactive constituents. Despite their valuable nutritional composition, their utilization remains largely limited. Their efficient valorization offers significant opportunities to reduce food loss and waste, improve resource efficiency, and support the transition toward a circular bioeconomy.

This review provides a comprehensive overview of current strategies for recovering and utilizing proteins from agro-food by-products for both food and feed applications. Conventional extraction methods are discussed alongside emerging and environmentally friendly technologies, including enzyme, ultrasound, microwave, pulsed electric field-assisted extractions, and green solvent-based extraction processes. Particular emphasis is placed on the influence of these technologies on protein yield, structural integrity, techno-functional properties, nutritional value, and bioavailability.

Furthermore, the potential applications of recovered proteins are critically evaluated across diverse sectors, including plant-based foods, functional food formulations, meat and dairy alternatives, livestock and poultry nutrition, aquaculture, and pet food production. The review highlights integrated food-feed valorization approaches that maximize biomass utilization while minimizing environmental impacts and reducing dependence on conventional protein sources. Finally, current challenges related to raw material variability, industrial scalability, economic feasibility, regulatory considerations, and consumer acceptance are discussed, together with future perspectives for establishing resilient and sustainable protein value chains aligned with global food security and circular resource management goals.

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

Keywords: Protein recovery, Agro-food by-products, Circular bioeconomy, Food applications, Feed applications

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

FARKLI AZOTLU GÜBRE DOZ VE FORMLARININ İTALYAN ÇIMININ (LOLIUM MULTIFLORUM L.) YEŞIL OT VERIMI VE BAZI VERIM UNSURLARI ÜZERINE ETKILERI

İzmir, Bornova

Nail SARIYEV

Ege Üniversitesi, nailsariyev6@gmail.com

ORCID NO-0009-0009-4876-6842

ÖZET

İtalyan çimi (Lolium multiforum L.)'da gelişmeyi, büyümeyi, verimi etkileyen en büyük faktörlerden biri azotdur. Bu çalışmada farklı azot dozlarının İtalyan çimi (Lolium multiflorum L.) üzerinde bitki boyu, kardeşlenme, yeşil ot verimi, kuru ot verimi ve ham protein oranına etkileri araştırılmıştır. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre yapılmış ve farklı dozda olan azot günreleri kıyaslanmıştır. Yaptığımız çalışmada azotun farklı dozları (0, 5, 10, 15) arttıkça bitkinin verilmi (boyu yaprak sap oranı) önemli artış göstermiştir. Diğer çalışmalara baktığımızda belirli dozların yani optimum dozların üzerine çıkıldığında verim artışının zayıf olduğu belirlenmiştir. En uygun azot dozu uygulanan parsellerde yeşil ot ve kuru madde verimi ile ham protein oranı en yüksek değerleri vermiştir. Bulgular, dengeli azot gübrelemesinin hem kaliteli kaba yem üretimi hem de ekonomik gübre kullanımı açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgedeki iklim ve toprak koşullarını dikkate alarak azot dozlarını kullanırsak daha kaliteli ve verimli bir hasat bekleyebiliriz.

Anahtar Kelimeler: İtalyan çimi, azot dozları , yem üretimi, yem .

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN

Prof. Dr. Akmal Rakhimov, Dilnoza Karimova, Dr. Bekzod Tursunov
Faculty of Public Health, Tashkent Medical Academy, Uzbekistan

ABSTRACT

This study examines the epidemiological patterns of non-communicable diseases in urban Uzbekistan and explores the lifestyle factors that contribute to their growing public health burden. As urbanization, dietary change, reduced physical activity, and stress-related conditions reshape everyday life, chronic diseases have become a major concern for health planners and medical institutions. The research focuses on the relationship between social behavior, urban living conditions, and long-term health outcomes.

The study is grounded in epidemiological and public health literature and emphasizes the importance of prevention-oriented analysis. It considers major lifestyle-related determinants such as nutritional habits, sedentary routines, tobacco use, alcohol consumption, and limited exercise. The findings suggest that urban populations are increasingly exposed to health risks associated with modern lifestyles, while access to preventive care and health education remains uneven. The study also highlights the role of socioeconomic status, occupational stress, and environmental pressures in shaping disease vulnerability.

The paper argues that non-communicable disease prevention in urban Uzbekistan requires integrated strategies that go beyond clinical treatment. Public health initiatives should combine screening, health promotion, urban planning, and community education to reduce risk and support healthier behavior. The study concludes that understanding lifestyle patterns is essential for designing effective interventions and strengthening long-term population health. It also emphasizes that chronic disease control must be approached as a shared responsibility between health institutions, schools, workplaces, and local communities.

Key words: non-communicable diseases, urban health, lifestyle factors, Uzbekistan, public health prevention

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES

Assoc. Prof. Dr. Gulbahor Saidova, Shakhnoza Ergasheva
Faculty of Medicine and Health Sciences, Samarkand State Medical University, Uzbekistan

ABSTRACT

This study investigates maternal and child health outcomes in rural Uzbek communities, with a focus on healthcare access and intervention strategies. Rural regions often face persistent barriers related to distance, limited transport, shortages of trained staff, and uneven availability of health services. These conditions can affect pregnancy care, safe delivery, infant monitoring, and early childhood health, making maternal and child health a key public health priority.

The study is based on public health and rural healthcare literature. It examines how access limitations shape health outcomes and how targeted interventions can improve service delivery. The findings suggest that rural mothers and children are more vulnerable when preventive care, follow-up services, and referral systems are weak. The study also notes that health problems are often intensified by low awareness, economic hardship, and delays in seeking care. Community health workers, mobile clinics, and health education programs are identified as especially important in reducing these gaps.

The paper argues that effective maternal and child health improvement requires a combined approach that addresses both service access and social support. Strengthening primary care, improving transport to facilities, and building trust between communities and health providers are essential components of sustainable intervention. The study concludes that rural health programs in Uzbekistan should prioritize equity, early prevention, and continuity of care to improve outcomes for mothers and children.

Key words: maternal health, child health, rural communities, Uzbekistan, healthcare access

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES

Dr. Rakesh Verma, Anjali Deshpande, Prof. Dr. Suresh Iyer
Faculty of Environmental Health, University of Delhi, India

ABSTRACT

This study explores the impact of air pollution on respiratory health in high-density Indian cities, where traffic congestion, industrial emissions, construction dust, and seasonal pollution create major environmental health challenges. Urban residents are exposed to persistent air quality problems that contribute to chronic respiratory illness, reduced lung function, and increased vulnerability among children, older adults, and people with pre-existing conditions. The study examines the public health implications of long-term exposure to polluted urban air.

The research is based on environmental epidemiology and respiratory health literature. It focuses on the relationship between pollution exposure and respiratory outcomes, including asthma, bronchitis, airway irritation, and breathing difficulty. The findings suggest that pollution effects are intensified in densely populated cities where housing conditions, traffic patterns, and limited green space increase exposure. The study also highlights unequal vulnerability across population groups, with low-income communities often experiencing higher health risks due to location and limited access to care.

The paper argues that reducing respiratory health burdens requires coordinated environmental regulation, stronger urban planning, and public awareness efforts. It also emphasizes the importance of monitoring systems and preventive health strategies in areas with persistent pollution. The study concludes that air pollution should be treated as both an environmental and health equity issue, requiring sustained policy attention and intersectoral action.

Key words: air pollution, respiratory health, Indian cities, environmental epidemiology, urban health

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA

Assoc. Prof. Dr. Kavita Sharma, Rahul Nair
Faculty of Nutrition and Public Health, University of Calcutta, India

ABSTRACT

This study examines nutritional deficiencies and their effects on adolescent development in rural India, where food insecurity, limited dietary diversity, and uneven health access continue to shape child and youth well-being. Adolescence is a critical developmental stage in which nutrition affects physical growth, cognitive performance, emotional stability, and school participation. The paper explores the relationship between rural nutritional conditions and broader developmental outcomes.

The study is informed by nutrition science and adolescent health literature. It considers how deficiencies in essential nutrients contribute to fatigue, reduced concentration, delayed growth, and increased illness susceptibility. The findings suggest that nutritional problems in rural areas are closely linked to poverty, household food patterns, sanitation conditions, and gaps in preventive health support. The study also points to the importance of school-based health programs, dietary counseling, and community outreach in identifying and reducing risk.

The paper argues that adolescent nutrition should be understood as a social and developmental issue, not only as a medical one. Public health responses are most effective when they combine supplementation, education, and local support systems. The study concludes that improving adolescent nutrition in rural India requires integrated strategies that strengthen both health access and family awareness.

Key words: adolescent nutrition, rural India, nutritional deficiencies, child development, public health

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENI URBAN AREAS

Prof. Dr. Ahmed Al-Hakimi, Saeed Al-Mutairi, Dr. Huda Al-Yemeni
Faculty of Medicine and Health Sciences, Sana'a University, Yemen

ABSTRACT

This study investigates the prevalence of infectious diseases and community health responses in Yemeni urban areas, where conflict, overcrowding, and weakened infrastructure have increased public health vulnerability. Urban populations in Yemen face continuing exposure to communicable illnesses due to limited sanitation, unstable services, and reduced access to healthcare. The paper explores how these conditions affect disease patterns and how communities respond in the absence of strong institutional support.

The study is based on infectious disease and public health literature, with attention to urban health systems in crisis settings. It examines the spread of common infections, the role of environmental conditions, and the importance of community-based response mechanisms. The findings suggest that urban disease burdens are shaped by poor sanitation, water insecurity, population displacement, and inconsistent health service delivery. Community awareness, informal care networks, and local health volunteers are shown to play an important role in mitigation.

The paper argues that infectious disease control in Yemeni cities requires more than emergency treatment. Sustainable improvement depends on prevention, surveillance, health education, and stronger coordination between local health actors and public institutions. The study concludes that community health responses should be supported through resilient urban health systems capable of addressing both immediate outbreaks and long-term structural vulnerability.

Key words: infectious diseases, urban Yemen, community health, public health response, disease prevalence

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENI REGIONS

Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Sabri, Mariam Al-Qadhi
Faculty of Health Sciences, University of Aden, Yemen

ABSTRACT

This study examines healthcare accessibility challenges in conflict-affected Yemeni regions, where war, displacement, damaged infrastructure, and workforce shortages have severely weakened the health system. Access to care is limited by distance, insecurity, cost, and the reduced functionality of health facilities. The paper explores how these barriers affect routine treatment, emergency care, maternal services, and chronic disease management.

The research is based on health systems and humanitarian public health literature. It focuses on the relationship between conflict conditions and the breakdown of service access. The findings suggest that healthcare barriers are not only physical but also institutional, as referral systems, supply chains, and administrative coordination have all been disrupted. Vulnerable groups such as women, children, older adults, and displaced families are especially affected by these limitations.

The paper argues that improving access in conflict settings requires flexible delivery models, local partnerships, and sustained support for primary care. Mobile health units, community health workers, and decentralized service delivery are identified as important strategies. The study concludes that healthcare accessibility in Yemen must be approached as a humanitarian and structural challenge that demands long-term recovery planning alongside emergency assistance.

Key words: healthcare access, conflict zones, Yemen, health systems, humanitarian crisis

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN

Malika Yusupova, Prof. Dr. Bekzod Karimov, Dr. Dilnoza Tashpulatova, Javlon Ergashev
Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Uzbekistan

ABSTRACT

This study explores the synthesis and characterization of novel organic compounds designed for potential pharmaceutical applications in Uzbekistan. The research is situated within the broader field of medicinal chemistry, where the development of structurally diverse molecules continues to play a central role in drug discovery and therapeutic innovation. By focusing on new organic frameworks, the study aims to contribute to the search for compounds with improved bioactivity, structural stability, and chemical suitability for further pharmaceutical testing.

The research is based on synthetic chemistry and analytical characterization approaches. It emphasizes the design of organic compounds through selected reaction pathways, followed by structural confirmation using modern spectroscopic and chemical analysis methods. The study also considers how substituent variation and molecular architecture influence physicochemical properties relevant to pharmaceutical use. The findings suggest that careful control of synthesis conditions is essential for obtaining compounds with desirable purity, stability, and potential biological relevance. In addition, the research highlights the importance of linking organic synthesis with pharmacological screening in order to identify promising candidates for further development.

The paper argues that pharmaceutical chemistry in Uzbekistan can benefit from stronger integration between laboratory synthesis, analytical evaluation, and applied medicinal research. Such an approach supports not only scientific advancement but also the development of local research capacity in drug-related chemistry. The study concludes that novel organic compounds should be examined not merely as isolated chemical products, but as part of a broader pipeline connecting molecular design with therapeutic innovation. This perspective is especially important for countries seeking to strengthen independent scientific and pharmaceutical research traditions.

Key words: organic synthesis, pharmaceutical chemistry, molecular characterization, medicinal compounds, Uzbekistan

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES

Assoc. Prof. Dr. Rustam Abdullaev
Faculty of Chemical Engineering, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan

ABSTRACT

This study examines the catalytic conversion of natural gas into value-added chemicals within Uzbek industrial processes. Natural gas remains one of the most important energy and chemical resources in Uzbekistan, and its conversion into higher-value products is a strategic issue for both industrial modernization and economic diversification. The research focuses on how catalytic methods can improve efficiency, reduce waste, and expand the range of downstream chemical products derived from hydrocarbon feedstocks.

The study is based on chemical engineering and industrial catalysis literature. It reviews major catalytic pathways used in natural gas upgrading, including reforming, oxidation, and selective conversion routes. The analysis emphasizes the importance of catalyst activity, selectivity, thermal stability, and resistance to deactivation in determining industrial performance. It also highlights the role of process optimization in improving product quality and reducing environmental impact. The findings suggest that catalytic technologies offer strong potential for converting abundant natural gas resources into economically valuable chemicals that support industrial growth.

The paper argues that natural gas utilization should move beyond simple energy consumption toward more integrated chemical production systems. In the Uzbek context, this shift can strengthen national competitiveness while promoting more efficient resource use. The study concludes that catalytic conversion is not only a technical process but also a strategic industrial pathway capable of linking raw material availability with higher-value manufacturing and sustainable chemical development.

Key words: natural gas conversion, catalysis, value-added chemicals, industrial chemistry, Uzbekistan

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH

Dr. Ananya Chatterjee, Rohit Sharma, Prof. Dr. Vivek Menon
Faculty of Science, University of Delhi, India

ABSTRACT

This study investigates the green synthesis of nanoparticles using plant extracts in Indian chemical research. As environmental concerns increasingly influence materials science, green synthesis has emerged as a promising alternative to conventional chemical and physical nanoparticle production methods. The research examines how plant-derived compounds can function as reducing and stabilizing agents in the formation of nanoparticles with potential applications in medicine, catalysis, and environmental technology.

The study is based on green chemistry and nanomaterials literature. It highlights the advantages of plant-mediated synthesis, including reduced toxicity, lower energy requirements, and compatibility with sustainable laboratory practices. The analysis also considers how phytochemical composition affects nanoparticle size, shape, and functional properties. The findings suggest that green synthesis can produce stable and biologically active nanoparticles while minimizing harmful by-products. In addition, the method supports the broader goal of environmentally responsible innovation in materials development.

The paper argues that plant-based nanoparticle synthesis offers a valuable pathway for combining traditional botanical knowledge with modern chemical research. In the Indian context, this approach can support both scientific innovation and ecological responsibility. The study concludes that green synthesis should be viewed as an important component of future nanotechnology development, especially where sustainability and biomedical relevance are central concerns.

Key words: green synthesis, nanoparticles, plant extracts, nanochemistry, sustainable materials

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS

Dr. Kunal Verma, Priya Nair
Faculty of Chemical Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, India

ABSTRACT

This paper examines electrochemical studies of corrosion inhibitors for industrial metals in Indian environments, where exposure to moisture, pollutants, and variable climatic conditions accelerates material degradation. Corrosion protection remains a major concern in industrial maintenance, infrastructure durability, and cost-effective metal preservation. The study explores how corrosion inhibitors can reduce metal damage and improve the long-term performance of industrial systems.

The research is grounded in electrochemistry and materials protection literature. It focuses on the behavior of inhibitor compounds in contact with common industrial metals and examines how adsorption, surface interaction, and polarization processes influence protective efficiency. The findings suggest that effective corrosion inhibitors must combine strong surface coverage with environmental compatibility and thermal stability. The study also notes that electrochemical methods provide reliable tools for evaluating inhibitor performance and understanding protection mechanisms.

The paper argues that corrosion control should be approached as both a scientific and an industrial priority. In India’s diverse environmental conditions, practical inhibitor selection can help reduce maintenance costs and extend service life. The study concludes that electrochemical analysis is essential for developing improved anti-corrosion strategies and for supporting safer, more sustainable industrial operations.

Key words: corrosion inhibition, electrochemistry, industrial metals, materials protection, India

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS

Dr. Ahmed Al-Hakimi, Noor Al-Haddad
Faculty of Science, Sana'a University, Yemen

ABSTRACT

This study analyzes water pollutants and chemical remediation methods in Yemeni urban areas, where deteriorating infrastructure and environmental stress have created serious challenges for water quality management. Urban water contamination has become a pressing public health and environmental issue, particularly in settings affected by conflict, rapid population growth, and limited treatment capacity. The research examines the main pollutant types affecting urban water systems and the chemical methods used to reduce their impact.

The study is based on environmental chemistry and water treatment literature. It considers contaminants such as heavy metals, industrial residues, and microbial indicators that compromise water safety. The analysis shows that remediation methods must be adapted to the local context, taking into account resource limitations, technical feasibility, and long-term maintenance. Chemical approaches such as coagulation, adsorption, oxidation, and pH adjustment are discussed as practical tools for improving water quality.

The paper argues that urban water remediation in Yemen requires integrated chemical and policy responses. Treatment strategies are most effective when they are linked to monitoring, infrastructure repair, and public awareness. The study concludes that improving water quality in Yemeni cities depends on a combination of scientific intervention and institutional commitment to environmental protection.

Key words: water pollutants, chemical remediation, urban water quality, Yemen, environmental chemistry

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN

Dr. Saleh Al-Mutairi, Huda Al-Qadhi
Faculty of Engineering, University of Aden, Yemen

ABSTRACT

This study explores polymer-based materials for desalination technologies in Yemen, where freshwater scarcity remains one of the most urgent environmental and social challenges. Desalination has gained importance as a potential response to water shortage, but its effectiveness depends on the performance of membranes and supporting materials. The paper investigates how polymer-based systems can improve desalination efficiency, durability, and operational stability.

The research is based on materials chemistry and water treatment literature. It focuses on the properties of polymer membranes, including selectivity, permeability, chemical resistance, and fouling behavior. The findings suggest that polymer-based materials offer significant advantages for desalination because they can be engineered to balance water flux with salt rejection while remaining adaptable to different operating conditions. The study also emphasizes the importance of material innovation in reducing energy demand and improving membrane lifespan.

The paper argues that desalination in Yemen should not rely solely on imported technologies but should also encourage local scientific and engineering development. By strengthening research on polymer materials, Yemen can improve the sustainability and affordability of water treatment systems. The study concludes that polymer-based desalination technologies represent an important pathway for addressing water scarcity through applied materials research and innovation.

Key words: desalination, polymer materials, membrane technology, water scarcity, Yemen

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS

Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Amri, Samira Al-Yamani, Dr. Tariq Al-Shami
Faculty of Pharmacy, University of Science and Technology, Yemen

ABSTRACT

This study investigates bioactive natural products from Yemeni medicinal plants, focusing on their potential value for pharmaceutical and therapeutic research. Yemen's diverse plant heritage includes many species used in traditional healing practices, yet their chemical and biological properties remain insufficiently explored. The paper examines how natural products from these plants may contribute to the discovery of new bioactive compounds with medicinal relevance.

The research is grounded in natural product chemistry and pharmacognosy literature. It considers phytochemical composition, extraction approaches, and the relationship between traditional usage and modern scientific evaluation. The findings suggest that Yemeni medicinal plants contain a range of secondary metabolites that may support antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and other bioactive functions. The study also highlights the importance of systematic analysis to connect ethnobotanical knowledge with laboratory-based validation.

The paper argues that medicinal plant research in Yemen should be viewed as both a scientific and a cultural project. It can support drug discovery while preserving traditional knowledge systems that have long shaped local healthcare. The study concludes that bioactive natural products from Yemeni plants deserve further investigation as a source of sustainable pharmaceutical innovation and regional scientific development.

Key words: natural products, medicinal plants, Yemen, bioactive compounds, pharmacognosy

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA

Prof. Dr. Ion Brinza, Elena Cebotari, Victor Rusu
Faculty of Electronics and Telecommunications, Technical University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines the optimization of wireless communication modules for Internet of Things applications in Moldova, where digital connectivity is increasingly important for smart infrastructure, industrial monitoring, and emerging service systems. As IoT technologies expand across agriculture, urban management, transport, and environmental monitoring, the reliability and efficiency of wireless modules become critical for stable data exchange and long-term system performance. The research explores how communication design can be improved to meet the technical demands of low-power, low-latency, and adaptive IoT environments.

The study is based on a review of wireless communication engineering literature and IoT system design principles. It focuses on module architecture, energy consumption, signal stability, transmission range, and interoperability across device networks. The findings suggest that effective optimization requires careful balancing of power efficiency, bandwidth use, and communication reliability. It also shows that modular design can improve scalability, allowing systems to adapt to different application contexts without excessive hardware complexity. In addition, the study highlights the importance of environmental conditions, especially in rural or infrastructure-limited areas where connection quality may fluctuate.

The paper argues that wireless module optimization should not be understood only as a hardware issue, but as part of a broader digital ecosystem. In Moldova, IoT applications can benefit from systems that are flexible, resilient, and cost-conscious. The study concludes that strong communication module design supports the wider development of smart services, connected devices, and intelligent monitoring systems, making it a key component of technological modernization.

Key words: wireless communication, IoT applications, module optimization, Moldova, smart systems

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY

Dr. Rahman Siddique, Farhana Islam, Mahmudul Hasan, Prof. Dr. Kamal Uddin
Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

This paper investigates the design and performance analysis of energy-efficient CMOS circuits within the Bangladeshi electronics industry. As electronic systems become more widespread in communication devices, consumer technologies, and industrial applications, power efficiency and circuit stability have become central concerns. The study explores how CMOS design strategies can reduce energy consumption while maintaining reliable performance in practical applications.

The research is grounded in electronic engineering literature and circuit design principles. It focuses on transistor sizing, switching behavior, leakage reduction, and layout optimization as important factors in improving circuit efficiency. The findings suggest that energy-efficient CMOS design can significantly support low-power operation, extend device lifespan, and reduce thermal stress. It also highlights the importance of adapting design methods to local manufacturing conditions and industrial requirements in Bangladesh.

The paper further argues that efficiency should be considered alongside scalability and reliability, since electronic products must function consistently across different usage contexts. In the Bangladeshi electronics sector, optimized CMOS circuits can contribute to improved product quality and more sustainable technology development. The study concludes that energy-conscious design is essential for strengthening the competitiveness of the electronics industry and supporting the transition toward more sustainable hardware solutions.

Key words: CMOS circuits, energy efficiency, circuit design, Bangladesh, electronics industry

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH

Assoc. Prof. Dr. Nusrat Jahan, Tariq Mahmud
Faculty of Engineering and Technology, University of Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

This study examines the development of smart antenna systems for 5G networks in Bangladesh, where next-generation communication infrastructure is becoming increasingly important for digital connectivity, mobile service quality, and network capacity. As user demand grows and spectrum efficiency becomes more critical, smart antenna technologies offer a promising approach to improving signal direction, reducing interference, and supporting high-performance wireless communication.

The paper is based on a review of wireless communication and antenna engineering literature. It focuses on beamforming, spatial filtering, adaptive signal control, and multi-antenna configuration as core elements of smart antenna performance. The findings suggest that these systems can strengthen 5G networks by increasing coverage quality, improving data transmission efficiency, and supporting dense urban communication environments. They also offer advantages in managing traffic growth and maintaining stable service in areas with limited network resources.

The study further notes that implementation depends on integration with existing infrastructure, technical expertise, and cost-sensitive deployment strategies. It argues that smart antenna development should be linked to broader planning for digital transformation and telecommunications expansion in Bangladesh. The paper concludes that smart antenna systems represent an important technological direction for building more responsive, efficient, and future-ready 5G networks.

Key words: smart antennas, 5G networks, beamforming, wireless communication, Bangladesh

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA

Samira Benali, Yacine Meziane, Prof. Dr. Karim Ould Ahmed
Faculty of Electrical Engineering, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This paper explores fault-tolerant control systems in industrial electronics applications in Algeria, where reliability, safety, and operational continuity are essential for modern industrial environments. Industrial electronic systems often operate under conditions that involve voltage fluctuations, component wear, and unexpected disturbances. The study examines how fault-tolerant control strategies can help maintain system performance and reduce the impact of technical failures.

The research draws on industrial automation and control systems literature. It focuses on redundancy, fault detection, adaptive control, and reconfiguration methods as core features of resilient electronic systems. The findings suggest that fault-tolerant designs improve stability by allowing systems to continue operating even when certain components fail or underperform. This is especially important in industries where interruptions can affect productivity, equipment lifespan, and safety outcomes.

The paper also highlights the need for practical implementation strategies that match local industrial conditions. In Algeria, where industrial modernization is ongoing, fault-tolerant systems can support more reliable automation and improve the resilience of electronic control architectures. The study concludes that such systems are a key part of industrial innovation and should be integrated into future design and maintenance planning.

Key words: fault tolerance, industrial electronics, control systems, Algeria, automation reliability

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS

Dr. Rachid Bensouilah, Amel Zerhouni
Faculty of Engineering, University of Oran, Algeria

ABSTRACT

This study investigates the design of embedded systems for solar energy management in Algerian desert regions, where strong solar potential creates important opportunities for sustainable energy use. At the same time, harsh environmental conditions, remote settlements, and limited grid access require energy systems that are efficient, autonomous, and reliable. The paper examines how embedded technologies can support monitoring, regulation, and optimization in solar energy applications.

The study is based on renewable energy and embedded systems literature. It focuses on system control, energy storage coordination, sensor integration, and real-time performance monitoring as important functions of solar management platforms. The findings indicate that embedded systems can improve energy efficiency by regulating power flow, protecting equipment, and adapting to changing environmental conditions. They also provide an effective basis for decentralized energy solutions in desert environments.

The paper further argues that solar management systems should be designed with long-term durability, low maintenance, and adaptive control in mind. In Algerian desert regions, embedded solutions can support both local electrification and broader energy transition goals. The study concludes that embedded systems are essential for making solar energy more usable, stable, and technologically sustainable in remote and climate-challenging areas.

Key words: embedded systems, solar energy management, desert regions, Algeria, renewable technology

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA

Dr. Nabil Khelifi, Youssef Boukhalfa, Dr. Lina Haddadi
Faculty of Electronics and Computer Engineering, University of Constantine, Algeria

ABSTRACT

This study examines the application of machine learning in electronic signal processing systems in Algeria, where intelligent algorithms are increasingly relevant for communication, sensing, and automated analysis. As signal environments become more complex, traditional processing methods may be insufficient for extracting patterns, reducing noise, and adapting to changing conditions. The research explores how machine learning can enhance the performance and flexibility of electronic signal processing systems.

The paper is based on digital signal processing and machine learning literature. It focuses on classification, pattern recognition, adaptive filtering, and predictive modeling as important machine learning functions in electronic systems. The findings suggest that these methods can improve accuracy, reduce processing delays, and support more responsive decision-making in real-time signal environments. They also offer advantages in applications that involve variable or noisy input conditions.

The study also notes that successful implementation requires careful model selection, data quality, and computational efficiency. It argues that machine learning should be used as a complementary tool that strengthens rather than replaces core signal processing principles. In the Algerian context, this approach can support technological development in communications, automation, and intelligent electronics. The paper concludes that machine learning offers a strong pathway for improving signal processing systems and expanding the capabilities of future electronic applications.

Key words: machine learning, signal processing, electronic systems, Algeria, intelligent algorithms

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE

Prof. Dr. Oleksandr Kovalenko, Iryna Shevchenko
Faculty of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This paper investigates FPGA-based digital system design for telecommunication applications in Ukraine, where flexible and high-performance digital hardware is increasingly important for modern communication infrastructure. FPGAs offer adaptable processing capabilities that are well suited to telecom systems requiring speed, configurability, and efficient hardware utilization. The study examines how FPGA design can support communication tasks such as modulation, routing, signal processing, and protocol implementation.

The research is grounded in digital systems and telecommunications engineering literature. It focuses on logic synthesis, parallel processing, system integration, and real-time performance as key elements of FPGA-based design. The findings suggest that FPGA platforms provide significant advantages for telecommunication systems by allowing hardware reconfiguration, improving processing speed, and supporting specialized communication functions. They are especially useful in environments where rapid adaptation and technical flexibility are required.

The paper also emphasizes the importance of balancing performance with design complexity and power use. In Ukraine, FPGA-based solutions can contribute to more resilient and efficient telecommunication infrastructure. The study concludes that digital system design with FPGAs is a valuable approach for advancing communication technology and strengthening the technical base of telecom applications.

Key words: FPGA design, digital systems, telecommunications, Ukraine, hardware flexibility

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Elena Rotaru, Sergiu Munteanu
Faculty of Agricultural Sciences, Technical University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines sustainable viticulture practices and soil fertility management in Moldovan agricultural systems, where grape cultivation remains an important component of rural livelihoods, local identity, and agri-food production. The research focuses on how vineyard management strategies can support long-term soil productivity while reducing the environmental pressures associated with intensive farming. In particular, the study explores the relationship between soil health, nutrient balance, organic matter conservation, and vineyard sustainability.

The analysis is grounded in agronomy and soil management literature, with attention to conservation-oriented viticulture methods. It highlights the importance of cover cropping, compost application, reduced tillage, and integrated nutrient management in maintaining soil structure and biological activity. The findings suggest that sustainable vineyard production depends on practices that protect the soil from degradation while supporting stable crop performance. Soil fertility is shown to be closely linked to water retention, microbial diversity, and the responsible use of fertilizers and organic amendments.

The study also emphasizes that Moldovan viticulture must respond to climate variability and changing production demands. Sustainable soil management is therefore not only a technical issue but also a strategic one, affecting productivity, environmental resilience, and the future viability of agricultural landscapes. The paper argues that farmer training, policy support, and extension services are essential for promoting wider adoption of sustainable practices. It concludes that viticulture in Moldova can remain economically productive and environmentally responsible when soil fertility management is treated as a long-term priority within rural agricultural planning.

Key words: sustainable viticulture, soil fertility, Moldova, vineyard management, agricultural sustainability

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS

Prof. Dr. Ion Luca, Maria Ceban, Andrei Vicol
Faculty of Agriculture, State University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This paper explores climate change adaptation strategies for crop production in Moldova's rural areas, where shifting rainfall patterns, temperature variability, and increased weather extremes are affecting agricultural stability. Crop farming remains highly dependent on seasonal conditions, making adaptation a central concern for food security, rural income, and sustainable land use. The study examines how farmers and agricultural institutions can respond to these environmental pressures through practical and context-sensitive strategies.

The research is based on climate adaptation and agricultural systems literature. It highlights key approaches such as crop diversification, improved irrigation management, drought-tolerant varieties, soil moisture conservation, and adjusted planting calendars. The findings suggest that adaptation is most effective when it combines technical measures with local knowledge and institutional support. The study also notes that smallholder farmers face specific challenges in accessing inputs, weather information, and investment for adaptive practices.

The paper argues that climate resilience in Moldovan agriculture requires more than short-term coping responses. It depends on long-term planning, extension support, and policies that encourage flexible and environmentally responsible crop production. The study concludes that rural agriculture in Moldova can remain viable under climate stress when adaptation is embedded in everyday farming decisions and supported through coordinated public action.

Key words: climate adaptation, crop production, rural Moldova, agricultural resilience, farming systems

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH

Dr. Rahman Siddique, Farzana Akter, Mahmudul Hasan, Tariq Islam
Faculty of Agriculture, Bangladesh Agricultural University, Bangladesh

ABSTRACT

This study investigates the optimization of rice production through precision agriculture technologies in Bangladesh, where rice remains the foundation of food security and rural livelihoods. The research explores how modern digital tools can improve crop management, increase efficiency, and support more sustainable rice farming systems. With rising pressure on land, water, and input use, precision agriculture offers a way to align productivity goals with resource conservation.

The study is based on literature from agronomy, digital farming, and crop management. It focuses on the use of technologies such as field sensors, satellite-based monitoring, variable input application, and data-supported decision-making. The findings suggest that precision agriculture can help farmers better match fertilizer use, irrigation timing, and field treatment to crop needs. This can improve rice growth while reducing waste, production costs, and environmental stress.

The paper also notes that adoption depends on access to training, affordability, and practical relevance for small and medium farms. It argues that technology should not be introduced as a stand-alone solution, but as part of a broader agricultural support system. The study concludes that precision farming can contribute significantly to rice production optimization in Bangladesh when combined with extension services, farmer education, and policy support.

Key words: precision agriculture, rice production, Bangladesh, digital farming, crop optimization

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH

Dr. Kamal Uddin, Nusrat Jahan
Faculty of Agriculture, Khulna University, Bangladesh

ABSTRACT

This paper examines salinity management and its impact on agricultural productivity in coastal Bangladesh, where seawater intrusion, tidal movement, and changing rainfall patterns continue to threaten farming systems. Salinity has become one of the most serious environmental constraints in the coastal belt, affecting soil quality, crop performance, and farmer livelihoods. The study investigates how salinity management strategies can reduce damage and support more stable agricultural production.

The research draws on soil science and coastal agriculture literature. It focuses on adaptation measures such as salt-tolerant crop selection, improved drainage, freshwater conservation, soil amendment, and modified irrigation practices. The findings suggest that salinity affects not only crop yields but also soil structure, nutrient availability, and long-term land productivity. The study also highlights the role of local knowledge and field-level adaptation in managing saline conditions.

The paper argues that sustainable agriculture in coastal Bangladesh requires integrated salinity control rather than isolated technical fixes. Effective management depends on coordinated water governance, crop planning, and support for farming communities exposed to environmental stress. The study concludes that salinity management is essential for protecting agricultural productivity and rural food security in coastal regions.

Key words: salinity management, coastal agriculture, Bangladesh, soil productivity, crop adaptation

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA

Dr. Ahmed Benali, Samira Toumi, Yacine Boudiaf
Faculty of Agricultural Sciences, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This study explores desert agriculture innovations for water-efficient crop cultivation in Algeria, where limited rainfall, high evaporation, and fragile soils make sustainable farming especially difficult. Agriculture in arid environments requires techniques that minimize water loss while supporting productive and resilient crop systems. The research examines how innovation in irrigation, crop selection, and soil management can improve agricultural viability in desert regions.

The paper is based on literature related to arid agriculture, water management, and sustainable farming systems. It highlights strategies such as drip irrigation, moisture conservation, protected cultivation, drought-resistant crops, and improved soil conditioning. The findings suggest that water-efficient agriculture depends on combining traditional adaptation practices with modern technical solutions. The study also notes that success in desert farming requires careful attention to local climatic conditions and resource limitations.

The paper argues that agricultural innovation in Algeria should be understood as a practical response to environmental scarcity and rural development needs. It concludes that desert agriculture can contribute to food production and livelihood stability when supported by research, extension services, and sustainable water governance.

Key words: desert agriculture, water efficiency, Algeria, arid farming, crop cultivation

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS

Assoc. Prof. Dr. Karim Belhadi, Lina Cherif, Nadir Meziane, Salima Ould
Faculty of Forestry and Agricultural Sciences, University of Constantine, Algeria

ABSTRACT

This study examines agroforestry systems and their contribution to biodiversity conservation in northern Algerian regions. Agroforestry has gained attention as a sustainable land-use strategy that combines agricultural production with ecological protection. In landscapes facing soil degradation, habitat loss, and pressure from intensive farming, agroforestry offers a way to support both rural livelihoods and environmental stability.

The research draws on agroecology and biodiversity conservation literature. It focuses on tree-crop integration, habitat diversity, soil improvement, and microclimatic regulation as major benefits of agroforestry systems. The findings suggest that agroforestry can enhance species diversity, improve soil structure, and reduce erosion while maintaining productive agricultural use. The study also notes that mixed systems are often more resilient to climatic stress than simplified monoculture landscapes.

The paper argues that agroforestry should be promoted not only as a conservation strategy but also as a practical development model for northern Algeria. It requires institutional support, farmer participation, and land-use planning that values ecological functions alongside production goals. The study concludes that agroforestry can play a meaningful role in conserving biodiversity while strengthening the sustainability of agricultural landscapes.

Key words: agroforestry, biodiversity conservation, northern Algeria, sustainable land use, ecological resilience

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING

Assis. Prof. Dr. Mourad Ziani, Amina Ferhat
Faculty of Agriculture, University of Setif, Algeria

ABSTRACT

This paper investigates soil erosion control methods and their effectiveness in Algerian highland farming, where sloping terrain, rainfall variability, and land degradation create major challenges for agricultural sustainability. Soil erosion threatens productivity, reduces fertility, and increases the difficulty of maintaining stable rural livelihoods. The study explores how physical, biological, and management-based control measures can reduce erosion and support long-term land use.

The research is grounded in soil conservation and mountain agriculture literature. It examines terracing, contour farming, vegetation cover, wind barriers, and conservation tillage as major approaches to erosion control. The findings suggest that the effectiveness of these methods depends on slope conditions, local climate, soil type, and farmer participation. The study also highlights that erosion control is most successful when it is integrated into broader land management practices rather than applied in isolation.

The paper argues that highland farming in Algeria requires sustained investment in conservation-oriented agriculture. It concludes that erosion control methods can protect soil resources and improve productivity when they are adapted to local conditions and supported through extension services and rural policy.

Key words: soil erosion, highland farming, Algeria, soil conservation, agricultural sustainability

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES

Dr. Oleksandr Shevchenko, Iryna Kovalenko, Mykola Bondar
Faculty of Agricultural Engineering, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This study examines precision farming technologies for wheat production in Ukrainian agricultural enterprises, where efficiency, input optimization, and climate variability are central concerns. Wheat remains a key crop in Ukraine's agricultural economy, and precision technologies offer a way to improve productivity while reducing unnecessary resource use. The research explores how modern tools can support better decision-making in planting, fertilization, irrigation, and crop monitoring.

The paper is based on agronomy and digital agriculture literature. It focuses on technologies such as GPS-guided machinery, remote sensing, yield mapping, and variable-rate application systems. The findings suggest that precision farming can improve wheat production by aligning management practices with field variability and crop needs. It also helps reduce input losses, increase operational efficiency, and support more sustainable enterprise-level farming.

The study further notes that adoption depends on investment capacity, technical training, and integration with existing farm structures. It argues that precision agriculture should be understood as part of a broader modernization process in Ukrainian farming rather than as a purely technological upgrade. The study concludes that wheat production can become more resilient and efficient when precision tools are used in combination with informed management and strategic planning.

Key words: precision farming, wheat production, Ukraine, agricultural enterprises, digital agriculture

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOONOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA

Dr. Ana Marinescu
Faculty of Veterinary Medicine, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, Romania

ABSTRACT

This study examines the epidemiology of zoonotic diseases in livestock populations in rural Romania, where animal husbandry remains an essential part of local livelihoods and food production. Rural livestock systems are often affected by limited veterinary access, variable biosecurity, and close human-animal contact, all of which increase the importance of zoonotic disease surveillance. The paper explores how livestock health conditions influence both animal productivity and public health risk in agricultural communities.

The study is based on veterinary epidemiology literature and rural animal health research. It considers the role of herd management, movement patterns, sanitation practices, and farm-level prevention in the spread of zoonotic infections. The findings suggest that disease transmission is shaped by farm structure, veterinary service availability, and the degree of contact between animals, workers, and local environments. The analysis also highlights the importance of early detection and routine monitoring in reducing the public health burden of livestock-associated diseases.

The paper argues that zoonotic disease control in rural Romania requires an integrated approach that combines animal health surveillance, farmer education, and coordination between veterinary and public health authorities. Strengthening preventive systems can improve both livestock productivity and community safety. The study concludes that epidemiological understanding of zoonotic diseases is essential for developing more resilient rural veterinary systems and for supporting sustainable agriculture in Romania.

Key words: zoonotic diseases, livestock epidemiology, rural Romania, veterinary public health, disease surveillance

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS

Dr. Sorin Georgescu, Prof. Dr. Andrei Popa, Dr. Elena Ionescu, Mihai Dumitrescu
Faculty of Veterinary Medicine, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This paper investigates recent advances in veterinary vaccination strategies for cattle health management in Romanian farms. Cattle production remains a major component of agricultural livelihoods, and disease prevention is central to maintaining herd health, productivity, and farm sustainability. The study examines how vaccination programs can be adapted to changing disease patterns, farm conditions, and veterinary service capacities.

The research is grounded in veterinary preventive medicine literature and cattle health management studies. It focuses on immunization planning, herd-level disease control, vaccine coverage, and the role of veterinary guidance in implementing effective prevention programs. The findings suggest that vaccination strategies are most effective when they are integrated into broader herd management systems that include biosecurity, nutrition, and regular health monitoring. The study also notes that farmer awareness and veterinary access are important factors in program success.

The paper argues that cattle vaccination should be understood as a proactive health strategy rather than a reactive response to outbreaks. In Romanian farms, sustainable vaccination programs can reduce disease incidence, improve animal welfare, and support stable livestock production. The study concludes that advances in vaccination must be accompanied by institutional support, veterinary training, and consistent disease surveillance in order to strengthen cattle health management.

Key words: veterinary vaccination, cattle health, Romanian farms, disease prevention, herd management

ISBN NR. : 978-625-8795-37-0

PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Dr. Youssef El Idrissi, Fatima Zahra Bennani, Khalid Amrani
Faculty of Veterinary Sciences, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This study presents a parasitological analysis of sheep and goat diseases in Moroccan agricultural systems, where small ruminants play a central role in rural livelihoods, meat production, and household income. Parasitic infections remain a persistent challenge in these systems because of grazing practices, climate variability, and limited access to veterinary services. The paper explores the impact of parasitic disease on animal health, productivity, and farm sustainability.

The study is based on parasitology and livestock health literature, with attention to field-level disease patterns in small ruminant populations. It examines how internal and external parasites affect growth, reproduction, feed efficiency, and general well-being. The findings suggest that parasitic burden is shaped by seasonal conditions, pasture management, and preventive treatment practices. The study also highlights the need for regular diagnosis and timely intervention to reduce production losses.

The paper argues that parasitological control in Moroccan agricultural systems should combine treatment, prevention, and farmer education. Sustainable management depends on monitoring parasite distribution, improving veterinary access, and encouraging better herd hygiene. The study concludes that effective parasitological analysis is essential for protecting small ruminant health and supporting rural agricultural resilience in Morocco.

Key words: parasitology, sheep and goats, Morocco, livestock health, disease control