



ABMYOD

**İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
ANADOLU BİL MESLEK YÜKSEKOKULU DERGİSİ**

ISTANBUL AYDIN UNIVERSITY
JOURNAL OF ANADOLU BİL VOCATIONAL SCHOOL OF HIGHER EDUCATION

Yıl 21 Sayı 73 - Ocak-Temmuz 2026
Year 21 Issue 73 - January-July 2026

Genel DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005
Cilt 21 Sayı 73 DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/2026.2173
dergipark.org.tr/tr/pub/aydingas

ABMYOD

ISSN 1306-3375 / E-ISSN 2148-9998

Sahibi/Proprietor

Prof. Dr. Mustafa AYDIN (İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye)

Editör/Editor

Dr. Öğr. Üyesi Ayla ÜNVER ALÇAY

Editör Yardımcısı/Assoc. Editor

Prof. Dr. Candan VARLIK

Doğa ve Yaşam Bilimleri Alan Editörleri/ Section Editors for Natural and Life Sciences

Dr. Öğr. Üyesi Keriman ÖZDEMİR- Kastamonu Üniversitesi / Kastamonu University

Dr. Öğr. Üyesi Rahmi Can ÖZDEMİR - Kastamonu Üniversitesi / Kastamonu University

Mühendislik Bilimleri Alan Editörleri/ Section Editors for Engineering Sciences

Dr. Öğr. Üyesi Kadir ARAM-Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi / Fatih Sultan Mehmet Vakıf University

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GENÇOĞLU-İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi / Istanbul Sabahattin Zaim University

Yabancı Dil Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Vildan BAYRAM

İdari Koordinatör

Dr. Öğr. Üyesi Burak SÖNMEZER

Grafik Tasarım/Graphic Design

Başak GÜNDÜZ

Türkçe Redaksiyonu/Turkish Redaction

Umut ÖZDEMİR

İngilizce Redaksiyonu/English Redaction

Umut ÖZDEMİR

Dil/Language

Türkçe/Turkish-İngilizce/English

Yayın Periyodu/Publication Period

Yılda iki kere yayınlanır./Published twice a year. Ocak ve Temmuz/January&July

Dergi Sekreteri

Beyza Ateşman

E mail:batesman@aydin.edu.tr

Yazışma Adresi

İstanbul Aydın Üniversitesi, Florya Yerleşkesi

Beşyol Mah. İnönü Cad. No 38 Sefaköy, 34295

Küçükçekmece/İstanbul Türkiye

Tel:4441428, Faks:0212 425 57 59

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abmyoder>; <https://abmyod.aydin.edu.tr/>

E-mail: abmyoderjisi@aydin.edu.tr; abmyojournal@aydin.edu.tr

Baskı/Printed by

Levent Baskı Merkezi Sanayi Ticaret Limited Şirketi

Adres:Emniyetevler Mah. Yeniçeri Sok. No:6/A Kağıthane/İstanbul

TeL: 0212 270 80 70; Mail:info@leventbaskimerkezi.com, grafik2@amoninuanas.com

EBSCO Tarafından Uluslararası Taranmaktadır.

ASOS İndeks Tarafından Taranmaktadır.

Yazışma Adresi: Beşyol Mahallesi İnönü Cad. No: 38 Küçükçekmece, İSTANBUL **Tel:** 444 1 428 **Faks:** 0 212 425 57 59 **www.aydin.edu.tr**

Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi özgün bilimsel araştırmalar ile uygulama çalışmalarına yer veren ve bu niteliği ile hem araştırmacılara hem de uygulamadaki akademisyenlere seslenmeyi amaçlayan hakemli bir dergidir. / Journal of Anadolu Bil Vocational School of Higher Education is a double-blind peer-reviewed journal which provides a platform for publication of original scientific research and applied practice studies. Positioned as a vehicle for academics and practitioners to share field research, the journal aims to appeal to both researchers and academicians.

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. İbrahim Hakkı AYDIN - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Mustafa ÇIKRIKÇI - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Dr. Öğr. Üyesi Güven ÖZDEMİR - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Dr. Öğr. Üyesi Faris KOCAMAN - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Kamil BOSTAN - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Zafer ASLAN - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Hasan SAYGIN - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Berrin ERDAĞ - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Doç. Dr. İrem OMURTAG KORKMAZ - Marmara Üniversitesi / Marmara University
Prof. Dr. Nuray ERKAN - İstanbul Üniversitesi / Istanbul University
Prof. Dr. Esra ALTINTIĞ - Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Sakarya University of Applied Sciences
Prof. Dr. Ebru BARDAŞ ÖZKAN - Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi / Erzincan Binali Yıldırım University
Dr. Öğr. Üyesi Pınar YILDIRIM - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Çanakkale Onsekiz Mart University

Bilim Kurulu / Scientific Board

Dr. Öğr. Üyesi Aycan BAŞ - Afyon Kocatepe Üniversitesi / Afyon Kocatepe University
Prof. Dr. Ali AYDIN - İstanbul Üniversitesi / Istanbul University
Prof. Dr. Ayşegül TAYLAN ÖZKAN - Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi / International Cyprus University
Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÇAKMAK SANCAR - İstanbul Esenyurt Üniversitesi / Istanbul Esenyurt University
Prof. Dr. Celal ATEŞ - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Muğla Sıtkı Koçman University
Prof. Dr. Ertan ERCAN - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Muğla Sıtkı Koçman University
Prof. Dr. Mehmet Cengiz DEVAL - Akdeniz Üniversitesi / Akdeniz University
Prof. Dr. Hamdi AYDIN - Kocaeli Üniversitesi / Kocaeli University
Prof. Dr. Işıl VAR - Çukurova Üniversitesi / Cukurova University
Doç. Dr. İsa VURAL - Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Sakarya University of Applied Sciences
Dr. Öğr. Üyesi Keriman Yürüten ÖZDEMİR - Kastamonu Üniversitesi / Kastamonu University
Prof. Dr. Mine ÇARDAK - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Çanakkale Onsekiz Mart University
Prof. Dr. Mustafa NIZAMLIOĞLU - İstanbul Gelişim Üniversitesi / Istanbul Gelisim University
Prof. Dr. Osman YILDIRIM - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Prof. Dr. Özkan ÖZDEN - İstanbul Üniversitesi / Istanbul University
Dr. Öğr. Üyesi Rahmi Can ÖZDEMİR - Kastamonu Üniversitesi / Kastamonu University
Prof. Dr. Rıfat MUTUŞ - İstanbul Gelişim Üniversitesi / Istanbul Gelisim University
Prof. Dr. Sevgi KARAKUŞ - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University
Doç. Dr. Serap SÜZÜK - Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi / Health Sciences University, Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Oncology Training and Research Hospital
Prof. Dr. Sühendan MOL - İstanbul Üniversitesi / Istanbul University
Prof. Dr. Ufuk KAMBER - Kafkas Üniversitesi / Kafkas University
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Feride OLCAY - İstanbul Aydın Üniversitesi / Istanbul Aydın University

Sayı Hakem Kurulu / Issue Referee Board

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak EMEKLİ - İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL AYDIN UNIVERSITY

Assoc. Prof. Dr. Nurlaila Binti İSMAIL - UNIVERSITI TEKNOLOGI MARA

Dr. Öğr. Üyesi Buket Er URGANCI - PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ / PAMUKKALE UNIVERSITY

Prof. Dr. Ebru BARDAŞ ÖZKAN - ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ / ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Semiha YALÇIN - MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ / MUĞLA SITKI KOÇMAN UNIVERSITY

Doç. Dr. Simten YEŞİLMEN ALP - DİCLE ÜNİVERSİTESİ / DİCLE UNIVERSITY

Doç. Dr. Burcu İrem OMURTAG KORKMAZ - MARMARA ÜNİVERSİTESİ / MARMARA UNIVERSITY

Prof. Dr. Hayrettin MUTLU - İSTANBUL SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL HEALTH AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Mustafa KAYA - İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL AYDIN UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Kadir ARAM - FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ / FATİH SULTAN MEHMET FOUNDATION UNIVERSITY

Doç. Dr. Emre Batuhan KENGER - BİLGİ ÜNİVERSİTESİ / BİLGİ UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Ecenur ÖZKUL ERDOĞAN - BAĞÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ / BAĞÇEŞEHİR UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Murat AY - İSTANBUL TOPKAPI ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL TOPKAPI UNIVERSITY

Doç. Dr. Murat DOĞAN - İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL GELİŞİM UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Buğra ERKARTAL - İSTANBUL TOPKAPI ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL TOPKAPI UNIVERSITY

Prof. Dr. Özer ERGÜN - İSTANBUL SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ / ISTANBUL HEALTH AND TECHNOLOGY UNIVERSITY

Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÇAKMAK SANCAR - ESENYURT ÜNİVERSİTESİ / ESENYURT UNIVERSITY

İçindekiler - Contents

Hybrid SARIMA-ANN approach for forecasting tourist arrivals in Malaysia Malezya'ya Gelen Turist Sayılarını Tahmin Etmek için Hibrit SARIMA-ANN Yaklaşımı <i>Wan Nurul Ain, Seuk Yen Phoong</i>	Araştırma / Research 1
---	----------------------------------

Üçlü negatif meme kanseri için yeni bir tedavi yaklaşımı A new treatment approach for triple-negative breast cancer <i>Özlem EROL, Gülbin EFŞİN</i>	Araştırma / Research 23
--	-----------------------------------

Amerikan yavru çürüklüğünde bakteriyofaj kullanımı Use of bacteriophages in american foulbrood <i>Alper METE, Deniz KESEN, Kemal METİNER</i>	Derleme / Review 37
---	-------------------------------

Investigation of nutritional attitudes and mindful eating among adults Yetişkinlerde beslenme tutumları ve yeme farkındalığının incelenmesi <i>Haydar ÖZPINAR, Nur Sultan ÇAKIR</i>	Araştırma / Research 61
--	-----------------------------------

Toplu taşımada varış süresi tahmini için karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerinin karşılaştırması Comparison of decision tree-based machine learning models for arrival time prediction in public transportation <i>Turgay SARIOĞLU, Hakan Burak EMEKLİ</i>	Araştırma / Research 75
--	-----------------------------------

Daphne oleoides subsp. kurdica'nın antimikrobiyal ve antifungal etkilerinin araştırılması Investigation of antimicrobial and antifungal effects of Daphne oleoides subsp. kurdica <i>Kemal METİNER, Barış HALAÇ, Oktay ÖZKAN, Belgi Diren SİĞİRCİ</i>	Araştırma / Research 97
--	-----------------------------------

Beslenme paradoksu: ultra-işlenmiş gıdaların biyolojik, davranışsal ve toplumsal yansımaları üzerine bir derleme The nutrition paradox: a review on the biological, behavioral, and societal implications of ultra-processed foods <i>Sema SELVİ, Can ERGÜN</i>	Derleme / Review 109
--	--------------------------------

Araştırma / Research

Knowledge and practices of students receiving cooking education about food safety: The example of Istanbul province

Aşçılık eğitimi alan öğrencilerin gıda güvenliğine ilişkin bilgi ve uygulamaları; İstanbul ili örneği

Hayrettin Mutlu, Murat Mutlu Tokay, Zeynep Ercan Karakaya129

Araştırma / Research

Bluetooth-controlled smart home automation with adaptive lighting and security

Bluetooth kontrollü, uyarlanabilir aydınlatma ve güvenlik özellikli akıllı ev otomasyonu

Kutay Damar, Mohammad Ruhul, Amin Bhuiyan, Hayati Mamur151

Araştırma / Research

MFCCFusionnet: A CNN–DNN feature-fusion model for speech emotion recognition using MFCC representations

MFCCFusionNet: MFCC temsilleri kullanılarak konuşma duygu tanıma için CNN–DNN tabanlı bir özellik birleştirme modeli

Neslihan GÜNDOĞAN, Buket İŞLER 171

DOI NUMBERS - DOI NUMARALARI

Hybrid SARIMA-ANN approach for forecasting tourist arrivals in Malaysia

Malezya'ya Gelen Turist Sayılarını Tahmin Etmek için Hibrit SARIMA-ANN Yaklaşımı

Wan Nurul Ain, Seuk Yen Phoong

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73001

Üçlü negatif meme kanseri için yeni bir tedavi yaklaşımı

A new treatment approach for triple-negative breast cancer

Özlem EROL, Gülbin EFŞİN

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73002

Amerikan yavru çürüklüğünde bakteriyofaj kullanımı

Use of bacteriophages in american foulbrood

Alper METE, Deniz KESEN, Kemal METİNER

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73003

Investigation of nutritional attitudes and mindful eating among adults

Yetişkinlerde beslenme tutumları ve yeme farkındalığının incelenmesi

Haydar ÖZPINAR, Nur Sultan ÇAKIR

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73004

Toplu taşımada varış süresi tahmini için karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerinin karşılaştırması

Comparison of decision tree-based machine learning models for arrival time prediction in public transportation

Turgay SARIOĞLU, Hakan Burak EMEKLİ

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73005

Daphne oleoides subsp. kurdica'nın antimikrobiyal ve antifungal etkilerinin araştırılması

Investigation of antimicrobial and antifungal effects of Daphne oleoides subsp. kurdica

Kemal METİNER, Barış HALAÇ, Oktay ÖZKAN, Belgi Diren SİĞİRCİ

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73006

Beslenme paradoksu: ultra-işlenmiş gıdaların biyolojik, davranışsal ve toplumsal yansımaları üzerine bir derleme

The nutrition paradox: a review on the biological, behavioral, and societal implications of ultra-processed foods

Sema SELVİ, Can ERGÜN

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73007

Knowledge and practices of students receiving cooking education about food safety: The example of İstanbul province

Aşçılık eğitimi alan öğrencilerin gıda güvenliğine ilişkin bilgi ve uygulamaları: İstanbul ili örneği

Hayrettin Mutlu, Murat Mutlu Tokay, Zeynep Ercan Karakaya

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73008

Bluetooth-controlled smart home automation with adaptive lighting and security

Bluetooth kontrollü uyarlanabilir aydınlatma ve güvenlik özellikli akıllı ev otomasyonu

Kutay Damar, Mohammad Ruhul Amin Bhuiyan, Hayati Mamur

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73009

MFCCFusionnet: A CNN–DNN feature-fusion model for speech emotion recognition using MFCC representations

MFCCFusionNet: MFCC temsilleri kullanılarak konuşma duygu tanıma için CNN–DNN tabanlı bir özellik birleştirme modeli

Neslihan GÜNDOĞAN, Buket İŞLER

10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i730010

A Hybrid SARIMA-ANN approach for forecasting tourist arrivals in Malaysia

Wan Nurul Ain^{*1}

Seuk Yen Phoong²

Geliş tarihi / Received: 28.01.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.02.2026

Kabul tarihi / Accepted: 12.06.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73001

Abstract

Accurate forecasting of tourist arrivals is essential for strategic planning and economic growth, particularly in Malaysia, where tourism is a key contributor to Gross Domestic Product. Traditional forecasting models, such as the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA), effectively capture linear and seasonal patterns but struggle with nonlinear dependencies. Conversely, Artificial Neural Network (ANN) excels at modeling nonlinear relationships but may fail to account for temporal dependencies. To address these limitations, this study proposes a hybrid SARIMA-ANN model that integrates the strengths of both models to improve forecasting accuracy. In this study, a hybrid SARIMA-ANN model is developed by first applying SARIMA to extract linear and seasonal components, followed by modeling its residuals using an ANN to capture any remaining nonlinear patterns. Empirical results demonstrate that the SARIMA-ANN model can provide a hybrid model with high accuracy due to its ability to effectively capture both linear and nonlinear patterns in time series data. SARIMA effectively captures seasonality and long-term trends, while ANN overcomes its limitations by identifying complex nonlinear relationships within the residuals. This combined model reduces forecasting errors by leveraging the strengths of both models, addressing limitations that each model individually cannot overcome. These findings highlight the effectiveness of hybrid time series modeling for forecasting tourist arrivals, suggesting its potential application in other domains

^{1*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: Sultan Idris Education University, wnainmarzuki@gmail.com ORCID: 0009-0001-4943-0031

² Sultan Idris Education University, phoong@fsmt.upsi.edu.my, ORCID: 0000-0002-9978-9771

where seasonal and nonlinear patterns exist. This study implies that it does not include external variables such as economic indicators, social media trends, or other external factors that influence tourism demand, which may limit the model's ability to capture sudden changes.

Keywords: *hybrid SARIMA-ANN, time series forecasting, tourist arrivals, hybrid model, accuracy*

Malezya'ya gelen turist sayılarını tahmin etmek için hibrit SARIMA-ANN yaklaşımı

Öz

Turist gelişlerinin doğru tahmin edilmesi, özellikle turizmin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'ya önemli katkı sağladığı Malezya'da stratejik planlama ve ekonomik büyüme için çok önemlidir. Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (SARIMA) gibi geleneksel tahmin modelleri, doğrusal ve mevsimsel kalıpları etkili bir şekilde yakalar ancak doğrusal olmayan bağımlılıklarla çatışır. Buna karşılık, Yapay Sinir Ağı (YSA), doğrusal olmayan ilişkileri modellemede mükemmeldir ancak zamansal bağımlılıkları hesaba katmada başarısız olabilir. Bu sınırlamaları ele almak için, bu çalışma, tahmin doğruluğunu artırmak amacıyla her iki modelin güçlü yönlerini entegre eden hibrit bir SARIMA-YSA modeli önermektedir. Bu çalışmada, öncelikle doğrusal ve mevsimsel bileşenleri çıkarmak için SARIMA uygulanarak, ardından kalan doğrusal olmayan kalıpları yakalamak için YSA kullanılarak artıkları modellenerek hibrit bir SARIMA-YSA modeli geliştirilmiştir. Ampirik sonuçlar, SARIMA-YSA modelinin, zaman serisi verilerindeki hem doğrusal hem de doğrusal olmayan kalıpları etkili bir şekilde yakalama yeteneği sayesinde yüksek doğrulukta bir hibrit model sağlayabileceğini göstermektedir. SARIMA, mevsimselliği ve uzun vadeli eğilimleri etkili bir şekilde yakalarken, yapay sinir ağı (YSA), artıklar içindeki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri belirleyerek sınırlamalarının üstesinden gelir. Bu birleşik model, her iki modelin güçlü yönlerinden yararlanarak ve her bir modelin tek başına üstesinden gelemeyeceği sınırlamaları ele alarak tahmin hatalarını azaltır. Bu bulgular, turist gelişlerini tahmin etmek için hibrit zaman serisi modellemesinin etkinliğini vurgulayarak, mevsimsel ve doğrusal olmayan kalıpların bulunduğu diğer alanlarda potansiyel uygulamasını göstermektedir. Bu çalışma, ekonomik göstergeler, sosyal medya eğilimleri veya turizm talebini etkileyen diğer

dış faktörler gibi dış değişkenleri içermediğini ve bunun da modelin ani değişiklikleri yakalama yeteneğini sınırlayabileceğini ima etmektedir.

Anahtar Kelimeler: hibrit SARIMA-YSSA, zaman serisi tahmini, turist gelişleri, hibrit model, doğruluk

Introduction

Forecasting of tourist arrivals is essential for effective planning and decision-making in the tourism industry (Huang and Zhang, 2024). Tourism in Malaysia plays an important role in contributing to the nation's economy. According to Tourism Malaysia (URL 1), the share of tourism income to the Gross Domestic Product (GDP) increased from 3.3% in 2000 to 7.4% in 2016. In 2017, the marketing activities from various shopping campaigns successfully boosted the tourist expenditure per capita, which expanded 3.2% with international tourist arrivals of 25.9 million and earned over RM 82.2 billion in receipts. In 2020, tourist arrivals in Malaysia decreased to 4.33 million compared to 26.1 million in 2019 due to the Covid-19 pandemic. The pandemic has put off the Visit Malaysia 2020 Campaign because of the travel restrictions worldwide.

Inaccurate forecasting of tourist arrivals can lead to ineffective resource allocation, financial losses, and misinformed policy decisions. Traditional models often fail to capture both seasonal trends and complex nonlinear relationships, resulting in unreliable predictions that may impact strategic planning in the tourism industry (Bouhaddour et al., 2024). The tourism industry has a big impact on the economic growth in Malaysia; thus, the forecasting number of tourist arrivals is crucial since it can be used to plan and improve the tourism-related industry.

In time series forecasting, there are a few types of forecasting models, but the most commonly used are time series models and causal econometric models. Traditional statistical models, such as the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA), have been widely employed to capture linear and seasonal patterns in time series data. However, these models often struggle to account for the complex nonlinear relationships inherent in tourism data. SARIMA struggles with nonlinear patterns, which are prevalent in tourism data due to varying factors like seasonality and economic conditions (My et al., 2024). Conversely, Artificial Neural

Networks (ANNs) are adept at modeling nonlinear patterns but may not effectively handle temporal dependencies and seasonality (Hewamalage et al., 2021).

To address these limitations, recent research has explored hybrid models that integrate SARIMA and ANN approaches, aiming to leverage the strengths of both methodologies for improved forecasting accuracy. The linear models could be the chosen models if they can estimate the data generation process well, but if they fail to perform, more complex nonlinear models should be considered (Yu et al., 2017). Based on a previous study, the hybrid model of Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) and Artificial Neural Network (ANN) has been developed to build a forecasting model to predict the number of tourist arrivals through Minangkabau International Airport in the future (Yollanda and Devianto, 2020). Since the residual of the SARIMA model has not fulfilled an autocorrelation assumption, they proposed a new model of SARIMA-ANN, which has a better performance based on the smallest value of Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Additionally, the SARIMA-ANN hybrid model has been applied in the field of hydrology and water resources to make accurate predictions of reservoir water levels in Red Hills, Tamil Nadu, India (Azad et al., 2022). Hybrid forecasting methods were applied to predict the indices of the consumer price index (CPI) and the expected number of cancer cases in Yemen's Ibb Province (Hadwan et al., 2022). The proposed methods include three models: the ARIMA model, the backpropagation neural network (BPNN) with adaptive slope and momentum parameters, a hybridization between ARIMA and BPNN (ARIMA/BPNN), and artificial neural networks and ARIMA (ARIMA/ANN) to gain the benefits of both linear and nonlinear modeling. Both studies highlight the effectiveness of hybrid models in improving forecasting accuracy. The SARIMA- ANN model enhances hydrological predictions, while the ARIMA-BPNN hybrid is useful in economic and health-related forecasting. These findings reinforce the adaptability of the hybrid model in diverse fields requiring precise time series predictions.

By integrating SARIMA's linear modeling strengths with ANN's nonlinear learning capabilities, the hybrid model is expected to deliver more accurate and reliable forecasts. Therefore, the objective of this study is to develop a

hybrid SARIMA-ANN model to describe the linear and nonlinear patterns independently. Then, it is used to forecast the tourist arrivals in Malaysia.

Materials and methods

Hybrid SARIMA-ANN model

Generally, the number of inspections contains both linear and nonlinear patterns due to the seasonality, randomness, and complexity presented in time series. Hence, it may be inadequate to apply the linear and nonlinear methods, respectively. SARIMA and ANN algorithms have the strength to model linear and nonlinear issues (Parviz, 2020). The process of the hybrid model starts with the SARIMA model is employed to extract the linear component of the time series. Then, the residuals and the lagged data are employed as input for statistical ANN techniques. Finally, predictions were made based on the chosen model. The equation can be expressed as:

$$y_t = L_t + N_t \quad (1)$$

where L_t refers to the linear pattern in SARIMA and N_t represents the nonlinear component. The residual derived from the SARIMA model can be explained as:

$$\varepsilon_t = y_t - \hat{L}_t \quad (2)$$

where $\hat{L}_t$ indicates the representative of the forecasted value of SARIMA for time t . The residual analysis is the crucial part of identifying the nonlinear pattern of data. The residual modeling can be expressed as follows:

$$\varepsilon_t = f(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-n}) + e_t \quad (3)$$

where f is a nonlinear function that can be determined by machine learning techniques and e_t is the random error. Figure 1 shows the flowchart of the hybrid SARIMA-ANN model which was adopted from Azad et. al (2022).

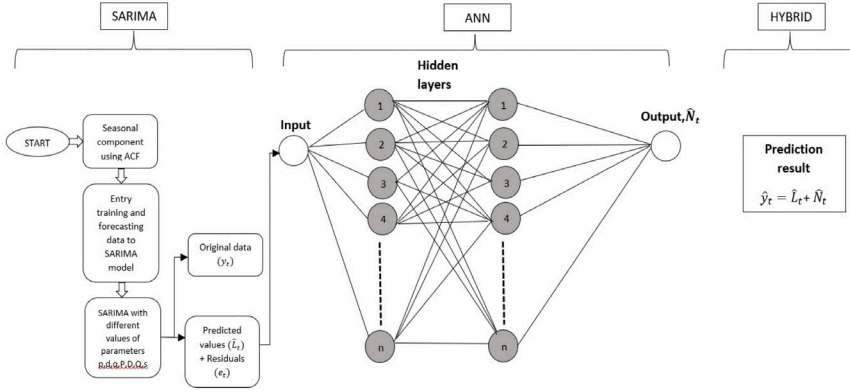


Figure 1. Flowchart of hybrid SARIMA-ANN model

The root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) are used to evaluate the performance of the hybrid SARIMA-ANN model based on the predicted and actual tourist arrivals. It can be formulated as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (5)$$

where y_t denotes the value of the observation at time t , $\hat{y}_t$ refers to the fitted value for the observation at time t , and demonstrates the length of the forecast horizon. These metrics are important in assessing the effectiveness of forecasting models in many applications. The hybrid model consistently depicts lower RMSE and MAE values compared to the individual model of SARIMA or ANN. For instance, the hybrid SARIMA-ANN model outperformed traditional models in solar radiation forecasting, demonstrating superior accuracy in capturing nonlinear trends (Mukaram and Yusof, 2017).

Study area

The monthly number of tourist arrivals in Malaysia is taken as the study area, which was obtained from the Tourism Malaysia website (URL 1).

The dataset used in this study is from January 2000 to December 2022 and contains 270 monthly observations.

Results and discussion

Before constructing a SARIMA model, firstly, we need to evaluate the fluctuation of the data used. Figure 2 shows the time series plot of the number of tourist arrivals in Malaysia.

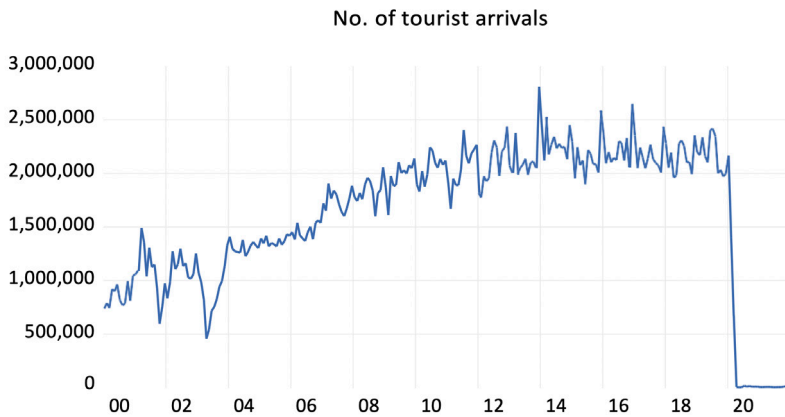


Figure 2. Time series plot of tourist arrivals in Malaysia

Based on Figure 2, the time series plot shows that the time series is an upward trend and that there is seasonality in the dataset. It also shows that the data is not stationary as its mean and variance are not constant through time. The ADF stationary test was conducted for this reason and it indicates that the dataset has a unit root which is non-stationary since the p-value is greater than

0.05. To make the data stationary, the data needs to be differencing and this process is repeated until the data is already stationary. Then, the parameters of p , q , P , and Q were identified by using ACF and PACF plots. The following figure shows the ACF and PACF plots after the first differencing.

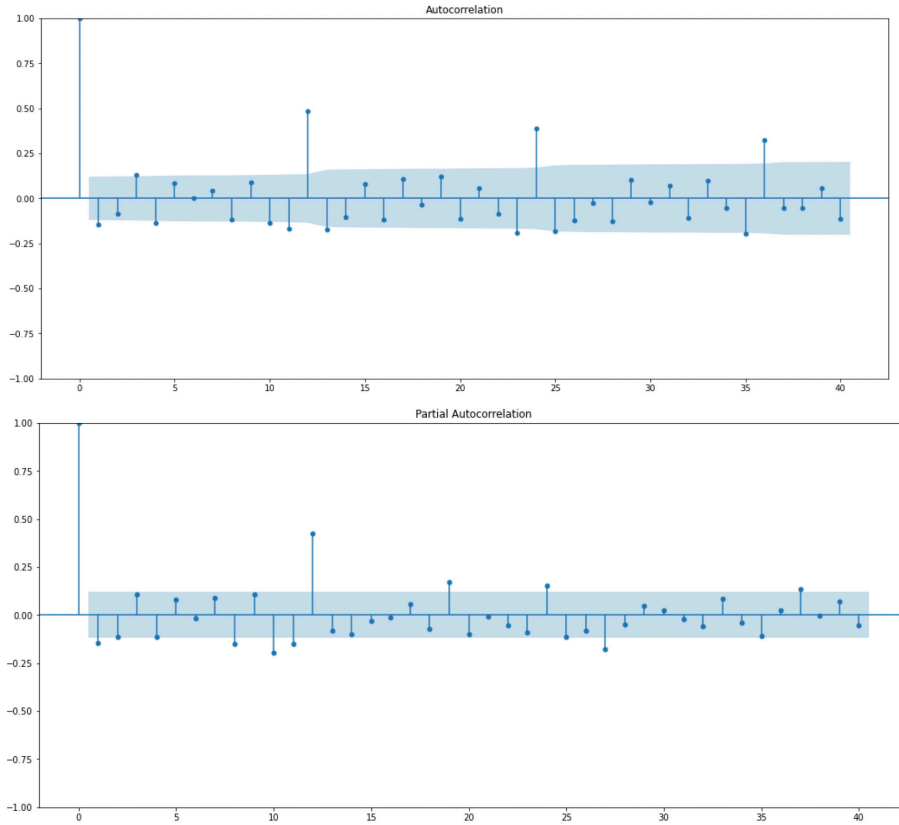


Figure 3. ACF and PACF plots after first differencing

In the earlier stage, the values for first-order non-seasonal differencing (d) and seasonal differencing (D) were determined as $d = 1$ and $D = 0$. Given that the dataset represents the monthly tourist arrivals in Malaysia, the seasonal period (S) is set to 12. To identify suitable values for p , q , P , and Q , the autocorrelation function (ACF) and partial autocorrelation function (PACF) were analyzed, as illustrated in Figure 3.

The ACF plot in Figure 3 exhibits a notable spike at lag 1, indicating a relationship between the current value and the previous error term, suggesting a non-seasonal MA(1) effect. Additionally, significant spikes appear at lag 12 and repeat at multiples of 12, such as 24 and 36, highlighting the presence of seasonality, which aligns with a seasonal MA(1) component.

Meanwhile, the PACF plot in Figure 3 shows a significant spike at lag 1, followed by a gradual decline, suggesting an AR(1) process. The occurrence of additional spikes at seasonal lags, particularly at lag 12, implies the presence of a seasonal AR component. The identified models would then be implemented using Python, evaluated for accuracy, and refined based on diagnostic checks and performance metrics.

The Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) are commonly used for model selection, each offering distinct benefits and limitations. AIC balances model fit with complexity, aiming to minimize information loss, whereas BIC applies a stricter penalty for model complexity, making it a more conservative selection criterion. AIC is particularly beneficial when working with smaller sample sizes, as it helps identify a model that effectively explains the data while avoiding overfitting (Kuiper, 2021).

The model selection process involves evaluating different parameter combinations, comparing their AIC values, and selecting the model with the lowest AIC as the most suitable for forecasting. Numerous studies have utilized AIC and BIC to determine the optimal SARIMA model (Farsi et al., 2021).

Table 1. SARIMA model comparison

Model	AIC	BIC
SARIMA(1,1,0)(1,0,1) ₁₂	5733.464	5746.946
SARIMA(1,1,1)(0,0,1) ₁₂	5748.707	5762.190
SARIMA(0,1,1)(1,0,1) ₁₂	5727.858	5741.341
SARIMA(0,1,0)(1,0,0) ₁₂	5736.789	5743.530
SARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	5747.259	5757.371

The SARIMA(0,1,1)(1,0,1)₁₂ model was identified as the most suitable, having the lowest AIC (5727.858) and BIC (5741.341) values. The estimated model parameters were $p = 0$, $d = 1$, $q = 1$, $P = 1$, $D = 0$, and $Q = 1$. The absence of a non-seasonal AR term suggests that the model primarily relies on seasonal components and differencing for predictions. The dataset was divided into training and testing sets to evaluate the model's

performance, following the commonly used 80:20 ratio, where 80% of the data was allocated for training and 20% for testing (Joseph, 2022). Figure 4 illustrates the selected SARIMA model parameters, processed using Python.

SARIMAX Results

Dep. Variable:

Tourists

No. Observations:

216

Model:

ARIMA(0, 1, 1)x(1, 0, 1, 12)

Log Likelihood

-2859.929

Date:

Tue, 27 Aug 2024

AIC

5727.858

Time:

11:54:58

BIC

5741.341

Sample:

01-01-2000

HQIC

5733.306

- 12-01-2017

Covariance Type:

opg

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
ma.L1	-0.3073	0.079	-3.901	0.000	-0.462	-0.153
ar.S.L12	0.8066	0.118	6.845	0.000	0.576	1.038
ma.S.L12	-0.4487	0.190	-2.364	0.018	-0.821	-0.077
sigma2	2.857e+10	8.99e-13	3.18e+22	0.000	2.86e+10	2.86e+10

Ljung-Box (L1) (Q):

0.13

Jarque-Bera (JB):

70.23

Prob(Q):

0.72

Prob(JB):

0.00

Heteroskedasticity (H):

0.88

Skew:

0.12

Prob(H) (two-sided):

0.58

Kurtosis:

5.79

Warnings:

[1] Covariance matrix calculated using the outer product of gradients (complex-step).

[2] Covariance matrix is singular or near-singular, with condition number 3.21e+38. Standard errors may be unstable.

Figure 4. Model parameters

Based on Figure 5, ma.L1 represents the non-seasonal moving average (MA) term, where $q = 1$ and the estimated coefficient of -0.30703 is statistically significant, as indicated by a p-value less than 0.05. This suggests that the immediate past residual has a notable impact on the current value. The negative coefficient implies that an increase in the previous residual leads to a decrease in the current predicted value (Box et al., 2008).

The seasonal autoregressive (AR) term, $P = 1$ denoted as ar.S.L12 in Figure 4, has a coefficient of 0.8066, which is also highly significant with a p-value less than 0.05. This indicates a strong seasonal autoregressive effect, where the value from 12 periods ago—corresponding to the same month in the previous year—positively influences the current value. Similarly, ma.S.L12, representing the seasonal moving average (MA) term with $Q = 1$ is statistically significant, with a coefficient of -0.4487 and a p-value less than 0.05. This finding suggests that the error from 12 months prior has an impact on the current value, with the negative coefficient indicating that a positive residual from the same period in the previous year reduces the current forecast (Hyndman and Athanasopoulos, 2018).

The estimated residual variance, represented by σ^2 in Figure 4, appears to be a large value. However, this is expected in models dealing with large-scale data, such as the number of tourist arrivals, as it reflects the magnitude of the dataset being analyzed (Chikobvu and Makoni, 2019). The SARIMA model comprised a non-seasonal MA(1), one seasonal AR(1) and one seasonal MA(1) polynomials. These polynomials are presented as:

$$(1 - \Phi_1 B^{12})(1 - B)X_t = (1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{12})Z_t \quad (6)$$

The parameters from the output given as $\Phi_1 = 0.8066$, $\theta_1 = -0.3073$ while $\Theta_1 = -0.4487$. By substituting the value of the parameters into equation (1), the SARIMA model equation can be as:

$$(1 - 0.8066B^{12})(1 - B)X_t = (1 + 0.3073B)(1 + 0.4487B^{12})Z_t \quad (7)$$

The next step is performing diagnostic checks for SARIMA models which is crucial to verify the model's adequacy and reliability in accurately capturing the underlying patterns within the data.

Figure 5 presents four plots. The top-left plot displays the residuals over time, showing no seasonal component, as it was removed during data preprocessing. In the top-right plot, the orange KDE line closely follows a normal (Gaussian) distribution, characterized by a mean (μ) and standard deviation (σ), which is desirable for model validation.

The bottom-left plot indicates that all blue dots align closely with the red reference line, suggesting that the residuals follow a normal distribution. Meanwhile, the bottom-right plot, a correlogram, demonstrates that the residuals exhibit low correlation with their lagged values, as most lags fall within the confidence intervals, confirming that the residuals are uncorrelated with the time series.

Overall, the SARIMA(0,1,1)(1,0,1)₁₂ model effectively captures both non-seasonal and seasonal components. The Ljung-Box test in Figure 4 yielded a p -value of 0.13, indicating no statistically significant autocorrelation in the residuals.

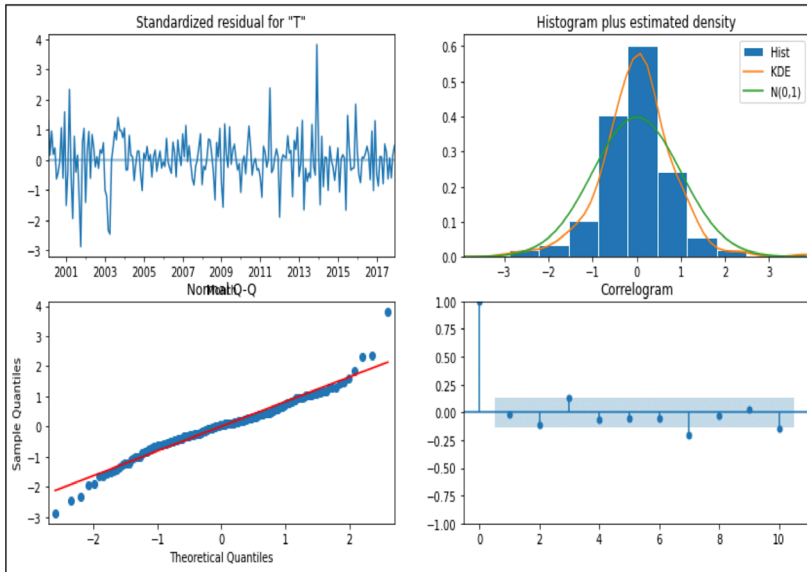


Figure 5. Residual diagnostic, histogram plus estimated density, normal Q-Q and correlogram

Figure 6 presents the actual and predicted values for the testing data. Initially, the model performs well, with the predicted values (orange line) closely aligning with the actual values (blue line) at the beginning of the series. However, at a certain point, the actual values experienced a sharp decline in March 2020, while the predicted values remained relatively stable. This noticeable discrepancy suggests that the model failed to account for a crucial structural change in the data.

The significant deviations between actual and predicted values in time series analysis often indicate that the model has not effectively captured an underlying anomaly or shift in the data (Darban et al., 2022). In this case, the decline corresponds to the COVID-19 outbreak and the subsequent implementation of the Movement Control Order (MCO) by the government in March 2020. This plot highlights that while the model performs adequately during stable periods, it struggles with sudden changes, emphasizing the need for greater model flexibility or the incorporation of a more adaptive forecasting approach.

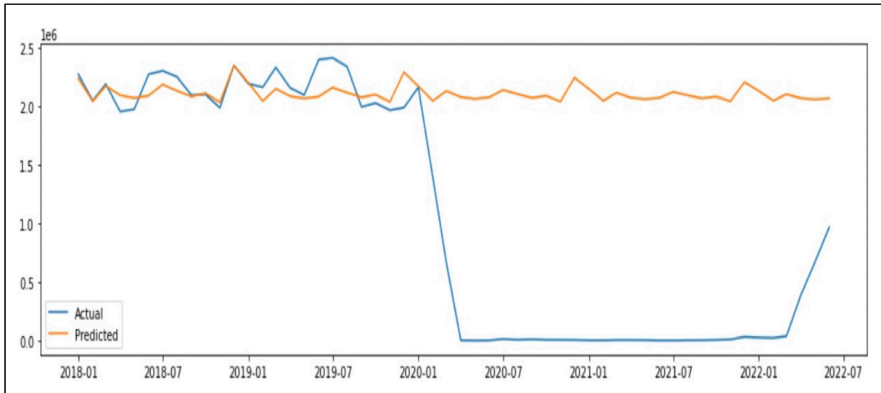


Figure 6. Actual and predicted plot for testing data using SARIMA

Time series data is commonly forecasted using linear models; however, the residuals from these models often exhibit nonlinear patterns (Rajalakshmi and Vaidyanathan, 2022). When the residuals of a SARIMA model contain both a signal and white noise, an ANN model can be employed to capture and extract the underlying signal. This forms the foundation of the hybrid SARIMA-ANN approach, which aims to enhance forecast accuracy by leveraging both linear and nonlinear modeling techniques. In this process, the residuals from the SARIMA model are further modeled using an ANN to refine the predictions.

The neural network architecture consists of four layers: an input layer with 12 features and 12 neurons, two hidden layers containing 50 and 25 neurons, respectively, and an output layer with a single neuron. Table 2 presents the parameters utilized in constructing the hybrid SARIMA-ANN model. The model employs a window size of 12 inputs, with the number of epochs set to 500 and a batch size of 32.

Table 2. Parameters for SARIMA-ANN model building

Parameters	Values
Window size	12
Epochs	500
Batch size	32

Figure 7 provides an overview of the hybrid SARIMA-ANN model. The input layer consists of 12 features derived from SARIMA residuals, with 12 neurons utilizing the ReLU activation function. ReLU is widely used in classification tasks as it effectively eliminates negative values (Justin et al., 2024).

The first hidden layer receives 12 neurons as input from the previous layer and consists of 50 neurons. Similarly, the second hidden layer processes the output from the first hidden layer (50 neurons) and contains 25 neurons. Lastly, the output layer takes input from the second hidden layer (25 neurons) and consists of a single neuron. The number of neurons in the hidden layers was determined through an iterative trial-and-error process, considering practical guidelines for optimal performance (Pushpa et al., 2022). A common recommendation suggests that the number of hidden neurons should not exceed two-thirds of the input neurons (Mapuwei et al., 2020). Additionally, the model comprises a total of 2,107 trainable parameters, meaning all weights and biases are adjusted during the training process.

Model: "sequential"		
Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 12)	156
dense_1 (Dense)	(None, 50)	650
dense_2 (Dense)	(None, 25)	1275
dense_3 (Dense)	(None, 1)	26
activation (Activation)	(None, 1)	0
Total params: 2,107		
Trainable params: 2,107		
Non-trainable params: 0		

Figure 7. Summary of hybrid model

Figure 8 illustrates the structure of the ANN model, which consists of three layers. The input layer serves as the entry point for the data, with each neuron representing a specific feature from the dataset that the neural network will process.

The hidden layer is where the core computations take place. Each neuron in this layer applies a weighted transformation to the input values and processes them through an activation function before passing the result to the next layer.

The output layer generates the final prediction or classification outcome. The number of neurons in this layer depends on the task type. For regression problems, a single neuron is typically used to produce a continuous value, while for classification tasks, multiple neurons correspond to different categories, each representing a probability for a specific class.

This diagram provides a visual representation of how data flows through the network, moving from the input layer through one or more hidden layers where transformations occur before reaching the output layer.

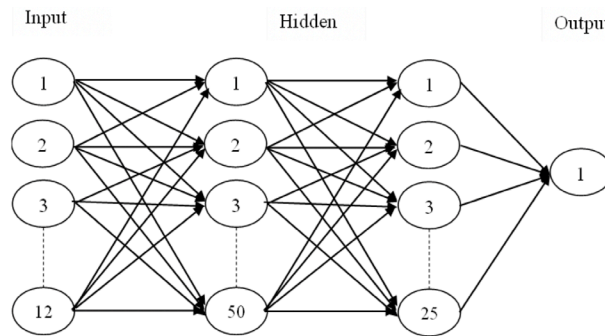


Figure 8. ANN model architecture

Figure 9 shows a comparison between the actual (blue line) and predicted (red line) values generated by the hybrid SARIMA-ANN model. The plot demonstrates that the predicted monthly tourist arrivals closely follow the pattern of the actual data, particularly in the earlier part of the series, indicating enhanced model efficiency.

The graph also highlights a sharp and sudden drop at the same point in both the actual and predicted values. This suggests that the hybrid model effectively captures this trend, outperforming individual models in adapting to abrupt changes. Following the decline, the model continues to generate stable predictions, closely tracking the overall pattern of actual tourist arrivals. While some discrepancies remain, especially toward the later part of the series, the hybrid model reduces prediction errors compared to standalone SARIMA and ANN models.

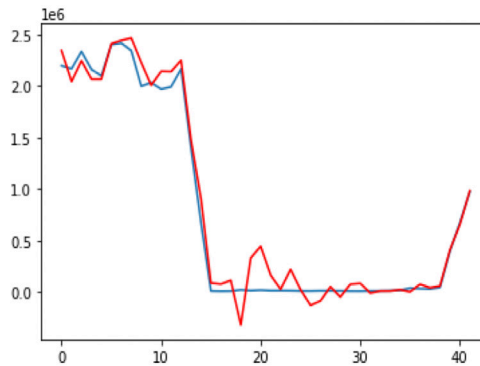


Figure 9. Actual and predicted plot using Hybrid SARIMA-ANN model

Additionally, the hybrid SARIMA-ANN model provides a more precise forecast than individual models, successfully capturing overall trends and sudden fluctuations. While some minor deviations are observed in the later data, this model significantly minimizes prediction errors, thereby enhancing its reliability as a forecasting tool. The finding of the hybrid SARIMA-ANN model in this study is consistent with previous studies, which indicate that hybrid approaches outperform individual models. For instance, Pushpa et al. (2022) demonstrated that the hybrid SARIMA-ANN model resulted in a lower Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and high robustness in modeling the seasonal agricultural price data.

Similarly, Yollanda and Devianto (2020) reported that integrating ANN on SARIMA residuals yields significant improvements in forecasting the number of tourist arrivals at Minangkabau International Airport. Both studies reinforce the findings in current research, which reveal that while SARIMA effectively captures seasonality, it leaves behind structured residuals that are successfully modeled by ANN.

Furthermore, the hybrid model can follow the actual series during periods of drastic transition, such as the downturn during the COVID-19 pandemic, which demonstrates its ability to adapt to anomalies better than SARIMA alone. While some deviations still exist in post-pandemic observations, the hybrid approach reduces the margin of error and provides a more stable forecasting framework than the single method.

In terms of forecasting performance, the hybrid SARIMA-ANN model produced an RMSE of 136,269.69 and an MAE of 95,175.67, indicating

that, on average, the predicted number of tourist arrivals deviated from the actual number by approximately 95,000 tourists. Given the scale of monthly tourist arrivals in Malaysia, which range from a few hundred to over two million visitors, this error value is relatively low. It indicates that the model is able to provide estimates that are close to real-world patterns. Meanwhile, RMSE shows larger errors more severely, further validating the robustness of the model in minimizing extreme deviations, an important feature in tourism forecasting where sudden spikes or drops, such as during the COVID-19 outbreak, can significantly affect the planning decision. Furthermore, the model can detect and adapt to the sharp drop in tourist arrivals in March 2020, which corresponds to the implementation of the Movement Control Order (MCO) and it reflects the ability to capture real anomalies in the data.

These results are consistent with those of previous studies conducted by Yollanda and Devianto (2020), who observed the improved forecast accuracy with the SARIMA-ANN model in forecasting international tourist arrivals in Indonesia. Similarly, Pushpa et al. (2022) and Azad et al. (2022) also reported reduced RMSE and MAE values when using hybrid models for agricultural and hydrological forecasts, respectively, reinforcing the strength of combining linear and nonlinear modeling techniques. In the context of Malaysian tourism, where fluctuations are influenced by factors such as seasons, festivals, and global crises, the SARIMA-ANN hybrid model has proven to be a reliable and responsive forecasting tool.

In this study, the hybrid SARIMA-ANN model combines the linear SARIMA forecast with the non-linear residuals forecasted by the ANN. Thus, the general equation for the hybrid model is:

$$Y_{\text{hybrid}}(t) = Y_{\text{SARIMA}}(t) + E_{\text{ANN}}(t) \quad (8)$$

where $Y_{\text{hybrid}}(t)$ is the final hybrid forecast at time t , $Y_{\text{SARIMA}}(t)$ is the SARIMA forecast at time t and $E_{\text{ANN}}(t)$ is the residual forecasted by the ANN at time t .

Hybrid SARIMA(0,1,1)(1,0,1)₁₂ – ANN(1,2,1) model was developed to forecast the number of tourist arrivals for the following 12 months. For the SARIMA component model, the equation is as in equation (5). When expanding this equation becomes:

$$y_t - By_t - 0.8066B^{12}y_t + 0.8066B^{13}y_t = e_t + 0.3073Be_t + 0.4487B^{12}e_t + 0.13789B^{13}e_t \quad (9)$$

The SARIMA forecast, $Y_{SARIMA}(t)$ is calculated using this equation for each time step t . Next, for the ANN component, the residual from the SARIMA model, $E(t) = y_{actual}(t) - Y_{SARIMA}(t)$, contains nonlinear patterns that the SARIMA model does not capture. The ANN is trained on these residuals to model nonlinear patterns and predict future residuals. For the ANN part,

$$E_{ANN}(t) = f(E(t-12), E(t-11), \dots, E(t-1)) \quad (10)$$

where f is the nonlinear function learned by the ANN model and $E(t-i)$ are the residuals from previous time steps (up to 12 months).

$$Y_{hybrid}(t) = Y_{SARIMA}(t) + f(E(t-12), E(t-11), \dots, E(t-1)) \quad (11)$$

where $Y_{SARIMA}(t)$ is the SARIMA forecast from SARIMA(0,1,1)(1,0,1)₁₂ and $E(t-i)$ are the residuals from previous time steps (up to 12 months).

Conclusion

The hybrid SARIMA-ANN model developed for forecasting tourist arrivals in Malaysia demonstrated significant improvements in accuracy. Results show that the hybrid model for tourist arrivals in Malaysia is $Y_{hybrid}(t) = Y_{SARIMA}(t) + f(E(t-12), E(t-11), \dots, E(t-1))$ where $Y_{SARIMA}(t)$ is the SARIMA forecast from SARIMA(0,1,1)(1,0,1)₁₂ and $E(t-i)$ are the residuals from previous time steps (up to 12 months). These findings suggest that the hybrid model successfully integrates SARIMA's ability to model seasonality with ANN's capacity to capture complex nonlinear dependencies. The improved performance indicates that the residuals from the SARIMA model contained meaningful nonlinear patterns, which the ANN effectively learned, leading to significantly lower forecast errors. The residuals, which represent the errors or discrepancies not accounted for by the SARIMA model, contain meaningful nonlinear patterns and information that can be leveraged to improve performance accuracy.

This aligns with recent studies that reveal the effectiveness of the hybrid model in addressing complex forecasting tasks. Saba et al. (2022) reported that the advantage of combining a linear model, such as SARIMA, with a nonlinear model, such as ANN, demonstrated significant improvement in forecasting tourist arrivals in New Zealand, Australia, and London. Moreover, the hybrid model SARIMA-ANN has been successfully applied

to different datasets, including forecasting daily tourist arrivals to Macau, China. This study also revealed that the SARIMA component addressed linear trends and seasonal patterns, while the ANN captured complex nonlinear patterns (Wu et al., 2021).

This study also contributes to the growing body of literature that supports the use of hybrid models in real-world forecasting applications, particularly in industries where accurate predictions are crucial for resource allocation, marketing, and policy formulation. The ability of the hybrid SARIMA-ANN model to accurately forecast tourist arrivals is critical for the Malaysian tourism sector, where significant seasonal fluctuations and non-linear dependencies exist. This research highlights the importance of hybrid models in tourism demand forecasting, as they offer a more robust and flexible solution compared to traditional forecasting methods.

Furthermore, the hybrid SARIMA-ANN model can be generalized to other regions facing similar challenges in tourism forecasting. The model's regional applicability extends to other areas such as the United States and Indonesia, where the hybrid model has been used to forecast monthly tourist arrivals with high accuracy (Misengo et al., 2023). Similarly, in a study on tourism demand forecasting in the Philippines, the hybrid SVR-SARIMA model was found to be the best forecasting model, outperforming other considered models in terms of error magnitude, directionality, and trend change (Abellana et al., 2021).

In conclusion, the hybrid SARIMA-ANN model offers a powerful framework for forecasting tourist arrivals in Malaysia, yielding accurate predictions by incorporating both linear and nonlinear components. This approach provides a promising avenue for future studies and practical applications in tourism demand forecasting. Given the increasing need for precise forecasting in the tourism sector, the hybrid model can serve as an effective tool for policymakers, industry professionals, and researchers alike.

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest between the authors.

Ethics statement

This study did not involve human participants, animal subjects, or any sensitive personal data. Therefore, approval from an ethics committee

was not required. The research was conducted using publicly available secondary data on monthly tourist arrivals in Malaysia obtained from the official Tourism Malaysia website. All procedures adhered to academic integrity and ethical research standards.

Acknowledgement

The authors would like to express their deepest appreciation to Universiti Pendidikan Sultan Idris for their support and encouragement, which made this paper complete efficiently.

References

- [1] Abellana, D.P.M., Rivero, D.M.C., Aparente, M.E., & Rivero, A. (2021). Hybrid SVR-SARIMA model for tourism forecasting using PROMETHEE II as a selection methodology: a Philippine scenario. *Journal of Tourism Futures*, 7(1), 78-97.
- [2] Azad, A.S., Sokkalingam, R., Daud, H., Adhikary, S. K., Khurshid, H., Mazlan, S. N. A., & Rabbani, M. B. A. (2022). Water level prediction through hybrid SARIMA and ANN models based on time series analysis: Red hills reservoir case study. *Sustainability*, 14(3), 1843.
- [3] Bouhaddour, S., Sbihi, M., Guerouate, F., Saadi, C. (2024). Assessing tourism prediction models: A comparative study of SARIMA, Random Forest, and LSTM, Considering nonlinear trends and the influence of COVID-19. *International Information and Engineering Technology Association*, 29(6), 2443-2454.
- [4] Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. (2008). *Time series analysis: Forecasting and control* (4th ed.). John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- [5] Chikobvu, D., Makoni, T. (2019). Statistical modelling of Zimbabwe's international tourist arrivals using both symmetric and asymmetric volatility models. *Journal of Economic and Financial Sciences*, 12(1), 1-10.
- [6] Darban, Z.Z., Webb, G.I., Pan, S., Aggarwal, C.C., Salehi, M. (2022). Deep learning for time series anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 57(1), 1-42.
- [7] Farsi, M., Hosahalli, D., Manjunatha, B.R., Gad, I., Atlam, E.S., Ahmed, A., Elmarhomy, G., Elmarhoumy, M., Ghoneim, O.A. (2021).

- Parallel genetic algorithms for optimizing the SARIMA model for better forecasting of the NCDC weather data. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1299-1316.
- [8] Hadwan, M., Al-Maqaleh, B.M., Al-Badani, F.N., Khan, R.U., Al-Hagery, M.A. (2022). A hybrid neural network and box-jenkins models for time series forecasting. *Computers, Materials and Continua*, 70(3), 4829-4845.
- [9] Hewamalage, H., Bergmeir, C., Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting: Current status and future directions. *International Journal of Forecasting*, 37(1), 388- 427.
- [10] Huang, J., Zhang, C. (2024). Daily tourism demand forecasting with the iTransformer Model. *Sustainability*, 16(23), 10678.
- [11] Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice. OTexts, Melbourne, Australia.
- [12] Joseph, V.R. (2022). Optimal ratio for data splitting. *Statistical Analysis and Data Mining*, 15(4), 531-538.
- [13] Justin, S., Wao, A., Wao, A.A. (2024). Performance analysis of activation functions in neural networks. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(1), 588-598.
- [14] Kuiper, R.M. (2021). AIC-type Theory-Based Model selection for structural equation models. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 29(1), 151-158.
- [15] Mapuwei, T.W., Bodhlyera, O., Mwambi, H. (2020). Univariate time series analysis of short-term forecasting horizons using artificial neural networks: The case of public ambulance emergency preparedness. *Journal of Applied Mathematics*, 2020(1), 2408698.
- [16] Misengo, E.E., Prastyo, D. D., and Kuswanto, H. (2023). Modeling and Forecasting Monthly Tourist Arrivals to the United States and Indonesia Using ARIMA Hybrids of Multilayer Perceptron Models. *AIP Conference Proceedings*, 2540.
- [17] Mukaram, M. Z., and Yusof, F. (2017). Solar radiation forecast using hybrid SARIMA and ANN model. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13, 346–350.
- [18] My, H., Setyowati, S.L., Notodiputro K.A., Angraini, Y., Mualifah,

- L.N.A. (2024). Comparison of seasonal ARIMA and support vector machine forecasting method for international arrival in Lombok. *Jambura Journal of Mathematics*, 6(2), 212-219.
- [19] Parviz, L. (2020). Comparative evaluation of hybrid sarima and machine learning techniques based on time-varying and decomposition of precipitation time series. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(2), 563-578.
- [20] Pushpa, P., Kumar J, Vikram, G. (2022). Hybrid Sarima-Ann model for forecasting monthly wholesale price and arrival series of tomato crop. *Biological Forum – An International Journal*, 14(4a), 591- 596.
- [21] Rajalakshmi, V., Vaidyanathan, S.G. (2022). Hybrid time-series forecasting Models for traffic flow prediction. *Promet - Traffic - Traffico*, 34(4), 537-549.
- [22] Saba, T., Shahzad, M. N., Iqbal, S., Rehman, A., & Abunadi, I. (2022). A New Hybrid SARFIMA-ANN Model for Tourism Forecasting. *Computers, Materials & Continua*, 71(3), 4785–4801.
- [23] Wu, D. C. W., Ji, L., He, K., and Tso, K. F. G. (2021). Forecasting Tourist Daily Arrivals With A Hybrid Sarima–Lstm Approach. *Journal of Hospitality and Tourism Research*, 45(1), 52–67.
- [24] Yollanda M, Devianto D. (2020). Hybrid Model of Seasonal ARIMA-ANN to forecast tourist arrivals through Minangkabau International Airport. *Proceedings of the 1st International Conference on Statistics and Analytics*, ICSA 2019, 2-3 August 2019, Bogor, Indonesia.
- [25] Yu Y, Wang Y, Gao S, Tang Z. (2017). Statistical modeling and prediction for tourism economy using dendritic neural network. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017(1), 7436948.

Internet references

URL 1 Tourism Malaysia. (2019). Putrajaya, Malaysia Tourism Promotion Board (MTPB); [accessed October 2020]. <https://www.tourism.gov.my/activities/view/tourism-malaysia-2017-annual-report>

Üçlü negatif meme kanseri için yeni bir tedavi yaklaşımı

Özlem EROL^{*1}
Gülbin EFŞİN²

Geliş tarihi / Received: 17.11.2025

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.01.2026

Kabul tarihi / Accepted: 06.04.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73002

Özet

Üçlü negatif meme kanseri (TNBC), hormon reseptörlerinin (ER, PR) yokluğu ve HER2 ekspresyonunun bulunmamasıyla karakterize, oldukça agresif ve heterojen bir meme kanseri alt tipidir. Bu çalışmada, Hippo sinyal yolunu hedef alan bir YAP1 inhibitörü CA3 ve mikrotübül oluşumunu teşvik eden ve depolimerizasyonu engelleyen taksan türevi bir kemoterapötik ajan olan Dosetaksel'in (DOC) kombine antikanser etkisi, TNBC model hücre hattı MDA-MB231 üzerinde araştırılmıştır.

CA3 ve DOC'nin hücre canlılığı üzerindeki kısa süreli etkileri MTT testiyle, uzun süreli etkileri ise koloni formasyonu testiyle belirlenmiştir. IC_{50} değerlerine dayanarak farklı konsantrasyonlarda kombinasyon tedavileri uygulanmıştır. Elde edilen veriler; Combenefit yazılımı kullanılarak Loewe aditiflik modeline göre analiz edilmiştir.

CA3 ve DOC'nin MDA-MB231 hücrelerinde IC_{50} değerleri sırasıyla $2.2 \mu M$ ve $17 nM$ olarak hesaplanmıştır. MTT ve koloni formasyon analizlerinde, bazı kombinasyonlarda kuvvetli sinerjik etki gözlemlenmiştir. CA3'ün, YAP1 inhibisyonu aracılığıyla transkripsiyonel kontrolü inhibe ettiği bilinmektedir. DOC ise mikrotübül dinamiklerini bozarak ve mitozu durdurarak apoptozu indükler. Bu mekanik farklılık, özellikle öldürücü olmayan dozlarda gözlemlenen sinerjik etkileşimleri açıklayabilir.

^{1*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0001-8821-5740

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, glbnefsın161@gmail.com, ORCID: 0009-0002-2217-7125

Sonuç olarak, CA3 ve DOC kombinasyonunun belirli konsantrasyonlarda MDA-MB231 hücre hattında sinerjistik antikanser etkiler oluşturduğu belirlenmiş olup bu kombinasyon, TNBC tedavisinde kemoterapötik etkinliği artıracak yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, burada elde edilen ümit verici in vitro sonuçların in vivo modeller ve klinik çalışmalarla daha ileri doğrulamalara ihtiyacı vardır.

Anahtar Kelimeler: CA3, Dosetaksel, TNBC, antikanser etki, YAP1, sinerjistik etki

A new treatment approach for triple-negative breast cancer

Abstract

Triple-negative breast cancer (TNBC) is a highly aggressive and heterogeneous breast cancer subtype characterized by the absence of hormone receptors (ER, PR) and HER2 expression. In this study, the combined anticancer effects of CA3, a YAP1 inhibitor targeting the Hippo signaling pathway, and docetaxel (DOC), a taxane-derived chemotherapeutic agent that promotes microtubule formation and inhibits depolymerization, were investigated in the TNBC model cell line MDA-MB231.

The short-term effects of CA3 and DOC on cell viability were determined by the MTT test, and the long-term effects were determined by the colony formation test. Based on the IC_{50} values, combination treatments were applied at different concentrations. The obtained data were analyzed using the Loewe additivity model using Combenefit software.

The IC_{50} values of CA3 and DOC in MDA-MB231 cells were calculated as 2.2 μ M and 17 nM, respectively. In MTT and colony formation assays, strong synergistic effects were observed in some combinations. CA3 is known to inhibit transcriptional control via YAP1 inhibition. DOC, on the other hand, induces apoptosis by disrupting microtubule dynamics and arresting mitosis. This mechanistic difference may explain the synergistic interactions observed, particularly at sublethal doses.

In conclusion, the combination of CA3 and DOC was determined to produce synergistic anticancer effects in the MDA-MB231 cell line at certain concentrations, offering a new approach that could enhance

chemotherapeutic efficacy in the treatment of TNBC. However, the promising in vitro results obtained here require further validation with in vivo models and clinical studies.

Keywords: CA3, Docetaxel, TNBC, anticancer effect, YAP1, synergistic effect

Giriş

Üçlü negatif meme kanseri (TNBC), hormon reseptörleri (ER, PR) ve HER2'nin yokluğu ile tanımlanan, meme kanserinin en agresif alt tiplerinden biridir. TNBC, tüm meme kanserlerinin yaklaşık %10–30'unu oluşturmakta ve genç yaşta ortaya çıkma eğilimi göstermektedir (Murria ve ark., 2015; Vagia ve ark., 2020). Klinik sonuçlar genellikle zayıf olup, metastatik TNBC hastalarında ortalama sağkalım süresi 18 ay civarındadır. Mevcut kemoterapötik ajanlar TNBC'de önemli rol oynasa da direnç gelişimi ve yan etkiler tedavide sınırlayıcı olmaktadır. Bu nedenle, yeni kombinasyon stratejilerinin geliştirilmesi önemlidir (Shagisultanova ve ark., 2022).

Hippo sinyal yolu, hücre proliferasyonu, farklılaşma ve apoptozun düzenlenmesinde kilit rol oynar (Sung ve ark., 2021). Bu yolun başlıca efektörlerinden biri olan “Yes-Associated Protein 1” (YAP1), TNBC'de aşırı eksprese edilmekte ve hücre proliferasyonu ile metastazı artırmaktadır (Li ve ark., 2022; Yanar ve ark., 2025). YAP1 inhibitörlerinden biri olan CA3, çeşitli kanser modellerinde YAP1/TEAD bağımlı transkripsiyonu baskılayarak antikanser etki göstermiştir (Song ve ark., 2018; Kandasamy ve ark., 2020). MDA-MB231 hücrelerinde CA3 uygulamasının YAP1 protein düzeyini önemli düzeyde düşürdüğü, apoptotik hücre ölümünü tetiklediği, hücrelerin G1'de tutuklandığı ve DNA onarımı ile RNA metabolizmasında yer alan proteinlerde artışa neden olduğu belirlenmiştir (Yanar ve ark., 2025).

Dosetaksel (DOC) mitotik iğ oluşumunu engelleyerek hücre döngüsünü G2/M fazında durdurur ve apoptozu tetikler (Ray ve ark., 2011; Lai ve ark., 2022). DOC, adjuvan, neoadjuvan ve metastatik ortamlarda meme kanserinin tedavisi için etkili bir kemoterapötik ajandır. Yaygın kullanımı, birçok gelişmiş ülkede görülen meme kanserine özgü sağ kalımda iyileşmelere katkıda bulunmuştur. İlaç çok çeşitli toksisitelere neden olur ve bunların çoğu destekleyici bakım ve kemoterapötik ajanın

kesilmesiyle yönetilebilir (Ho ve Mackey, 2014). Bu nedenle, DOC'nin yan etkilerini azaltmak ve antikarsinogenik aktivitesini artırmak için çeşitli kombinasyonlar araştırılmaktadır.

Bu çalışma, CA3 ile DOC'nin farklı etki mekanizmaları aracılığıyla TNBC hücre hattı MDA-MB231'de kombine uygulamasının potansiyel antikanser ve sinerjik etkileşim potansiyelini ortaya koymayı amaçlamıştır.

Materyal ve yöntem

Hücre canlılığının analizi

MDA-MB231 hücrelerinin, %10 fetal sıgır serum ile takviye edilmiş DMEM ortamında 37°C, %5 CO₂ ve %80–85 nemde rutin kültürü yapılmıştır. CA3 ve DOC'nin bireysel ve kombine etkilerini belirlemek amacıyla MTT testi uygulanmıştır (Mosmann, 1983). Hücreler, 96 kuyucuklu plaklarda kuyu başına 3×10^3 hücre yoğunluğunda 50 µL ortam ile ekilmiştir. İnkübasyondan 24 saat sonra test edilecek bileşiklerin (CA3, DOC) farklı konsantrasyonları 50 µL ortam ile kuyulara eklenmiştir. Hücreler 48 saat da inkübe edilip süre sonunda, her kuyuya 10 µL 5 mg/mL MTT çözeltisi eklenmiş ve hücreler 3–4 saat daha inkübe edilmiştir. Daha sonra ortam uzaklaştırılmış ve oluşan formazan kristalleri 100 µL DMSO ile çözülmüştür. Absorbans, 570 nm'de Thermo Multiskan FC ile ölçülmüştür. Hücre canlılığı (HC) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$HC (\%) = (\text{Tedavi uygulanan kuyu absorbansı} / \text{Kontrol kuyusu absorbansı}) \times 100$$

Koloni formasyon analizi

Bu analiz, CA3 ve DOC'nin, tek başına ve kombine olarak, MDA-MB231 hücreleri üzerindeki uzun süreli etkisini ve hücrelerin klonojenik potansiyeli üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır (Rafehi ve ark., 2011; Crowley ve ark., 2016). Hücreler 6 kuyulu plaklarda 10^3 hücre yoğunluğunda 2 mL %5 fetal sıgır serum ile takviye edilmiş DMEM ortamı ile ekilmiş ve 24 saat boyunca standart kültür koşullarında tutulmuştur (37°C, %5 CO₂). Hücreler üzerindeki besiyeri 24 saat sonra çeşitli konsantrasyonlarda CA3, DOC veya kombinasyonları içeren besiyeri ile değiştirilmiş ve 48 saat boyunca inkübe edilmiştir. İlaç uygulamasından sonra ortam taze besiyeri ile değiştirilmiş ve kontrol kuyularında görünür koloniler (≥ 50 hücre) oluşana kadar beklenmiştir (7–8 gün).

İnkübasyon sonunda besiyeri atılmış ve koloniler 1 mL %6 glutaraldehit-%5 kristal viyole içeren fiksasyon/boya çözeltisi ile 1 saat oda sıcaklığında sabitlenip boyanmıştır. Plaklar dikkatlice musluk suyu ile fazla boya giderilene dek yıkanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Koloniler invert mikroskop kullanılarak ≥ 50 hücre içeren kümeler koloni olarak kabul edilerek sayılmıştır. Hücre sağkalım fraksiyonu (SF) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

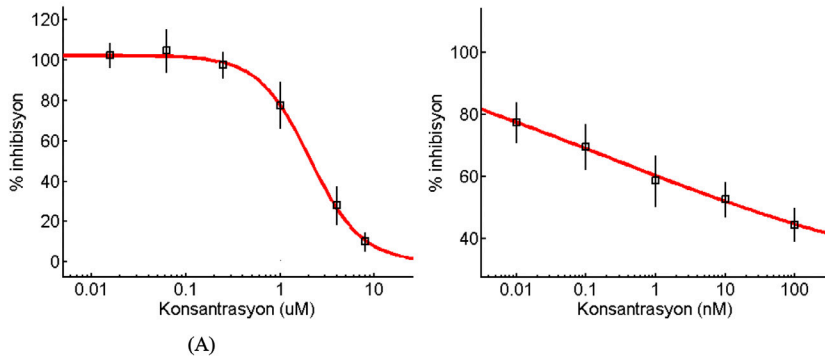
$$SF (\%) = (\text{Tedavi grubundaki koloni sayısı} / \text{Kontrol grubundaki koloni sayısı}) \times 100$$

İstatistiksel analizler

Tüm deneyler üç kez tekrarlanmıştır. Veriler tek yönlü ANOVA ile grup içi uyumu değerlendirmek ve Dunnett çoklu karşılaştırma testi ile grup içi farklılıkları belirlemek için analiz edilmiştir ($p < 0.05$). IC_{50} değerleri Dr. Fit yazılımı ile belirlenmiş ve kombinasyon etkileri Combeneft yazılımı ile Loewe additiflik modeline göre sinerjik, additif veya antagonistik olarak sınıflandırılmıştır (Di Veroli ve ark., 2015; Di Veroli ve ark., 2016).

Bulgular

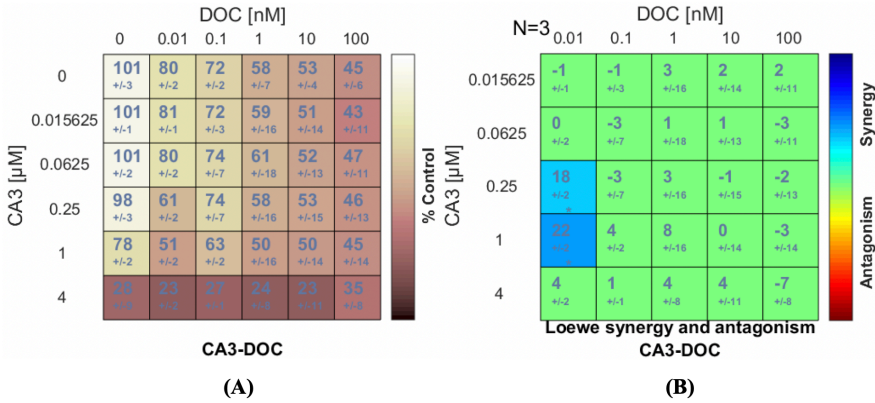
CA3 ve DOC'un MDA-MB231 hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri MTT testi ile belirlenmiştir. Her iki ajan da 48 saatlik uygulamanın ardından hücre canlılığı üzerinde konsantrasyon bağımlı inhibisyon göstermiştir. CA3 için doz-cevap eğrisi klasik sigmoidal model ile uyumlu olup, hesaplanan IC_{50} değeri $2.2 \mu M$ olarak bulunmuştur (Şekil 1.A). Benzer şekilde, DOC da sigmoidal model ile uyumlu bir doz-cevap ilişkisi göstermiş ve IC_{50} değeri $17 nM$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.B).



Şekil 1. MDA-MB231 hücre canlılığı üzerinde CA3 (A) ve DOC (B) uygulamasının kısa süreli etkisi.

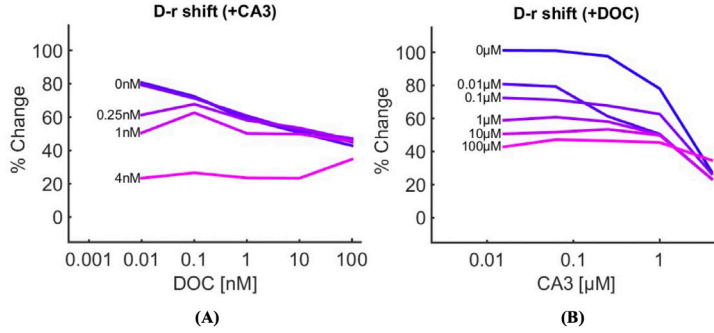
Kombinasyon uygulamalarında, sitotoksik etkiler konsantrasyon çiftlerine bağlı olarak değişmiştir. Veriler, Combeneft yazılımı kullanılarak Loewe additiflik etki modeline göre analiz edilmiştir; pozitif değerler sinerjizmi (mavi tonlar), negatif değerler antagonizmayı (kırmızı/turuncu tonlar) ve sıfıra yakın değerler additif etkileri (yeşil tonlar) göstermektedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi, 0.25 μM ve 1 μM CA3’ün düşük, subletal DOC konsantrasyonları (0.01 nM) ile kombinasyonu özellikle güçlü sinerjik etki göstermiştir. Bu kombinasyonlar, her iki ajanın tek başına uygulamasına kıyasla hücre canlılığında belirgin azalmaya yol açmıştır; diğer kombinasyonlar ise genellikle additif etki göstermiş olup önemli bir antagonistik etki belirlenmemiştir.



Şekil 2. Kısa süreli CA3-DOC kombine uygulamasının, doz-yanıt üzerindeki etkisi (A) ve Loewe modeli sinerji analiz matrisi (B). (*: $p < 0.05$)

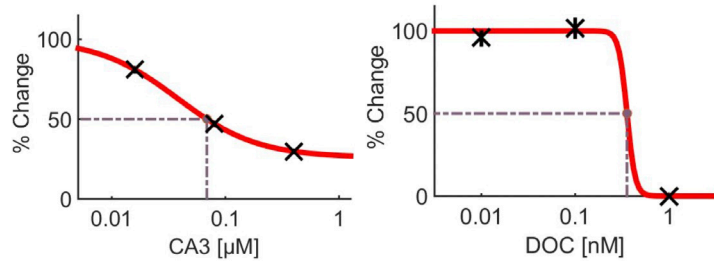
Doz-cevap kayması analizi, CA3’ün düşük DOC konsantrasyonlarında DOC’ye bağlı sitotoksiteyi artırdığını, yüksek DOC dozlarında ise etkinin plato yaptığı veya hafif azaldığını göstermiştir (Şekil 3.A). Benzer şekilde, DOC de düşük CA3 konsantrasyonlarında CA3’ün sitotoksik etkisini artırmış, ancak en yüksek konsantrasyon çiftinde antagonistik etkileşimler gözlemlenmiştir (100 nM DOC + yüksek doz CA3), bu sonuçlar sinerji matrisi verileri ile uyumludur (Şekil 3B).



Şekil 3. MDA-MB231 hücrelerinin MTT analizine dair doz-yanıt kayması eğrileri. CA3'ün DOC doz-yanıtı üzerindeki etkisi (A), DOC'nin CA3 doz-yanıtı üzerindeki etkisi (B).

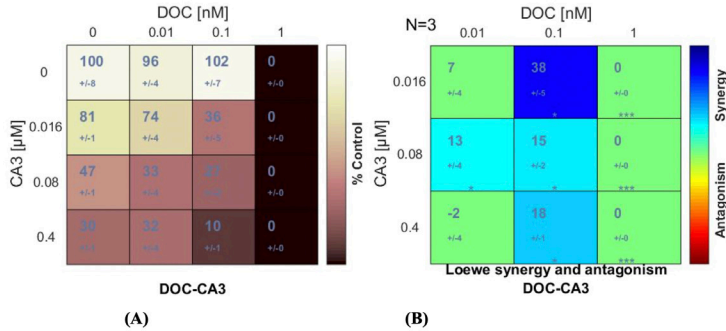
Genel olarak, bu bulgular CA3 ve DOC'nin tamamlayıcı sitotoksik etkilere sahip olduğunu ve optimal sinerjinin düşük DOC ve orta düzey CA3 dozlarında gerçekleştiğini göstermektedir. Yüksek konsantrasyonlar ise işbirlikçi etkiyi azaltabilmektedir.

CA3 ve DOC'nin uzun süreli ve klonojenik potansiyel üzerindeki inhibitör etkileri koloni oluşum testi ile değerlendirilmiştir. Her iki bileşik de koloni sayısını ve boyutunu konsantrasyon bağımlı olarak azaltmıştır. Doz-cevap eğrisi analizi sonucunda, CA3 için IC_{50} değerini $0.07 \mu M$ ve DOC için $0.357 nM$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu IC_{50} değerleri, kısa süreli MTT testlerinden elde edilen değerlere göre sırasıyla yaklaşık 31 ve 48 kat daha düşüktür, bu da ilacın uzun süreli etkisinin kalıcı olduğunu göstermektedir.



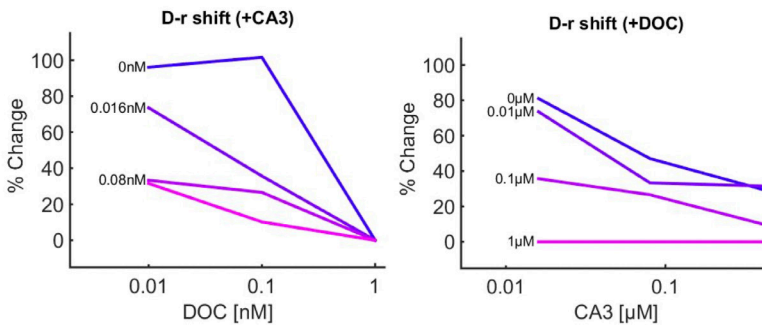
Şekil 4. CA3 ve DOC uygulamasının uzun süreli etkisine dair IC_{50} değerleri.

Kombinasyon tedavileri, koloni oluşumu üzerindeki inhibisyonu daha da artırmıştır. Combeneft yazılımı ile Loewe modeli kullanılarak yapılan analizlerde, belirli doz çiftlerinde belirgin sinerjik etkileşimler gözlemlenmiştir; en belirgin olarak 0.016 μM CA3 + 0.1 nM DOC ve IC_{50} 'ye yakın CA3 konsantrasyonları ($\approx 0.07 \mu\text{M}$) ile düşük, toksik olmayan DOC dozları (0.01 nM) kombinasyonlarında görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Koloni formasyon analizine dair veriler. CA3-DOC kombine uygulamasının, doz-yanıt üzerindeki etkisi (A) ve Loewe modeli sinerji analiz matrisi (B). (*: $p < 0.05$, ***: $p < 0.0001$)

Doz-cevap kayması eğrileri, CA3'ün 0.1 nM DOC üzerindeki inhibitör etkisini anlamlı biçimde artırdığını, DOC'nin da düşük mikromolar CA3 konsantrasyonlarında koloni oluşumunu baskılama etkisini güçlendirdiğini göstermiştir (Şekil 6).



Şekil 6. MDA-MB231 hücrelerinin koloni formasyon analizine dair doz-yanıt kayması eğrileri. CA3'ün DOC doz-yanıtı üzerindeki etkisi (A), DOC'nin CA3 doz-yanıtı üzerindeki etkisi (B).

Kombine uygulama gruplarının ortalama hayatta kalma fraksiyonunun kontrol ve tek başına DOC uygulamasına göre anlamlı olarak düştüğü ($P<0.05$) ve kombinasyon tedavisinin yalnızca hücre sayısını azaltmakla kalmayıp, kolonileşme yeteneğini de bozduğu, dolayısıyla uzun süreli antiproliferatif ve sitostatik etki sağladığı doğrulanmıştır.

Kısa ve uzun süreli testler, CA3 ve DOC'nin belirli konsantrasyon aralıklarında tutarlı bir şekilde sinerjik etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Diğer kombinasyonlarda ise genellikle additif az sayıda nötral etki gözlenmiştir. Özellikle düşük DOC ve orta CA3 dozlarında sinerjizm belirgindir; bu durum, CA3'ün TNBC hücrelerini DOC'a karşı hassaslaştırdığını ve hücre hayatta kalma ile proliferasyonla ilişkili moleküler yolları modüle edebileceğini düşündürmektedir.

Bu bulgular, YAP1 sinyal yolunun (CA3 aracılığıyla) ve mikrotübül stabilizasyonunun (DOC aracılığıyla) eş zamanlı hedeflenmesinin tamamlayıcı hücre ölüm mekanizmaları sağlayabileceğini ve TNBC için umut verici bir kombinasyon tedavisi stratejisi sunabileceğini desteklemektedir.

Tartışma

TNBC, meme kanserinin en agresif ve tedavisi en zor alt tiplerinden biri olmaya devam etmektedir. Moleküler onkolojideki gelişmelere rağmen, TNBC'de hala etkili hedefe yönelik tedaviler bulunmamaktadır ve konvansiyonel kemoterapi tedavinin temelini oluşturmaya devam etmektedir. Yüksek nüks oranları ve sıklıkla ortaya çıkan ilaç direnci, toksisiteyi azaltırken etkinliği artıran yeni kombinasyon stratejilerine acil ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır (Vagia ve ark., 2020; Shagisultanova ve ark., 2022).

Bu çalışmada, seçici bir YAP1 inhibitörü olan CA3 ve köklü bir mikrotübül stabilize edici kemoterapötik ajan olan DOC kombinasyonu, TNBC model hücre hattı MDA-MB231'de belirgin sinerjistik sitotoksik etkiler göstermiştir. Hem kısa süreli (MTT testi) hem de uzun süreli (koloni oluşumu testi) analizler, CA3 ve DOC'nin birlikte uygulanmasının, tek ajanlı tedavilere kıyasla antiproliferatif aktiviteyi önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur.

Mekanik olarak, bu sinerji iki ajanın birbirini tamamlayan etki mekanizmalarına atfedilebilir. CA3, YAP1/TEAD aracılı transkripsiyonel

aktivasyonu baskılayarak hayatta kalma ve EMT ile ilişkili genlerin ekspresyonunu azaltır (Song ve ark., 2018; Kandasamy ve ark., 2020). Bu arada, DOC, mikrotübül stabilizasyonu yoluyla G₂/M fazı durmasını ve apoptozu indükler (Ray ve ark., 2011). Transkripsiyonel regülasyonun (CA3 aracılığıyla) ve mitotik ilerlemenin (DOC aracılığıyla) eş zamanlı inhibisyonu, muhtemelen apoptotik sinyalleme gücünü artırır ve sıklıkla kemoterapiye dirençliliğe yol açan hücre telafi edici mekanizmaların üstesinden gelir.

Önemli olan, gözlemlenen sinerjizmin, miyelosupresyon ve nöropati gibi ciddi yan etkilerle tipik olarak ilişkilendirilen sitotoksik eşiğin altındaki düşük DOC konsantrasyonlarında meydana gelmesidir (Ho ve Mackey, 2014). Bu durum, CA3'ün TNBC hücrelerini dosetaksele duyarlı hale getirebileceğini, böylece düşük dozlarda terapötik etkinliğin sağlanabileceğini ve potansiyel olarak sistemik toksisitenin en aza indirilebileceğini göstermektedir.

Sonuçlarımız, YAP1 inhibisyonunun mide, karaciğer ve pankreas maligniteleri de dahil olmak üzere çeşitli kanserlerde kemoterapötik ajanların antitümör etkilerini artırdığını gösteren önceki çalışmalarla tutarlıdır (Ajani ve ark., 2021; Han ve ark., 2022; Dhir ve ark., 2019). CA3'ün DOC ile kombinasyonu daha önce TNBC'de kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır ve bu çalışma, bu bağlamda sinerjik potansiyellerinin ilk deneysel doğrulamalarından biri haline gelmiştir. Uzun süreli analizler, kısa süreli MTT analizlerine kıyasla belirgin şekilde daha düşük IC₅₀ değerleri ortaya koymuştur. Bu da, uzun süreli ilaç maruziyetinin, muhtemelen klonojenik sağkalım yollarının kümülatif inhibisyonu yoluyla hücre duyarlılığı artırdığını göstermektedir. Bu sürekli antiproliferatif etki, CA3+DOC kombinasyon tedavisinin, tedavinin kesilmesinden sonra bile kalıcı sitostatik ve apoptotik sonuçlar gösterebileceğini düşündürmektedir.

Yanar ve arkadaşları (2025) tarafından bildirilen proteomik bulgular, bu çalışmada gözlemlenen sinerjistik sitotoksitenin mekanistik temelini desteklemektedir. MDA-MB231 hücrelerinin YAP1 inhibitörü CA3 ile tedavisi, hücre döngüsü ilerlemesi, mikrotübül dinamikleri, DNA onarımı ve anti-apoptotik yanıtlarla ilişkili proteinlerde önemli bir düşüşe yol açmıştır. Özellikle, YAP/TAZ hedef genlerinin (CTGF, CYR61, AREG), hücre döngüsü düzenleyicilerinin (Siklin D1, CDK4, PCNA) ve anti-apoptotik proteinlerin (BCL2, Survivin) seviyeleri belirgin şekilde

azalmıştır. Ek olarak, DNA onarım proteinleri RAD51 ve BRCA1/2 ile mikrotübülle ilişkili proteinler (TUBB, KIF11, STMN1), CA3 tedavisinin ardından aşağı regüle edilmiştir.

Bu proteomik değişiklikler, CA3'ün hücreleri subletal DOC dozlarına duyarlı hale getirmesiyle tutarlıdır. CA3 aracılı mikrotübül düzenlemesi ve DNA onarımındaki bozulma, DOC tarafından indüklenen daha etkili mitotik stres ve apoptozu kolaylaştırır. Eş zamanlı olarak, CA3 tarafından YAP/TAZ aracılı proliferatif ve anti-apoptotik sinyal iletiminin baskılanması, DOC aracılı hücre ölümünü artırır. Buna karşılık, daha yüksek ilaç dozlarında sinerji kaybı veya antagonistik etkileşimler, hücresel sinyal yollarında bir "doygunculuk" etkisini yansıtmaktadır.

Genel olarak, bu bulgular CA3'ün MDA-MB231 hücrelerinde DOC duyarlılığını artırdığını ve iki etkenin tamamlayıcı moleküler hedefleme yoluyla sinerjik olarak etki ettiğini göstermektedir. Bu nedenle, YAP1 inhibisyonu ve mikrotübül stabilizasyonunun çift hedeflenmesi, TNBC tedavisi için rasyonel ve potansiyel olarak etkili bir kombinasyon stratejisini temsil etmektedir. Fakat farklı TNBC hücre hatları üzerinde de sinerjik etkinliğin araştırılması iyi olacaktır.

Bu sinerjinin moleküler temelini açıklığa kavuşturmak için, özellikle apoptotik yol analizi ve proteomik profillemeyi içeren daha fazla mekanik çalışmaya ve in vivo etkinliğinin araştırılmasına ihtiyaç vardır.

Sonuç

Bu çalışma, YAP1 yolu inhibitörü CA3 ile taksan bazlı kemoterapötik ajan Doketaksel'in TNBC hücre hattı MDA-MB231 üzerinde önemli sinerjik antitümör etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Sinerjizm doz bağımlı olup, en belirgin etkiler düşük DOC ve orta düzey CA3 konsantrasyonlarında gözlemlenmiştir; bu durum YAP1 inhibisyonunun, DOC duyarlılığını tamamlayıcı moleküler mekanizmalar aracılığıyla artırabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, Hippo-YAP1 ekseninin hedeflenmesinin mikrotübül stabilizasyonu ile birleştirilmesinin TNBC için umut verici bir terapötik strateji olabileceğini önermektedir. Bu kombinasyon yaklaşımı, antikanser etkinliği artırmakla kalmayıp, daha düşük kemoterapötik dozların kullanımına olanak sağlayarak sistemik toksisiteyi azaltabilir. Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, CA3 ve DOC eşzamanlı uygulamasının TNBC için yeni ve etkili bir tedavi stratejisi olarak

değerlendirilmesini desteklemektedir. İleriye dönük in vivo ve klinik çalışmalar, bu kombinasyonun potansiyel faydasını doğrulamak için kritik öneme sahiptir.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu çalışma yalnızca MDA-MB231 hücre hattı üzerinde yürütülen in vitro deneyleri kapsamaktadır. Araştırmada insan veya hayvan denekleri kullanılmadığından etik kurul onayı gerekmemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: FLÖAP-2024-4844).

Kaynaklar

- [1] Ajani, J.A., D'Amico, T.A., Bentrem, D.J., Chao, J., Cooke, D., Crass, R.A., vd. (2021). Docetaxel plus ramucirumab versus docetaxel alone for second-line treatment of advanced gastric or gastro-oesophageal junction adenocarcinoma (RAINBOW): a multicentre, double-blind, randomised phase 3 trial. *Lancet Oncol*, 22(6), 844–854.
- [2] Crowley, L.C., Marfell, B.J., Scott, A.P., Waterhouse, N.J. (2016). Measuring cell death by trypan blue uptake and automated cell counting. *Cold Spring Harb Protoc*, 2016(11), pdb.prot087379.
- [3] Di Veroli, G.Y., Fornari, C., Goldgof, M., vd. (2015). Dr. Fit: a free open-source Excel-based application for dose-response analysis and calculation of IC50 values. *PLoS One*, 10(10), e0139164.
- [4] Di Veroli, G.Y., Palmer, M.A. Jr. (2016). Combeneft: an interactive tool for the analysis of drug combinations. *Bioinformatics*, 32(11), 1735–1738.
- [5] Dhir, T., Schultz, C.W., Jain, A., Brown, S.Z., Haber, A., Goetz, A., vd. (2019). Abemaciclib is effective against pancreatic cancer cells and synergizes with HuR and YAP1 inhibition. *Mol Cancer Res*, 17(10), 2029–2041.
- [6] Ho, Y.F., Mackey, J.R. (2014). Docetaxel: a systematic review of the adverse event profile and its management. *Oncologist*, 19(5), 551–562.

- [7] Han, S., Lim, J.Y., Cho, K., Lee, H.W., Park, J.Y., Ro, S.W., vd. (2022). Anti-cancer effects of YAP inhibitor (CA3) in combination with sorafenib against hepatocellular carcinoma (HCC) in patient-derived multicellular tumor spheroid models (MCTS). *Cancers (Basel)*, 14(11), 2733.
- [8] Kandasamy, S., Adhikary, G., Rorke, E.A., Friedberg, J.S., Mickle, M.B., Alexander, H.R., vd. (2020). The YAP1 signaling inhibitors, verteporfin and CA3, suppress the mesothelioma cancer stem cell phenotype. *Mol Cancer Res*, 18(3), 343–351.
- [9] Lai, W., Cao, J., Li, X., Chen, C., Huang, J., Fu, S. (2022). Current research progress on docetaxel: from chemical structure to clinical application. *Molecules*, 27(19), 6524.
- [10] Li, L., Luo, J., Fang, J.Y., Zhang, R., Ma, J.B., Zhu, Z.P. (2022). Expression characteristics of the yes-associated protein in breast cancer: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*, 101(34). ss. e30176.
- [11] Murria, R., Palanca, S., de Juan, I., Alenda, C., Egoavil, C., Seguí, F.J., vd. (2015). Immunohistochemical, genetic and epigenetic profiles of hereditary and triple negative breast cancers: relevance in personalized medicine. *Am J Cancer Res*, 5(7), 2330–2343.
- [12] Rafahi, S., El-Osta, A., Karagiannis, T.C. (2011). Evaluation of colony formation in cancer cell lines, *Methods Mol Biol*, 750, 81–90.
- [13] Ray, S., Das, D., Singh, N.N., Pal, A., Gupta, P. (2011). Docetaxel in breast cancer: an update, *J Appl Toxicol*, 31(6), 567–578.
- [14] Shagisultanova, A., Zhang, H., Wu, Y., Wei, R. (2022). Strategies to overcome chemotherapy resistance in triple-negative breast cancer. *Front Oncol*, 12. ss. 856715.
- [15] Song, S., Xie, M., Scott, A.W., Jin, J., Ma, L., Dong, X., vd. (2018). A novel YAP1 inhibitor targets CSC-enriched radiation-resistant cells and exerts strong antitumor activity in esophageal adenocarcinoma. *Mol Cancer Ther*, 17(2), 443–454.
- [16] Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., vd. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*, 71(3), 209–249.

- [17] Yanar, S., Bal Albayrak, M.G., Korak, T., Deveci Ozkan, A., Arabacı Tamer, S., Kasap, M. (2025). Targeting the Hippo pathway in breast cancer: a proteomic analysis of Yes-associated protein inhibition. *Int J Mol Sci*, 26(9), 3943.
- [18] Vagia, E., Mahalingam, H., Safonov, E.M. (2020). Triple-negative breast cancer: a review of novel therapies. *Pharmacol Ther*, 211, 107521.

Amerikan yavru çürüklüğünde bakteriyofaj kullanımı

Alper METE¹
Deniz KESEN²
Kemal METİNER^{*3}

Geliş tarihi / Received: 11.02.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.04.2026

Kabul tarihi / Accepted: 14.04.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73003

Öz

Bal arısı (Apis mellifera L.), ekonomik açıdan bitkisel tarım ürünlerinin dünyadaki en önemli tozlaştırıcısıdır. Bal arılarını olumsuz etkileyen etkenler, onların yaşama gücünü ve verimini düşürebilmektedir.

Bu tehditlerden biri de Paenibacillus larvae'nın neden olduğu Amerikan Yavru Çürüklüğü (AYÇ) enfeksiyonudur. P. larvae Gram pozitif, sporlu, mortalite oranı yüksek, dünya genelinde yayılmış olan epizootik nitelikte enfeksiyona neden olmaktadır.

AYÇ, özellikle larva döneminde %100'e varan ölümlere neden olarak küresel arıcılık sektöründe önemli ekonomik kayıplara yol açan ciddi bir enfeksiyondur. Özellikle ERIC I suşu ile enfekte larvaların 12 gün içinde %100 öldüğü, ERIC II suşu ile enfekte larvaların ise yaklaşık 7 gün içinde öldüğü görülmüştür.

Günümüzde antibiyotik kullanımının yasaklanması, AYÇ tedavisinde alternatif yaklaşımlara olan ihtiyacı artırmıştır. Bu kapsamda bakteriyofajlar, özgül etkileri, çevresel güvenlik profilleri ve bal arılarının mikrobiyotasına minimal etkileri sayesinde umut vadeden biyolojik ajanlar olarak ön plana çıkmaktadır.

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimleri Bölümü, Veterinerlik Mikrobiyolojisi Anabilim Dalı, alpermete@ogr.iuc.edu.tr, ORCID:0009-0005-5039-433X

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimleri Bölümü, Veterinerlik Mikrobiyolojisi Anabilim Dalı, dnzksn@gmail.com, ORCID: 0009-0006-8104-8138

^{*3} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimleri Bölümü, Veterinerlik Mikrobiyolojisi Anabilim Dalı, kmetiner@iuc.edu.tr, ORCID:0000-0003-4105-5852

Bu derlemede, AYÇ'nin etkeni olan P. larvae'nın biyolojisi, yayılımı, mevcut teşhis yöntemleri ve bakteriyofaj temelli biyokontrol yaklaşımları güncel literatür ışığında ele alınmıştır.

AYÇ'nün kontrolünde bakteriyofajlarla yapılan mücadele yöntemleri henüz yaygın olarak uygulanmamasına rağmen, yapılan araştırmalar bakteriyofajların bal arılarını bu enfeksiyondan koruma ve tedavide potansiyelinin yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Apis mellifera L., Amerikan yavru çürüklüğü, Bal arısı, Bakteriyofaj, Paenibacillus larvae.*

Use of bacteriophages in american foulbrood

Abstract

The honey bee (Apis mellifera L.) is the world's most important pollinator of plant-based agricultural products in terms of economics. Factors that negatively affect honey bees can reduce their vitality and productivity.

One of these threats, American Foulbrood (AFB), is a globally widespread, high-mortality, spore-forming, epizootic bacterial infection caused by the Gram-positive bacterium Paenibacillus larvae. AFB is a serious infection that can cause up to 100% mortality, especially in the larval stage, leading to significant economic losses in the global beekeeping industry.

Specifically, ERIC I strain cause 100% mortality in infected larvae within 12 days, while ERIC II strain kills infected larvae in about 7 days.

The contemporary ban on antibiotic use has increased the demand for alternative approaches in the treatment of AFB. In this context, bacteriophages (phages) stand out as promising biological agents due to their specific effects; environmental safety profiles, and minimal impact on the honey bee microbiota.

This review examines the biology, spread, current diagnostic methods, and bacteriophage-based biocontrol approaches for P. larvae, the causative agent of AFB, in light of current literature.

Although control methods using bacteriophages against AFB are not yet widely implemented, research demonstrates the potential of this method.

Keywords: Honey bee, *Apis mellifera* L., American foulbrood, *Paenibacillus larvae*, Bacteriophage

Giriş

Bal arısı (*Apis mellifera* L.) yetiştiriciliğinin ekonomik önemi büyüktür. Bal arıcılığı, sadece bal üretimiyle sınırlı olmayan, bitkisel üretimi artırarak gıda güvenliği ve biyoçeşitliliğe katkı sağlayan önemli bir tarımsal ve hayvancılık faaliyetidir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü “Food and Agriculture Organization” (FAO, 2021) istatistiklerine göre; Çin, 472.100 ton ile 2021 yılında en çok bal üretimini gerçekleştiren ülke olmuştur. Türkiye, 96.344 ton ile Çin’i takip etmektedir. 2021 yılında dünya genelinde yaklaşık olarak 1,8 milyon ton bal üretimi gerçekleşmiştir. Sahip olduğu arı koloni sayısı bakımından Türkiye, Çin’e yakın miktarda koloniye sahip olmasına karşın (Çin’de 9,2 milyon koloni, Türkiye’de 8,7 milyon koloni), bal verimi değerlendirildiğinde karşılaştırılamayacak seviyede düşük üretim verilerine sahiptir. Koloni başına 51 kg bal üretimiyle Çin, arı kolonilerinden en yüksek miktarda ürün alan ülke konumundadır. Koloni başına 11 kg bal üretimi gibi düşük bir seviyede kalan Türkiye ise Çin’i takip etmektedir (FAO, 2022; Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK] 2024). Bu durum, Türkiye’de yüksek arıcılık potansiyeline sahip olunmasına rağmen, verimliliğin artırılması gerektiğine işaretir (Sancak ve ark., 2013). Ayrıca, 95 bin 492 ton ile, Türkiye’nin bal üretiminin 2024 yılında bir önceki yıla göre %16,9 azaldığı görülmektedir (TÜİK, 2024).

Amerikan Yavru Çürüklüğü (AYÇ), *Paenibacillus larvae* tarafından oluşturulan ve özellikle larva döneminde ölümcül seyreden bulaşıcı bir bakteriyel hastalıktır. 1906 yılında Amerikalı Dr. G.F. White, *P. larvae*’yı ilk defa tanımlamayı başarmıştır. *P. larvae* sporları, 1-2 µ boyunda ve 0.5 µ genişliğindedir (Ashiralieva ve Genersch, 2006). *P. larvae* sporları yavru arılar için patojen olduğundan yetişkin bal arılarında enfeksiyon oluşturmaz. Larvaların beslenmesi sırasında bakteri sporları bulaşabilir ve enfeksiyona neden olabilir (Zeybek, 1991).

P. larvae Gram pozitif, sporlu, mortalite oranı yüksek enfeksiyona neden olmaktadır. *P. larvae* sporlarının, enfektif formda yıllarca çevresel

dayanıklılıklarını koruyabildiği belirtilmektedir (Heyndrickx ve ark., 1996). Sporlar, arı larvalarının sindirim sistemine girdikten sonra çimlenerek vejetatif forma dönüşerek bağırsak duvarını delip hemolenfe ulaşır. *P. larvae*, Hemolenfe ulaştığında burada çoğalmakta ve larvanın ölümüne neden olmaktadır (Gregorc ve Bowen, 1998; Hansen ve Brødsgaard, 1999). AYÇ enfeksiyonu teşhisinde klinik bulgular önemli olsa da enfeksiyonun kesin teşhisi amacıyla, laboratuvarında marazi madde muayenelerinin yapılması şarttır (Tutkun ve Boşgelmez, 2003).

P. larvae genotipleri ve karakteristik özellikleri aşağıdaki **Tablo 1**'de sunulmuştur (Genersch, 2010; Beims ve ark., 2020; Jończyk-Matysiak ve ark., 2020).

Tablo 1. *P. larvae* genotipleri ve karakteristik özellikleri

Genotip	*ERIC I	ERIC II	ERIC III – ERIC IV	ERIC V
Tür	<i>P. larvae</i>	<i>P. larvae</i>	<i>P. larvae</i> subsp. <i>pulvificiens</i>	<i>P. larvae</i>
Virülans sıklığı	Larvayı 12 gün içerisinde öldürür. En fazla görülen genotiptir. Dünyanın her yerinde bulunur.	Dünyanın genelinde, özellikle de Avrupa'da izole edilen ve en yüksek letaliteye sahip türdür.	Larvayı 7 günde öldürür. Son yıllarda identifiye edilmemiştir.	3 gün sonrasında dahi ölümlere yol açar. İspanya'da identifiye edilmiştir.
Frekans	Frekansı en yüksek genotiptir. Dünyanın her yerinde bulunur.	Dünya genelinde özellikle de Avrupa'da izole edilmiştir.	Son on yılda identifiye edilmemiştir.	İspanya'da identifiye edilmiştir.

(*) ERIC: Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus (tekrarlayan enterobakteriyel intergenik konsensus diziler).

ERIC primerleri kullanılarak *P. larvae* 4 farklı genotipe ayrılmıştır. Bu genotipler değişken derecede patojenite göstererek enfeksiyona neden olduğu raporlanmıştır (Genersch ve Otten, 2003; Ashiralieva ve

Genersch, 2006). Son yıllarda yeni bir ERIC gentotipi (*P. larvae* ERIC V) tanımlanmıştır (Beims ve ark., 2020).

Amerikan Yavru Çürüklüğü (AYÇ) hastalığının etkeni olan *P. larvae*'nın virülens mekanizmaları, son yıllarda yapılan genomik ve moleküler çalışmalarla büyük ölçüde aydınlatılmıştır. Öne çıkan temel virülens faktörleri şunlardır:

i) Kitin parçalayıcı enzimler (PICBP49)

P. larvae'nın (ERIC I-IV) genotiplerinde bulunan ve türün en temel virülens faktörü olarak kabul edilen proteindir.

Kitin Parçalayıcı Enzimler (PICBP49), Larva orta bağırsağını koruyan peritrofik matriksi (PM) parçalayarak bakterinin epitel hücrelerine ulaşmasını sağlar (Djukic ve ark., 2014; Fünfhaus ve ark., 2017).

ii) Genotipe özgü toksinler (Plx1 ve Plx2)

Bakterinin epitel dokusunu istila etmesine ve hemosele (vücut boşluğu) geçmesine yardımcı olan güçlü toksinlerdir.

Plx1 ve Plx2: Özellikle ERIC I genotipinde bulunan, hücre iskeletini ve sinyal iletimini bozarak larval ölüme yol açan ikili (binary) toksinlerdir (Fünfhaus ve ark., 2017; Garcia-Gonzalez & Genersch, 2020).

iii) Proteazlar ve kollajenazlar

Bakteri, larva dokularını sıvılaştırmak ve besin sağlamak için çeşitli enzimler salgılar.

Kollajenazlar (ColA), özellikle daha hızlı ölüme neden olan ERIC II, III ve IV genotiplerinde doku yıkımını hızlandırır (Beims ve ark., 2020; Djukic ve ark., 2014).

iv) S-Tabakası proteinleri (SplA)

SplA: Özellikle ERIC II genotipinde bulunan bir yüzey proteindir.

SplA bakterinin larva bağırsak epitel hücrelerine yapışmasını (adhezyon) sağlar. ERIC I'in toksin odaklı stratejisinin aksine, ERIC II bu protein aracılığıyla daha çok fiziksel tutunma stratejisi izler (Fünfhaus ve ark., 2017; Garcia-Gonzalez & Genersch, 2020).

v) İmmün inhibitör A (InhA) ve enolaz

İmmün İnhibitör A (InhA): Arı larvasının bağışıklık sistemine karşı

savunma mekanizması olarak işlev görür ve plazminojen sistemini kullanarak doku yıkımına yardımcı olur. (Beims ve ark., 2020; Garcia-Gonzalez & Genersch, 2020).

Tablo 2. *P. larvae virülens faktörü, İşlevi ve Bulunduğu Genotipler*

Virülens Faktörü	İşlevi	Bulunduğu Genotipler
PICBP49	Peritrofik matriks yıkımı	Tüm genotipler (Anahtar faktör)
Plx1 / Plx2	Epitel istilası ve hücre ölümü	Genelde ERIC I
SplA (S-layer)	Adhezyon (Yapışma)	Genelde ERIC II
ColA	Doku sıvılaştırma	ERIC II, III, IV

İlk 48 saatlik dönem larvaların en duyarlı olduğu dönemdir. Enfeksiyona direnç yaş arttıkça artmaktadır. Hastalık, arıların bağışıklık sistemini etkilemeden ilerler. Çünkü bakteri sporları esas olarak larvaları hedef alır. Ergin arılar taşıyıcı rol üstlenirken klinik belirti göstermezler (Woodrow, 1942).

Günümüzde antibiyotik kullanımının yasaklanması, AYÇ tedavisinde alternatif yaklaşımlara olan ihtiyacı artırmıştır. Bu kapsamda bakteriyofajlar, özgül etkileri, çevresel güvenlik profilleri ve bal arılarının mikrobiyotasına minimal etkileri sayesinde umut vadeden biyolojik ajanlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu derlemede, AYÇ'nin etkeni olan *P. larvae*'nin biyolojisi, yayılımı, mevcut teşhis yöntemleri ve bakteriyofaj temelli biyokontrol yaklaşımları güncel literatür ışığında ele alınmıştır.

Amerikan yavru çürüklüğü enfeksiyonu ve türkiyedeki güncel durumu

Türkiyede yapılan çalışmalar incelendiğinde *P. larvae* ile ilgili çalışmaların daha çok varlığına yönelik olduğu görülmektedir. 2020-2023 yılları arasında Orta ve Doğu Karadeniz bölgelerindeki 207 arıcılık işletmelerinden örnekler alınmış ve AYÇ varlığı araştırılmıştır. Çalışmada toplanan örneklerde *P. Larvae*'nin varlığı kültür ve PCR ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 207 bal arısı işletmesinin 10'unun (%4,83) *P. larvae* ile enfekte olduğu belirlenmiştir (Akpınar ve ark., 2023). Hatay yöresinde 110 arıcılık işletmesinde bulunan 5730 bal arısı kolonisinden örnek toplanmıştır.

Örnek alınan bal arısı kolonilerinin %0.22'sinde AYÇ ve Avrupa Yavru Çürüklüğü (AvYÇ) birlikte bulunduğu tespit edilmiştir (Şahinler ve Gül, 2005). Karadeniz bölgesinde bulunan bal arısı kolonilerinin %13,11 oranında AYÇ ile enfekte olduğu, Türkiye'nin diğer bölgelerine göre enfeksiyonun daha düşük oranda saptandığı belirtilmiştir (Kekeçoğlu ve ark., 2013). 2001 yılında yayımlanan çalışmaya göre; 1999 – 2000 yılları arasında Elazığ'da bulunan 125 arı işletmesinden 335 petek örneği alınmış ve AYÇ yönünden incelenmiştir. 335 örneğin 32 (%9.55)'sinden ve 125 işletmenin 18 (%14.40)'inden *P. larvae* izole ettiklerini rapor etmişlerdir (Simsek ve Kalender, 2001).

"Sonuç olarak, Türkiye genelinde yapılan çalışmaların kronolojik ve bölgesel dağılımı incelendiğinde; *P. larvae* prevalansının yıllara ve bölgelere göre değişkenlik gösterdiği, enfeksiyon oranlarının yaklaşık %0,22 ile %14,40 arasında seyrettiği görülmektedir. Karadeniz Bölgesi özelinde yapılan araştırmalar, enfeksiyonun varlığını %4,83 ile %13,11 bandında tutarlı bir şekilde ortaya koyarken; Doğu Anadolu gibi bölgelerde işletme bazlı yaygınlığın daha yüksek seyredebileceği dikkat çekmektedir. Bu veriler, Amerikan Yavru Çürüklüğü'nün Türkiye arıcılığı için süregelen bir tehdit olduğunu ve hastalıkla mücadelede bölgesel dinamiklerin yanı sıra, güncel moleküler tanı yöntemleriyle desteklenen sürekli bir sürveyans stratejisinin gerekliliğini özetlemektedir."

Arı hastalıklarının teşhisi amacıyla kullanılan yöntemler

"Bal arısı hastalıklarının kontrolü ve eradikasyonunda doğru teşhis hayati bir öneme sahip olup, etkenlerin identifikasyonu ve karakterizasyonunda konvansiyonel yöntemlerin yanı sıra yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip çeşitli ileri laboratuvar tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda günümüzde kullanılan test ve teknikler aşağıda sıralanmıştır;

1. Moleküler teknikler PCR (Polymerase Chain Reaction) çeşitleri; REP-PCR (Repetitive Extragenic Palindromic), ERIC-PCR (Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus), BOX elements (BOX-A1R-based Repetitive Extragenic Palindromic), SDS-PAGE
2. Gas Chromatography (Etkenin biyokimyasal karakterini belirlemede kullanılır)
3. Epidemiyolojik ve taksonomik amaçlı çeşitli DNA parmak izi teknikleri; RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), ARDRA (Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis), RAPD (Random Amplified

Polymorphic DNA), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), PGFE (Pulsed Gel Field Electrophoresis).

4. Bakteriyofaj duyarlılığı, İmmuno teknikler, İmmunodifüzyon testi, İmmunoflouresan testi, ELISA testi.

Yukarıda sıralanan bu test ve teknikler arı hastalıklarının tanısı amacıyla günümüzde kullanılmaktadır (World Organisation for Animal Health [WOAH], 2023).

Bakteriyolojik kültür amacıyla kullanılan besiyerleri ve kültür koşulları

P. larvae 'yı üretmek amacıyla kullanılan birçok özel besiyeri vardır (De Graaf ve ark. 2013);

i) *P. larvae* agar (PLA): *Bacillus cereus* selektif agar bazı, triptikaz soya agar ve takviyeli besin agarı (SNA) içermektedir (Schuch ve ark., 2001).

ii) MYPGP agar: Mueller-Hinton broth, maya ekstraktı, potasyum fosfat, glikoz, pirüvat ve agar içermektedir (Dingman ve Stahly, 1983).

iii) J-Agar: Tripton, maya ekstraktı, K_2HPO_4 , glikoz, agar, nalidiksik asit ve pipemidik asit içermektedir (Hornitzky ve Karlovskis, 1989).

iv) CSA agar (Columbia sheep-blood agar): Columbia koyun kanlı agar baz ve % 5 steril defibrine koyun kanı, nalidiksik asit ve pipemidik asit içermektedir (Hornitzky ve Karlovskis, 1989).

v) BHIT agar (brain–heart infusion medium supplemented with thiamine): Tiamin HCl eklenmiş BHIT içermektedir (Hornitzky ve Karlovskis, 1989).

AYÇ sağaltımında antibiyotik kullanımı ve yasal sınırlamalar

Bal arılarının önemli ve ihbarı mecburi enfeksiyonu olan AYÇ'nde antibiyotik kullanımı yasak olmasına karşın bazı arıcılar tarafından kullanılmaktadır. Bu kuralınsızca kullanımın doğal bir sonucu olarak da balda antibiyotik kalıntısı sorunları oluşabilmektedir. Avrupa regülasyonlarına (EEC 2377/90) göre de arı ürünlerinin (bal, propolis, polen ve arı sütü) antibiyotik ile kontamine olması durumunda tüketime sunulması kesinlikle yasaktır (Pasupuleti ve ark., 2017).

Faj tabanlı tedavi yaklaşımları ve araştırmalar

AYÇ'ne karşı tedavide antibiyotik kullanılmasının yasak olması nedeniyle, AYÇ'nün bal arıları arasında yayılmasını önlemek ve tedavisi amacıyla bakteriyofajların kullanılması umut verici bir çözüm olabilir (Tsourkas, 2020). Fajlar konak özgüllüğü yüksek, doğal ve güvenli ajanlardır. Litik fajlar, sadece hedef bakteriyi lizis ederken doğal mikrobiyotaya zarar vermediği belirtilmektedir (Clokie ve ark., 2011; Tsourkas, 2020). Bu

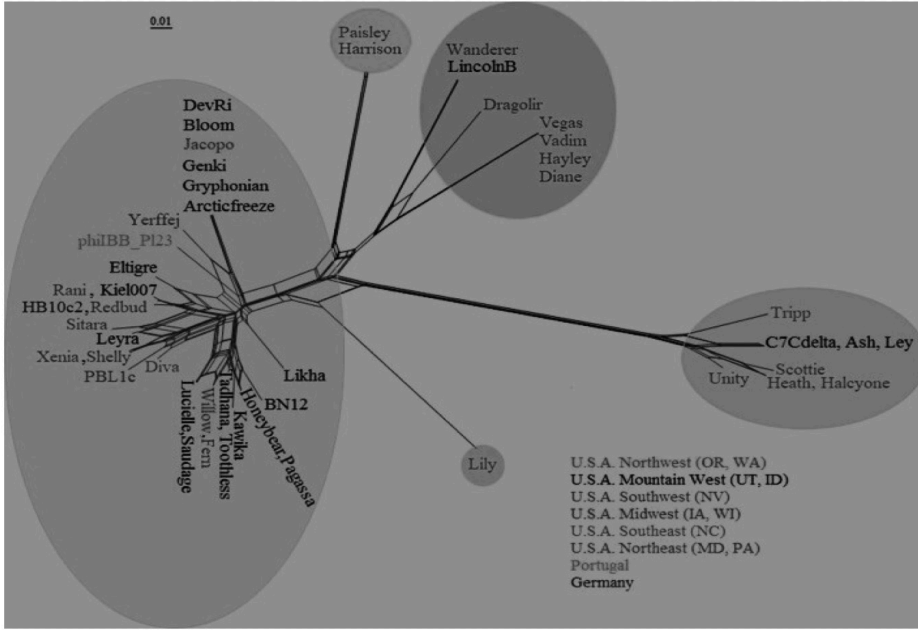
bakteriyel virüsler biyosferde sıklıkla bulunmaktadır (Clokier ve ark., 2011). Yakın zamanda yapılan bir çalışma fajların (hem litik hem de ılımlı olanlar) bal arısı barsak mikrobiyal topluluğunun bir parçası olabileceğini göstermiştir (Bonilla-Rosso ve ark., 2020). Fajlar, güvenli ve insanlar da dahil olmak üzere yüksek mikroorganizmalar tarafından iyi tolere edilen ve aynı zamanda arılar için de güvenli olan doğal yapılardır. Litik aktivite gösteren fajlar, doğal barsak mikroflorasının bileşimi üzerinde olumsuz etki göstermeden sadece bakteriyel konağın tahribatına ve çürümesine neden olduğu rapor edilmiştir (Cieplak ve ark., 2018). Fajların ökaryotik hücreleri enfekte edemediği bilinmektedir ve ayrıca insan, hayvan ve bitkiler üzerinde herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır (Atterbury, 2009).

Bu avantajlarından dolayı bakteriyofajlar arılarda da terapötik olarak kullanılabilir. Fajların enfeksiyon yerinde amplifiye olması diğer bir avantajlı özelliklerindendir ki bu nedenle “kendi kendilerine dozlanan” olarak nitelendirilmektedirler. Daha fazlası, fajların gıda endüstrisinde, patojen bakterilerin yayılmasını, gıda ürünlerinin bozulmasını önlemek ve ayrıca hayvansal ve bitkisel gıda üretiminin daha güvenli olması amacıyla kullanılması önerilmektedir (Sillankorva ve ark., 2012).

2018 yılında yayımlanan bir çalışmaya göre; *P. larvae*’ya karşı sekanslanan 48 faj incelenmiş ve geniş bir yelpazeyi içeren 5 kümede bu fajlar gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma arasında; Fern, Harisson, Vegas, Lily ve Halcyone fajları Fern kümesi içlerinde en kapsamlı olanıdır ve 48 *P. larvae* faj genomunun 30’unu içermektedir. Bu fajların; Pagassa, Honeybear, Toothless, Tadhana, Fern, Willow, Lucielle, Saudage, BN12, Kawika, Kiel007, Redbud, Rani, Eltigre, HB10c2, Arcticfreeze, DevRi, Bloom, Jacopo, Likha, phiIBB_PL23, Yerffej, Sitara, Diva, Shelly, Xenia, Leyra, PBL1c, Genki ve Gryphonian olduğu rapor edilmiştir (Stamereilers ve ark., 2018).

İkinci sırada Halcyone kümesi yer almaktadır ve 8 faj içermektedir. Bu fajlar; Ash, Ley, C7Cdelta, Halcyone, Heath, Tripp, Scottie ve Unity’dir. Vegas kümesi 7 faj içermektedir; Diane, Vadim, Vegas Hayley, Dragolir, LincolnB ve Wanderer adlı fajlarıdır. Harrison kümesi ise sade 2 faj içermektedir; Harrison ve Paisley adlı fajlarıdır. Faj Lily ise herhangi bir kümede değildir. Halcyone kümesinde yer alan fajlar diğer fajların tümünden çok farklıdır. Günümüzde, GenBankasında 56 *Paenibacillus* fajı bulunmaktadır. Yukarıda *P. larvae*’ya karşı sınıflandırılmış olan

ve Siphovirüsler altında belirtilen kümelerde yer alan fajlar haricinde Stamereilers ve ark., (2018) ve Tsourkas, (2020) myovirüsler (Abouo, Davies, Emery, Jimmer1 ve Jimmer2 fajları) altında gruplandırıdıkları fajlar bulunmaktadır. Detaylar **Şekil 1.**'de verilmiştir. *P. larvae* fajlarının profilaktik ve küratif etkilerinin olduğu belirtilmiştir (Tsourkas, 2020).



Şekil 1. *P. larvae* fajları aşağıdaki tabloda sınıflandırılmıştır (Stamereilers ve ark., 2018; Tsourkas, 2020).

Antibiyotiklerin kullanımının yasaklanması, *P. larvae* ile mücadelede bakteriyofajları öne çıkarmıştır. Birçok çalışmada, *P. larvae*'ye karşı etkili olan fajların genom dizilemeleri yapılmış, HB10c2, T7, Jimmer1 gibi fajların hem profilaktik hem de tedavi edici potansiyelleri test edilmiştir (Beims ve ark., 2015; Ribeiro ve ark., 2019). Ancak bazı fajların larvalardaki etkisinin sınırlı olduğu ve faj direnç gelişiminin olası bir tehdit olduğu belirtilmiştir (Van Leuven ve ark., 2024).

Son yıllarda geliştirilen modifiye Appelmans ve RAMP-UP protokolleri, yüksek titerli ve geniş konak spektrumuna sahip fajların hızlı izolasyonunu mümkün kılmıştır (Van Leuven ve ark., 2024). Yeni Zelanda'da yürütülen bir topluluk temelli çalışmada, 26 yeni faj tanımlanmış ve bunların faj kokteyllerinde kullanılabilirliği gösterilmiştir (Kok ve ark., 2023).

Faj kokteyli kullanımı hem etkinliği artırmak hem de direnç gelişimini önlemek açısından önerilmektedir. Yeni Zelanda ve Suudi Arabistan'da yapılan çalışmalarda, enfekte kolonilerde faj kokteyli uygulamasının yüksek etkinliğe sahip olduğu gösterilmiştir (El-Meihy ve ark., 2024; Kok ve ark., 2023).

2016 yayımlanan bir çalışmada; topraktan, arı kovani materyallerinden, kozmetiklerden alınan örnekler incelenmiş ve *P. larvae* suşlarının lizojenik özelliği değerlendirilmiştir. Buna göre toplam 157 örneğin en az 28'inde bir *P. larvae* bakteriyofajı pozitif olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, faj tedavisinin AYÇ'yi kontrol etmek için etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Yost ve ark., 2016). 2025'te yayımlanan başka bir çalışmada ise; Yeni Zelanda'da yakın zamanda izole edilen 26 yeni *P. larvae* fajının dizilenmesi yapılmış ve açıklamalı genomlarını sunulmuştur. Bu çalışmayla dizilenmiş ve açıklamalı *P. larvae* fajlarının toplam sayısı 96'ya çıkmıştır (Kok ve ark., 2025). 2019'da yayımlanan bir çalışmaya göre, *P. larvae*'yı enfekte eden ve yüksek düzeyde spesifiteye sahip olan ilk podovirüs olarak bildirilmiş olan API480 (vB_PlaP_API480) fajı, kovan koşullarında geniş litik aktivitesi ve stabilitesi ile, AYÇ'nin biyolojik kontrolünde potansiyel olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Ribeiro ve ark., 2019).

2021 yılında yayımlanmış bir araştırmada; 2500 'den fazla numune incelenmiş, 35 adet *Paenibacillus* spp. suşu elde edilmiş ve faj araştırmaları için kullanılmıştır. *Paenibacillus*'a özgü beş adet faj izole edilerek (ultrastrüktür, morfoloji, biyolojik özellikler, stabilitesi ve genom dizilimine göre) karakterize edilmiştir. Bu karakterizasyonlar, fajların litik potansiyelleri hakkında bilgi edinmek ve gelecekteki saha uygulamalarında kullanılmak üzere yüksek antibakteriyel potansiyele sahip etkili bir faj kokteyli oluşturmak için yapılmıştır. Ayrıca sağlıklı arılar üzerinde de ön güvenlik çalışmaları yapılmış olup, uygulanan faj preparatı zararsız olarak değerlendirilmiştir (Jończyk-Matysiak ve ark., 2021). 2017'de yayımlanan çalışmaya göre, *P. larvae* bakterisine karşı bakteriyofajlar izole edilmiş ve 59 saha izolat suşu, her bir bakteriyofaj konakçı aralığının belirlenmesi için test edilmiştir. *P. larvae* suşlarını lize etme yeteneğine göre ve AYÇ enfeksiyonlarında tedavisi için bakteriyofaj kokteyli oluşturmak amacıyla üç (Bakteriyofaj 1, 5 ve 9) seçilmiştir (Brady ve ark., 2017).

Bakteriyofaj kokteyli güvenlik ve etkinlik yönünden AYÇ enfeksiyonlarının önlenmesi ve aktif enfeksiyonların tedavisinde geleneksel antibiyotiklerin

yerini alabileceğini göstermek için yapılmıştır. Güvenlik doğrulama çalışmaları, bakteriyofaj kokteylinin aşırı dozda uygulansa bile arı ölüm oranını olumsuz etkilemediğini doğrulamıştır (Brady ve ark., 2017).

Sağlıklı kovanlar üzerinde yapılan karşılaştırmalı bir çalışmaya göre; geleneksel profilaktik antibiyotik tedavisinin genel kovan sağlığı üzerindeki etkisi 38 ± 0.7 'lik bir azalmayla kontrol kovanlarında gözlemlenen kovan sağlığıyla karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak daha düşük olarak bulunmuştur. Bakteriyofaj kokteyli ile tedavi edilen kovanlarda ise, 19 ± 0.8 'lik bir azalma gözlemlenmiş ve bu etki kontrol kovanlarıyla elde edilen 10 ± 1.0 'lik azalmaya göre istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır (Brady ve ark., 2017). Doğal enfeksiyon riski altındaki kovanlar üzerinde yapılan bir çalışmada, bakteriyofaj ile tedavi edilen kovanlar 100 ± 0.5 'i AYÇ enfeksiyonuna karşı korunurken, tedavi edilmeyen kontrol gruplarının 80 ± 0.5 'i enfekte olmuştur. AYÇ ile enfekte olan kovanlar, 4 üzerinden ortalama 2.25 Hitchcock skoru ile başlamış ve bakteriyofaj kokteyli ile tedavi edilen kovanların 100 ± 0.5 'i iki hafta içinde tamamen iyileştiği bildirilmiştir. Bu çalışmalar AYÇ enfeksiyonunda bakteriyofaj ile tedavinin güvenliği ve etkinliğini göstermesi yönüyle önem taşımaktadır (Brady ve ark., 2017). Ayrıca 2024'de yayımlanan çalışmaya göre, çalışmada Appelmans protokolü modifiye edilmiştir ve buna göre gözlemlenen yeni faj türlerinin oranı veya sayısı önemli ölçüde değişmemesine rağmen, faj popülasyonunun hızla artma eğiliminde olan bir faj tarafından baskın hale gelmesi engellenmiştir. Bu bulgular, Appelmans protokolündeki küçük bir değişikliğin faj tedavisi için fajların gelişimini nasıl etkilediğini göstermiştir. Yöntem ayrıca, bal arılarındaki bakteriyel enfeksiyonların tedavisi için geliştirilmiş fajların elde edilmesi yönüyle de dikkati çekmektedir (Paull ve ark., 2024).

Appelmans protokolünde yapılan modifikasyon ile faj izolatları elde edilmesi

Bakteriyel enfeksiyonları tedavi etmek için kullanılması amaçlanan bakteriyofajlar, günümüzde genetik mühendisliği veya deneysel yöntemlerle geliştirilmektedir. "Appelmans" adlı bu protokolde modifikasyon yapılarak, mikrotitre plakalarının kullanılmasıyla geçirgen yapıya sahip olmayan konakçıları enfekte edebilen fajların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bal arısı patojeni *P. larvae* kullanılarak standart Appelmans protokolünün bir modifikasyonu test edilmiştir. Çalışmada; Standart Appelmans protokolü kullanılarak, 4 *P. larvae* suşu üzerinde 3 faj

gelişimi sağlanmıştır. Ardından Appelmans protokolünün modifikasyonu ile de elde edilen fajların 10 kez pasajlanmasıyla faj çeşitliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucuna göre 360 plaktan oluşan konakçı yelpazesi karakterize edilmiş ve altı yeni faj lizis paterni tanımlanmıştır (Paull ve ark., 2024).

2024’de yayımlanan çalışmaya göre, *P. larvae*’nın farklı bakteriyofajlara karşı direnç geliştirme yeteneği incelenmiştir. Bakteriyofaj dirençli izolatlardaki mutasyonların, potansiyel yüzey reseptörlerini kodlayan genlerde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu izolatlardan biri arı larvalarında test edilmiş ve parental *P. larvae* suşuna kıyasla daha düşük virülansa sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca, bakteriyofajların direnç evrimine karşı koyabileceği de tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bakteriyofaj direncinin ortaya çıkabileceğini, ancak etkisinin muhtemelen patojenitenin azalması ve bu direncin ikincil bakteriyofaj mutasyonları ile aşılabileceğini belirtmişlerdir (Van Leuven ve ark., 2024).

AYÇ’nde uygulanan fajlar

P. larvae’ya karşı aktif olan fajların ilk izolasyonundan bu yana, pek çok faj izole edilmiş ve tanımlanmıştır. Ancak AYÇ’nün kontrol edilmesi yönüyle sadece bir kısmının aktivitesi analiz edilmiştir. Aşağıda sunulan verilerde, arılarda *P. larvae* karşı faj uygulaması çeşitli çalışmalardan alıntılanmıştır.

-HB10c2 faj uygulaması

HB10c2 bakteriyofajı, *P. larvae* ERIC I’in neden olduğu klinik semptomlara bağlı olarak kovanın tutkal benzeri sıvısından izole edilmiştir (Beims ve ark., 2015).

2015’de yayımlanan çalışmaya göre, çalışmada; *Siphoviridae* ailesinde yer alan ve oldukça litik bir faj olan HB10c2’nin tam genom analizi yapılmış ve bu fajın ayrıntılı bir güvenlik profiline sahip olduğu gösterilmiştir. HB10c2 fajının lizojenik doğasının olasılıkla beta-laktamaz benzeri proteinine bağlı olarak ortaya çıktığı değerlendirilmektedir. Yine çalışmada hedeflenen patojenlere karşı antagonistik aktivitesini değerlendirmek ve arı popülasyonu ile çevre üzerindeki potansiyel zararlı etkilerini belirlemek amacıyla, *P. larvae* genotipleri ERIC I’den IV’e, arı bağırsak mikrobiyotasının temsilcileri ve Bacillales takımında ait geniş bir üye paneli, HB10c2 fajı ile indüklenen lizis için analiz edilmiştir. Besleme sırasında enfeksiyon 500 cfu/larva konsantrasyonunda *P. larvae* ERIC I DSM 7030 veya ERIC II DSM 25430 suşu sporları ile beslenen arılara,

faj 50,000 pfu/larva konsantrasyonunda uygulanmıştır. HB10c2 fajı arılarda mortaliteye ve barsak mikrobiota kompozisyonunda değişikliğe neden olmamıştır. Ancak HB10c2 faj tedavisinin AYÇ’nde enfekte larvada etkili olmadığı gösterilmiştir. Ayrıca hedef patojende direnç gelişimi potansiyeli riskine bağlı olarak özellikle koruyucu uygulama amacıyla faj kokteyllerinin gerekli olabileceği sonucuna varılmıştır (Beims ve ark., 2015).

-T7 faj uygulaması

2019’da yayımlanan çalışmaya göre; kovan yönetimi yönüyle, işçi arıların beslenmesi yoluyla fajın larvalara dolaylı yoldan uygulanması, en pratik yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, enfektif süreçte bulunan larvalar üzerinde, fajın bal arılarına oral yolla verildikten sonra ne kadar etkili olabildiği değerlendirilmiştir. Arıların organlarındaki ve larvaların yuttuğu faj miktarının direk tarama (direk Faj Oluşturan Birim “PFU” sayımı yoluyla) ve kantifikasyon (kantitatif PCR) yoluyla tespitine göre; arıların organlarında tespit edilen miktar 10^4 iken larvalara ulaşan faj ortalaması 32 adet olduğu belirtilmiştir. Enfeksiyonun yayılmasının önlenmesinde etki göstermesi beklenen dozun 32 olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak arı sütünde hızla inaktif hale geçen bu düşük terapötik miktarın enfeksiyonun kontrolünde hangi oranda etkili olacağı, tedavi imkanını sınırlandırıcı bir faktör olarak ortaya çıktığı vurgulanmıştır (Ribeiro ve ark., 2019).

T7 fajı, arıların beslenmesi amacıyla rutinde kullanılan %50 sükröz solüsyonu ile invivo uygulanması öncesinde 24 saat süresince stabilitesi yönüyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, en azından bu süre içerisinde fajın canlılığı etkilenmemektedir. Ayrıca sprey ile uygulama metodu ile fajın arının beslendiği solüsyon aracılığıyla uygulanması karşılaştırılmış; iş gücü yönüyle fajın daha efektif uygulanmasını sağlayan bu metodun daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Ribeiro ve ark., 2019).

-Jimmer1-KC595515, Jimmer2-KC595514, Emery-KC595516, Abouo-KC595517, Davies-KC595518, Osiris-KT151956, Powder-KT151958, SecTim467-KT151957, Sundance-KT151959, Jenst-KT151955 faj uygulamaları

2018 yılında yayımlanan çalışmada, arıların barsaklarında ve kovanlarda bulunan ve *Brevibacillus laterosporus* adlı bir başka bakterinin fajları

ile enfekte edilmesi sonucunda ürettiği bakterisidallerin *P. larvae* ile enfekte olan arılarda tedavi etkinliğinin %75 olduğunu gösterilmiştir. *B. laterosporus* adlı Bystander (seyirci) bakteriyi enfekte etmek için kullanılan fajlar: Jimmer1-KC595515, Jimmer2-KC595514, Emery-KC595516, Abouo-KC595517, Davies-KC595518, Osiris-KT151956, Powder-KT151958, SecTim467-KT151957, Sundance-KT151959, Jenst-KT151955 olduğu rapor edilmiştir (Brady ve ark., 2018).

-Hb2, Hb3, Hb10 ve SS faj uygulamaları

2024'de yayımlanan bir çalışmaya göre, sekiz arı yetiştiricisinin kovanları AYÇ enfeksiyonları açısından incelenmiştir. Geleneksel teknikler kullanılarak 16S rRNA genine özgü 452 bp'lik PCR ürününün bakteri 16S rRNA genine spesifikliğı ile üç *P. larvae* izolatu belirlenmiş ve *Paenibacillus* izolatları arasında karşılaştırma yapılmıştır. Ek olarak, *P. larvae* suşlarının özel fajları arıcılık koşulları altında enfeksiyon oranını azaltma etkinlikleri açısından incelenmiştir. Enfeksiyon oranı, her bir faj ayrı ayrı uygulandığında %20 ila %85,7 veya antibiyotik tedavisinin uygulandığı durumlarda %78,6 ila %88,9 iken faj kokteyli uygulanmasıyla yaklaşık %94,6 ila %100'e kadar azaldığı rapor edilmiştir (El-Meihy ve ark., 2024).

-PL. Ph-1 faj uygulamaları

2021'de yayımlanan bir çalışmaya göre, fajların sadece vejetatif *P. larvae* 'ya bağlanmakla kalmayıp aynı zamanda *P. larvae* sporlarına da bağlandığını kanıtlayan bulgular sunulmuştur. Spor bağlanması üç belirli deneyin sonuçlarına göre belirlenmiştir.

1- FITC-ile işaretlenmiş fajların miktarını ölçen akış sitometrisi sayesinde, vejetatif bakterilere bağlanmış olan fajlar yanında sporlara da bağlanmış olan fajlar ile ilgili nicel veriler elde edilmiştir.

2- Elektron mikroskopi de hem yatay pozisyonda hem de dikey pozisyonda spor yüzeyine bağlanmış olan fajların görüntüleri saptanmıştır.

3- *P. larvae* sporları ile inkube edilen fajların sporlara bağlandığı, koşulların spor aktivasyonu için uygun olmadığı şartlarda bulunan vejetatif bakterilerde plaklar oluşturduğu belirlenmiş, bu sonuca göre sporlara bağlanan fajların geri dönüşümlü olduğu ve fajların hala aktif olduğu gösterilmiştir. Faj ile tedavi için geri dönüşebilen spor-bağlama yeteneğı olan fajların tanımlanmasının, sporlu bakteriyel enfeksiyon tedavisinde kullanılabileceğı değerlendirilmektedir (Brady ve ark., 2021).

-Yeni Zelanda’da faj uygulamaları

Daha önce de belirtildiği gibi, 2023’de yayımlanan çalışmaya göre, 26 adet faj izole edilmiş ve elde edilen bu fajlar Vegas ve Harrison kümesinde sınıflandırılmıştır. Bu çalışma sonucuna göre Yeni Zelanda’ya özgü ve yeni olan sekiz *P. larvae* bakteri izolatının ve 26 *P. larvae* bakteriyofajının keşfi ve izolasyonu yapılmıştır. Faj genomları dizilenmiş ve Gen Annotasyonu yapılmıştır. Genomları mevcut dizilenmiş *P. larvae* faj genomlarıyla karşılaştırılmıştır. Bakteriyofajların konak aralıkları test edilmiş ve bir dizi temsilci bakteri suşunda in vitro testler yapılmak üzere kokteyller formüle edilmiştir.

Bu çalışmanın sonucuna göre; AYÇ'den korunmak amacıyla hazırlanan faj kokteyl formülasyonlarının kullanılması, umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmiştir (Kok ve ark., 2023).

Türkiye’de yapılan bakteriyofaj çalışmaları

Türkiye’de AYÇ enfeksiyonunda bakteriyofaj kullanımı ile ilgili yapılan literatür taramasına göre, BAP Araştırma Projesi kapsamında “Amerikan Yavru Çürüklüğü etkeni *P. larvae* suşlarında bakteriyofaj izolasyon ve karakterizasyonu” adlı proje yayımlanmıştır (Karali ve ark., 2022). Ayrıca 2021’de yayımlanan diğer çalışmaya göre; *Paenibacillus* faj SV21, *Paenibacillus* faj Pd22F adlı iki bakteriyofaja ait konak aralığı ve özgüllüğü, patlama boyutu, litik aktivitesi ve morfolojik özellikleri, yeni nesil dizilemeyle tüm genom analizi, fonksiyonel gen bölgeleri ve karşılaştırılmalı genomik analizi yapılarak filogenetik ağaçların oluşturulduğu belirtilmiştir. (Bozdeveci, 2021).

Koruma ve kontrol

11/6/2010 tarihli ve 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanununun 4 üncü maddesi ile 3/6/2011 tarihli ve 639 sayılı Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin 7 nci maddesi hükümlerine dayanılarak hazırlanan yönetmeliğe göre; Bal arılarının AYÇ hastalığına karşı korunma ve mücadelesinde, Hastalığın yayılmasını engellemek için temel petek üretimi yapan petek üreticileri, bal mumlarını 120 °C’de 1 atmosfer basınç altında 10-15 dakika süreyle sterilize ettikten sonra piyasaya sürer (T.C. Resmî Gazete, 2011).

Türkiye’de ihbarı zorunlu olan bu hastalıkla en kesin ve etkili mücadele yöntemi, enfekte kolonilerin tümüyle yakılarak yok edilmesidir (Gülpınar,

2005). Kovan gövdesi pürmüzle iyice alevden geçirilerek yakılmalı ve körük, maske, el demiri yemlik, ana arı ızgarası gibi bulaşık olan malzemeler dezenfekte edilmelidir. Böylece hastalığın diğer kolonilere bulaşması önlenmiş olur (Genç ve Dodoloğlu, 2002).

Sonuç

Bu derlemede, AYÇ enfeksiyonunun tedavisinde ve kontrolünde bakteriyofajların potansiyel kullanımını incelemiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bakteriyofajların *P. larvae* ile mücadelede etkili, güvenilir ve çevre dostu biyolojik ajanlar olduğunu ortaya koymuştur. Fajlar, özellikle antibiyotik kullanımının yasaklandığı ülkelerde, kalıntı bırakmama avantajı ve mikrobiyotaya zarar vermemesi nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

Çeşitli çalışmalarda farklı faj türleri AYÇ'nün tedavisinde test edilmiştir. Örneğin HB10c2 fajının litik etkisi araştırılmış ancak enfekte larvalarda etkili olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde T7 fajının da düşük terapötik miktarlarda etkili olduğu ancak hastalığın kontrolünde tam olarak tatmin edici sonuçlar vermediği belirlenmiştir.

Diğer bir çalışmada ise *B. laterosporus* adlı bir başka bakterinin ürettiği bakterisidallerin *P. larvae* ile enfekte olan arılarda tedavi etkinliği %75 olarak raporlanmıştır. Ayrıca Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada ise Yeni Zelanda'ya özgü sekiz *P. larvae* izolatının tanımlanması ve 26 fajın izolasyonu üzerine gerçekleştirilen analizlerde umut verici sonuçlara ulaşılmıştır. AYÇ'nün kontrolünde bakteriyofajlarla yapılan mücadele yöntemleri henüz yaygın olarak uygulanmamaktadır. Ancak yapılan araştırmalar bu yöntemin potansiyelini göstermesine rağmen tedavideki etkinliğini ortaya koyan daha fazla kanıtı ihtiyacı duyulmaktadır.

Uygulamalı çalışmalar, fajların hem profilaktik hem de tedavi edici amaçla kullanılabileceğini ve özellikle kokteyl formülasyonlarının daha yüksek başarı oranı sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, faj direnci gelişimi olasılığı ve sahada etkili olacak formülasyonların geliştirilmesindeki zorluklar hâlen çözülmesi gereken konular arasındadır. Bu derlemenin bulguları, özellikle Avrupa ve ABD'de yapılan çalışmaların sıklığı dikkate alındığında AYÇ'nün kontrolünde bakteriyofajların potansiyel kullanımına dair umut verici sonuçları içermektedir. Türkiye gibi AYÇ'nin yaygın olduğu ülkelerde yerel faj izolasyonu, genomik karakterizasyonu ve saha uygulamalarını kapsayan projeler, uzun vadede ulusal arıcılığın sürdürülebilirliği için hayati rol oynayacaktır.

Fajların konak özgüllüğü, çevresel stabiliteleri ve antibiyotiklere direnç geliştirmeme özellikleri bu biyolojik ajanları güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Türkiye’de konuya yönelik araştırmalar artmakla birlikte, sahaya uygulanabilir faj kokteyllerinin geliştirilmesine ve ulusal bir "Faj Bankası" oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak, bakteriyofajlar AYÇ ile mücadelede umut verici bir alternatif sunmakta olup, bu alandaki araştırmaların artırılması, yasal düzenlemelerle desteklenmesi ve uygulamaya entegrasyonu büyük önem taşımaktadır.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurul Beyanı: Bu çalışma, insan veya hayvan denekleri üzerinde herhangi bir deneysel uygulama içermemektedir. Araştırma yalnızca literatür taraması ve mevcut bilimsel verilerin derlenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle etik kurul onayı gerekmemektedir. Çalışma, bilimsel araştırma ve yayın etiği ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Akpınar, R., Bozdeveci, A. & Çelik, S. (2023). Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki bal arılarında ve temel petekte Amerikan yavru çürüklüğünün teşhisi. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 15(1), 1–10.
- [2] Ashiralieva, A. & Genersch, E. (2006). Reclassification, genotypes and virulence of *Paenibacillus larvae*, the etiological agent of American foulbrood in honeybees—A review. *Apidologie*, 37(4), 411–420. <https://doi.org/10.1051/apido:2006025>
- [3] Atterbury, R. J. (2009). Bacteriophage biocontrol in animals and meat products. *Microbial Biotechnology*, 2(6), 601–612. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2009.00114.x>
- [4] Beims, H., Bunk, B., Erler, S., Mohr, K. I., Spröer, C., Pradella, S., Günther, G. et al. (2020). Discovery of *Paenibacillus larvae* ERIC V: Phenotypic and genomic comparison to genotypes ERIC I-IV reveal different inventories of virulence factors which correlate with epidemiological prevalences of American foulbrood. *International Journal of Medical Microbiology*, 310(2), Article 151394. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2020.151394>
- [5] Beims, H., Wittmann, J., Bunk, B., Overmann, J., Rohde, C., Rohde,

- M., Günther, G., Hölzle, L. E., von der Ohe, W., & Steinert, M. (2020). *Paenibacillus larvae* virulence and spore production: A comparative study of European-American foulbrood genotypes. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1460. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01460>
- [6] Beims, H., Wittmann, J., Bunk, B., Spröer, C., Rohde, C., Günther, G., Rohde, M. et al. (2015). *Paenibacillus larvae*-directed bacteriophage HB10c2 and its application in American foulbrood-affected honey bee larvae. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(16), 5411–5419. <https://doi.org/10.1128/AEM.01457-15>
- [7] Bonilla-Rosso, G., Steiner, T., Wichmann, F., Bexkens, E. & Engel, P. (2020). Honey bees harbor a diverse gut virome engaging in nested strain-level interactions with the microbiota. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(13), 7355–7362. <https://doi.org/10.1073/pnas.1914655117>
- [8] Bozdeveci, A. (2021). *Paenibacillus larvae* bakteriyofajlarının izolasyonu, moleküler karakterizasyonu ve farklı suşlarına karşı etkinliğin belirlenmesi (Tez No. 691713) [Doktora tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- [9] Brady, T. S., Fajardo, C. P., Merrill, B. D., Hilton, J. A., Graves, K. A., Eggett, D. L. & Hope, S. (2018). Bystander phage therapy: Inducing host-associated bacteria to produce antimicrobial toxins against the pathogen using phages. *Antibiotics*, 7(4), Article 105. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7040105>
- [10] Brady, T. S., Merrill, B. D., Hilton, J. A., Payne, A. M., Stephenson, M. B. & Hope, S. (2017). Bacteriophages as an alternative to conventional antibiotic use for the prevention or treatment of *Paenibacillus larvae* in honeybee hives. *Journal of Invertebrate Pathology*, 150, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.09.010>
- [11] Brady, T. S., Roll, C. R., Walker, J. K., Fajardo, C. P., Breakwell, D. P., Eggett, D. L. & Hope, S. (2021). Phages bind to vegetative and spore forms of *Paenibacillus larvae* and to vegetative *Brevibacillus laterosporus*. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 588035. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.588035>
- [12] Cieplak, T., Soffer, N., Sulakvelidze, A. & Nielsen, D. S. (2018). A bacteriophage cocktail targeting *Escherichia coli* reduces *E. coli* in

- simulated gut conditions, while preserving a non-targeted representative commensal normal microbiota. *Gut Microbes*, 9(5), 391–399. <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1447293>
- [13] Clokie, M. R., Millard, A. D., Letarov, A. V. & Heaphy, S. (2011). Phages in nature. *Bacteriophage*, 1(1), 31–45. <https://doi.org/10.4161/bact.1.1.14942>
- [14] De Graaf, D. C., Alippi, A. M., Antúnez, K., Aronstein, K. A., Budge, G., De Koker, D., De Smet, L. et al. (2013). Standard methods for American foulbrood research. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.14>
- [15] Dingman, D. W. & Stahly, D. P. (1983). Medium promoting sporulation of *Bacillus larvae* and metabolism of medium components. *Applied and Environmental Microbiology*, 46(4), 860–869. <https://doi.org/10.1128/aem.46.4.860-869.1983>
- [16] Djukic, M., Becker, D., Fünfhaus, A., Papadometrio, C., Pauli, E. B., Hierlmeier, T., Genersch, E., & Daniel, R. (2014). Genomic analysis of *Paenibacillus larvae* and survey of its virulence factors. *PLOS ONE*, 9(7), e103022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103022>
- [17] El-Meihy, R. M., Hassan, E. O., Alamoudi, S. A., Negm, S., Al-Hoshani, N., Al-Ghamdi, M. S. & Nowar, E. E. (2024). Probing the interaction of *Paenibacillus larvae* bacteriophage as a biological agent to control the American foulbrood disease in honeybee. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 31(6), Article 104002. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2024.104002>
- [18] Food and Agriculture Organization. (2022, December). *Tarım ve hayvancılık ürünleri, 2022*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- [19] Fünfhaus, A., Ebeling, J., & Genersch, E. (2017). Bacterial toxins relevant for pathogenesis of American Foulbrood of honey bees (*Apis mellifera*). *Toxins*, 9(12), 397. <https://doi.org/10.3390/toxins9120397>
- [20] Garcia-Gonzalez, E., & Genersch, E. (2020). *Paenibacillus larvae* and American Foulbrood: A review of a deadly core pathogen of honey bees. *Environmental Microbiology*, 22(11), 4501–4513. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15166>
- [21] Genç, F., & Dodoloğlu, A. (2002). *Arıcılığın temel esasları*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları.

- [22] Genersch, E. (2010). American foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103(Supplement 1), S10–S19. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.015>
- [23] Genersch, E. & Otten, C. (2003). The use of repetitive element PCR fingerprinting (rep-PCR) for genetic subtyping of German field isolates of *Paenibacillus larvae* subsp. *larvae*. *Apidologie*, 34(3), 195–206. <https://doi.org/10.1051/apido:2003010>
- [24] Gregorc, A. & Bowen, I. D. (1998). Histopathological and histochemical changes in honeybee larvae (*Apis mellifera* L.) after infection with *Bacillus larvae*, the causative agent of American foulbrood disease. *Cell Biology International*, 22(2), 137–144. <https://doi.org/10.1006/cbir.1997.0232>
- [25] Gülpınar, V. (2005). Bal arısı hastalık ve zararlıları. *Teknik Arıcılık*, 87, 2–7.
- [26] Hansen, H. & Brødsgaard, C. J. (1999). American foulbrood: A review of its biology, diagnosis and control. *Bee World*, 80(1), 5–23. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1999.11099415>
- [27] Heyndrickx, M., Vandemeulebroecke, K., Hoste, B., Janssen, P., Kersters, K., De Vos, P., Logan, N. A. et al. (1996). Reclassification of *Paenibacillus* (formerly *Bacillus*) *pulvifaciens* (Nakamura 1984) Ash et al. 1994, a later subjective synonym of *Paenibacillus* (formerly *Bacillus*) *larvae* (White 1906) Ash et al. 1994, as a subspecies of *P. larvae*, with emended descriptions of *P. larvae* as *P. larvae* subsp. *larvae* and *P. larvae* subsp. *pulvifaciens*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 46(1), 270–279. <https://doi.org/10.1099/00207713-46-1-270>
- [28] Hornitzky, M. & Karlovskis, S. (1989). A culture technique for the detection of *Bacillus larvae* in honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 28(2), 118–120. <https://doi.org/10.1080/00218839.1989.11100832>
- [29] Jończyk-Matysiak, E., Popiela, E., Owczarek, B., Hodyra-Stefaniak, K., Świtła-Jeleń, K., Łodej, N., Orwat, F. et al. (2020). Phages in therapy and prophylaxis of American foulbrood—Recent implications from practical applications. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 1913. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01913>

- [30] Karali, M., Akpınar, R., Sevim, E., Bozdeveci, A. & Alpay Karaoğlu, Ş. (2022). *Amerikan Yavru Çürüklüğü etkeni P. larvae suşlarında bakteriyofaj izolasyon ve karakterizasyonu* [BAP Araştırma Projesi Sonuç Raporu]. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- [31] Kekeçoğlu, M., Rasgele, P. G., Acar, F. & Kaya, S. T. (2013). Düzce ilinde bulunan arıcılık işletmelerinde görülen koloni kayıplarının, bal arısı hastalık ve zararlılarının ve mücadele yöntemlerinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(3), 620–633.
- [32] Kok, D. N., Gosselin, S. P., Howard, B., Cresawn, S. G., Tsourkas, P. K. & Hendrickson, H. L. (2025). Genomic analysis of 96 *Paenibacillus larvae* bacteriophages including 26 from Aotearoa, New Zealand. *Viruses*, 17(2), Article 137. <https://doi.org/10.3390/v17020137>
- [33] Kok, D. N., Zhou, D., Tsourkas, P. K. & Hendrickson, H. L. (2023). *Paenibacillus larvae* and their phages; a community science approach to discovery and initial testing of prophylactic phage cocktails against American foulbrood in New Zealand. *Microbiome Research Reports*, 2(4), Article 32. <https://doi.org/10.20517/mrr.2023.36>
- [34] Pasupuleti, V. R., Sammugam, L., Ramesh, N. & Gan, S. H. (2017). Honey, propolis, and royal jelly: A comprehensive review of their biological actions and health benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, Article 1259510. <https://doi.org/10.1155/2017/1259510>
- [35] Paull, K., Spencer, E., Miller, C. R. & Van Leuven, J. T. (2024). Viral adaptations to alternative hosts in the honey bee pathogen *Paenibacillus larvae*. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.01.22.576711>
- [36] Ribeiro, H. G., Correia, R., Moreira, T., Vilas Boas, D., Azeredo, J. & Oliveira, A. (2019). Bacteriophage biodistribution and infectivity from honeybee to bee larvae using a T7 phage model. *Scientific Reports*, 9(1), Article 620. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37034-w>
- [37] Sancak, K., Zan Sancak, A. & Aygören, E. (2013). Dünya ve Türkiye’de arıcılık. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 5(10), 7–13.
- [38] Schuch, D. M. T., Madden, R. H. & Sattler, A. (2001). An improved method for the detection and presumptive identification of *Paenibacillus larvae* subsp. *larvae* spores in honey. *Journal of Apicultural Research*, 40(2), 59–64. <https://doi.org/10.1080/00218839.2001.11101052>

- [39] Sillankorva, S. M., Oliveira, H. & Azeredo, J. (2012). Bacteriophages and their role in food safety. *International Journal of Microbiology*, 2012, Article 863958. <https://doi.org/10.1155/2012/863958>
- [40] Simsek, H. & Kalender, H. (2001). Elazığ'daki arı işletmelerinde Amerikan Yavru Çürüklüğü Hastalığının araştırılması. *Pendik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 33(1-2), 27–32.
- [41] Stamereilers, C., Fajardo, C. P., Walker, J. K., Mendez, K. N., Castro-Nallar, E., Grose, J. H., Hope, S. et al. (2018). Genomic analysis of 48 *Paenibacillus larvae* bacteriophages. *Viruses*, 10(7), Article 377. <https://doi.org/10.3390/v10070377>
- [42] Şahinler, N. & Gül, A. (2005). Hatay yöresinde bulunan arıcılık işletmelerinde arı hastalıklarının araştırılması. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 5, 27–31.
- [43] T.C. Resmî Gazete. (2011, 21 Aralık). *Bal arılarının Amerikan yavru çürüklüğü hastalığına karşı korunma ve mücadele yönetmeliği* (Sayı: 28149). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111221-5.htm>
- [44] Tsourkas, P. K. (2020). *Paenibacillus larvae* bacteriophages: Obscure past, promising future. *Microbial Genomics*, 6(2), Article e000330. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000330>
- [45] Tutkun, E. & Boşgelmez, A. (2003). *Bal arısı zararlıları ve hastalıkları teşhis ve tedavi yöntemleri*. Bizim Büro Basımevi.
- [46] Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Hayvansal üretim istatistikleri, 2023*. <https://data.tuik.gov.tr>
- [47] Van Leuven, J., Miller, C., Peters, T., Spencer, E., Eline, Y., Paull, K. ... & Linzan, K. (2024). Bacteriophage resistance evolution in a honey bee pathogen. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.07.15.603584>
- [48] Woodrow, A. W. (1942). Susceptibility of honeybee larvae to individual inoculations with spores of *Bacillus larvae*. *Journal of Economic Entomology*, 35(6), 892–895. <https://doi.org/10.1093/jee/35.6.892>
- [49] World Organisation for Animal Health. (2023). American foulbrood of honey bees (infection of honey bees with *Paenibacillus larvae*). In *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial*

animals 2023 (12th ed., Vol. 1, pp. 888–903). https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.02.02_AMERICAN_FOULBROOD.pdf

- [50] Yost, D. G., Tsourkas, P. & Amy, P. S. (2016). Experimental bacteriophage treatment of honeybees (*Apis mellifera*) infected with *Paenibacillus larvae*, the causative agent of American foulbrood disease. *Bacteriophage*, 6(1), Article e1122698. <https://doi.org/10.1080/21597081.2015.1122698>
- [51] Zeybek, H. (1991). *Arı hastalıkları ve zararlıları*. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Hayvan Hastalıkları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü.

Investigation of nutritional attitudes and mindful eating among adults

Haydar ÖZPINAR¹
Nur Sultan ÇAKIR^{*2}

Geliş tarihi / Received: 10.12.2025

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.01.2026

Kabul tarihi / Accepted: 09.01.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v2i173004

Abstract

This research aimed to examine the general nutritional behaviors of individuals by assessing the Mindful Eating and Healthy Eating Attitudes of Adults. The study was conducted on 228 adults (118 female and 110 male) who attended a private clinic in Istanbul between July 2025 and September 2025. A questionnaire was used to determine the sociodemographic characteristics of the participants. The Mindful Eating Scale was used to assess their levels of mindful eating, and the Attitudes Toward Healthy Eating Scale was used to evaluate their attitudes toward healthy eating. The mean age of the participants was 33.46 ± 10.89 years for females and 32.29 ± 12.31 years for males. The change in daily physical activity level showed a significant difference between genders ($p < 0.05$). It was found that females scored higher than males in the total Mindful Eating score ($p > 0.05$). The sum scores of females' attitudes towards healthy nutrition were found to be higher than those of men ($p < 0.05$). Positive and significant differences were demonstrated by age for the total scores of Mindful Eating, Impulsive Eating, Emotional Eating, Mindful, and Interference subscales ($p < 0.05$). A negative correlation was observed between the total score for Attitudes Toward Healthy Eating, body weight, and Waist-to-Hip Ratio ($p < 0.05$). Females have higher Attitudes Toward Nutrition and Mindful Eating than men. Furthermore, it appears that their eating habits increase with age. It was also observed that two scale scores decreased as body weight increased. For this reason, it can be said that practices aimed at

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, haydarozpinar@aydin.edu.tr; ORCID:0000-0003-3846-9907

^{2*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Aydın Üniversitesi, nsultancakir@stu.aydin.edu.tr; ORCID: 0009-0005-6313-9688

increasing Mindful Eating and Attitudes Towards Healthy Eating can be effective in weight management processes.

Keywords: *Mindful eating, nutritional attitude, adult, healthy eating, obesity. Energy efficiency, Mosquito.*

Yetişkinlerde beslenme tutumları ve yeme farkındalığının incelenmesi

Öz

Bu araştırma yetişkinlerin yeme farkındalığı ve sağlıklı beslenme tutumlarını değerlendirerek bireylerin genel beslenme davranışlarını incelemeyi amaçlamıştır. Araştırma, Temmuz 2025- Eylül 2025 tarihleri arasında İstanbul'da özel bir kliniğe başvuran 228 yetişkin (118 Kadın, 110 Erkek) üzerinde yürütülmüştür. Katılımcıların sosyodemografik özelliklerini belirlemek için anket formu, yeme farkındalık düzeylerini belirlemek adına Yeme Farkındalığı Ölçeği ve sağlıklı beslenme tutumlarını belirlemek adına Sağlıklı Beslenmeye İlişkin Tutum Ölçeği kullanılmıştır. Katılımcıların yaş ortalamaları kadınlarda 33.46 ± 10.89 , erkeklerde ise 32.29 ± 12.31 olarak bulunmuştur. Günlük fiziksel aktivite düzeyleri açısından cinsiyetler arasında anlamlı bir farklılık saptanmıştır ($p < 0,05$). Yeme farkındalığı toplam puanında kadınların erkeklerden daha fazla puan aldığı saptanmıştır ($p > 0,05$). Sağlıklı beslenmeye ilişkin tutum toplam puanında kadınların erkeklere göre daha yüksek puan aldığı saptanmıştır ($p < 0,05$). Yeme Farkındalığı toplam puanı, Düşünmeden Yeme, Duygusal Yeme, Farkındalık ve Enterferans alt boyutları yaş ile pozitif yönde anlamlı ilişkiler göstermiştir ($p < 0,05$). Sağlıklı Beslenmeye İlişkin Tutum toplam puanı, vücut ağırlığı ve Bel/Kalça Oranı ile negatif yönde anlamlı ilişki göstermiştir ($p < 0,05$). Kadınların yeme farkındalığı ve sağlıklı beslenmeye yönelik tutumları erkeklere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca bireylerin yaşı ilerledikçe yeme davranışlarına yönelik farkındalıklarının arttığı bulunmuştur. Vücut ağırlığı arttıkça iki ölçek puanının azaldığı da gözlemlenmiştir. Bu sebep ile kilo yönetimi süreçlerinde, yeme farkındalığı ve sağlıklı beslenmeye ilişkin tutumları artırmaya yönelik uygulamaların etkili olabileceği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *Yeme farkındalığı, beslenme tutumu, yetişkin, sağlıklı beslenme, obezite.*

Introduction

Nutrition, one of the most basic human needs, is vital for sustaining life and health (Tüber, 2022). A healthy diet is essential for life, physical activity, growth, development, mental health, and reproductive health (Monterrosa et al., 2020). There is a link between food choices and environmental factors, including gender, age, genetics, lifestyle, and socioeconomic and cultural factors. A balanced and adequate diet helps reduce the risk of diet-related health problems and chronic diseases, while also preventing vitamin and mineral deficiencies, as well as protein and energy deficiencies (Rattan and Kaur, 2022).

To contribute to health, nutrition should be mentally satisfying and enjoyable for individuals. Individuals must make informed food choices to maintain and preserve their health. If not made consciously, excessive or inadequate nutrient intake can lead to disorders such as obesity, cancer, cardiovascular disease and diabetes (Turé et al, 2021). Obesity is an ongoing public health problem and contributes to many chronic diseases (Monterrosa et al., 2020). Calorie restriction interventions used to treat obesity have proven largely ineffective in achieving long-term, sustainable weight loss. Therefore, calorie restriction alone is not sufficient, and additional interventions are necessary (Rattan and Kaur, 2022).

A healthy lifestyle is defined as making sound decisions about one's health that allow an individual to control behaviors that may negatively impact their well-being. This is important for maintaining health (Zergani et al., 2024). Currently, the importance of mindful eating in acquiring healthy eating behaviors is increasing, and its success as an intervention in obesity treatment is being debated (O'Reilly et al., 2014). By improving their ability to recognize and cope with emotional states during eating, individuals can gain awareness of their eating and thus increase the effectiveness of weight management practices (Zergani et al., 2024).

By increasing their attention to food during eating, internalizing it, and reducing the expression of emotions and thoughts, individuals can make more beneficial choices. With these practices, mindfulness and conscious eating have become increasingly popular concepts (Dunn et al., 2018). This study aims to examine individuals' general eating behaviors by assessing adults' Mindful Eating and Healthy Eating Attitudes.

Method

The research received permission from the Istanbul Aydin University Non-Interventional Ethics Committee and the clinic where it was implemented and conducted. This research aimed to examine the general nutritional behaviors of individuals by assessing the Mindful Eating and Healthy Eating Attitudes of Adults. The study was conducted on 228 adults (118 women, 110 men) who were admitted to a private clinic in Istanbul between July 2025 and September 2025. Demographic characteristics and anthropometric measurements were collected from the participants through a face-to-face survey, and the Mindful Eating Scale and the Attitude Towards Healthy Nutrition Scale were also administered.

Data collection tools

Socio-demographic form

Socio-demographic characteristics of adults were collected, including age, gender, education level, income level, alcohol use, chronic diseases and physical activity levels. Anthropometric measurements involved body mass index, height, waist/hip circumference and body weight

Mindful eating scale

In 2009, Framson and colleagues first developed the Mindful Eating Scale. Köse and colleagues then developed the Turkish version of the validity and reliability scale in 2017. The adapted Turkish scale consists of 30 questions, using a five-point Likert-type scale (1: never, 2: rarely, 3: sometimes, 4: often, 5: always) and seven different subscales (eating control, awareness, disinhibition, focus, intervention, emotional eating, and eating discipline). The scale also includes 20 reverse-type items. Questions 1, 7, 9, 11, 13, 15, 18, 24, 25, and 27 are evaluated directly. The remaining questions are evaluated inversely. The total scale score is evaluated by averaging the scores of the subscales. The scale score also provides a total Conscious Eating score (Köse et al., 2016).

The attitude towards healthy nutrition scale

Tekkurşun Demir and Cicioğlu tested its validity and reliability in 2019. It consists of a 5-point Likert-type scale with 21 items and four factors. These factors can be categorized as Knowledge About Nutrition, Poor Nutrition, Emotional Attitude Towards Nutrition, and Healthy Nutrition. Knowledge About Nutrition factor is 90, Poor Nutrition factor is 83, Emotion Towards Nutrition factor is 84, and Healthy Nutrition factor is 75. Test-retest reliability was generally calculated as 0.81, 0.79, 0.68, and

0.80. The lowest score that can be obtained from the Attitude Towards Healthy Nutrition Scale is 21; the highest score is 105. In the Attitude Towards Healthy Nutrition Scale, 21 points are defined as having a very nether attitude towards healthy nutrition, 23-42 points as having a low attitude, 43-63 points as having a middle attitude, 64-84 points as having a high attitude and 85-110 points as having an best high attitude towards healthy nutrition (Demir and Cicioğlu, 2019).

Statistical analysis

All data obtained in the study were analyzed using IBM SPSS Statistics 27.0. Descriptive statistics (mean, standard deviation, and percentage distributions) were calculated for the individuals' demographic characteristics and the scores obtained from the scales. Skewness and kurtosis values were examined to determine whether the scales used in the study met the assumption of normal distribution. The obtained coefficients were within ± 1 , indicating a normal distribution, and parametric testing methods were used in data analysis. An independent samples t-test was used to determine differences between two groups, and one-way analysis of variance (ANOVA) was used for comparisons of three or more groups. The Bonferroni post hoc test was used to determine which variables showed significant differences. In the study, Pearson Correlation Analysis was conducted to examine the relationship between eating awareness and attitude scales and their sub-dimensions regarding healthy eating, with a significance level of $p < 0.05$ (George and Mallery, 2019; Ghasemi and Zahediasl, 2012).

Reliability and validity

The Eating Awareness and Attitudes Toward Healthy Eating Scale, which has been validated and proven in the literature, was used in this study for adults. Cronbach's alpha coefficients were calculated for the scales and subscales used in the study. According to the analysis results, Cronbach's alpha values for all scales and subscales were above 0.70, indicating adequate internal consistency and reliability of the measurement tools used. The fact that most of the values obtained in this study fell within the 0.70–0.90 range indicates that the scales provide reliable measurements.

Ethical aspects of the study

The authors obtained the necessary permissions for the scales used in the study, and ethical permission was obtained from Istanbul Aydın University to initiate the study. Ethical approval for the study was obtained from the

relevant institution, the Istanbul Aydın University Non-Interventional Ethics Committee. (Date: 09/07/2025, Decision No: 156/2025). Voluntary consent was obtained from each participant in accordance with the principles outlined in the Declaration of Helsinki.

Results

Demographic and BMI characteristics of the survey participants are presented in Table 1. A total of 228 individuals participated in the research, comprising 118 females and 110 males. The mean age was 33.46 ± 10.89 for females and 32.29 ± 12.31 for males. When examining the level of education, it was found that males with university degrees (46.4%) were more likely than females (36.4%). When looking at income status, it was found that males with higher incomes (52.7%) were more likely than females (45.8%). When examining alcohol use, it was found that males (13.6%) consumed alcohol regularly compared to females (2.5%). When discussing the presence of chronic diseases, the prevalence was low in both groups. Body mass index (BMI) was found to be higher for males (47.3%) than for females (27.1%).

Table 1. Demographic and BMI characteristics of the participants (n=228)

		Female (n=118)		Male (n=110)		Total (n=228)		χ^2/t	P
Sub-Categories		n	%	n	%	n	%		
Age	Ort $\pm$ SS	33.46 $\pm$ 10.89		32.29 $\pm$ 1 2.31		32.90 $\pm$ 11.59		0.759t	0.449
	Elementary education	13	11.0	8	7.3	21	9.2		
Education level	High school	18	15.3	26	23.6	44	19.3		
	Associate degree	30	25.4	11	10.0	41	18.0	11.865 χ^2	0.018*
	Undergraduate degree	43	36.4	51	46.4	94	41.2		
	Postgraduate degree	14	11.9	14	12.7	28	12.3		
Income level	Low	44	37.3	40	36.4	84	36.8		
	Medium	20	16.9	12	10.9	32	14.0	2.055 χ^2	0.358
	High	54	45.8	58	52.7	112	49.1		

Alcohol status	Yes	3	2.5	15	13.6	18	7.9	$9.674\chi^2$	0.008*
	Sometimes	76	64.4	64	58.2	140	61.4		
	No	39	33.1	31	28.2	70	30.7		
Chronic illness	Yes	27	22.9	27	24.5	54	23.7	$0.087\chi^2$	0.768
	No	91	77.1	83	75.5	174	76.3		
Body mass index	Underweight (<18.5)	6	5.1	1	0.9	7	3.1	12.505	0.006*
	Normal (18.5-24.9)	66	55.9	44	40.0	110	48.2		
	Overweight (25.0-29.9)	32	27.1	52	47.3	84	36.8		
	Obese (>30)	14	11.9	13	11.8	27	11.8		

The distribution of daily physical activity levels among participants is presented in Figure 1. In terms of daily physical activity levels, men (20%) were found to be more active than women (6.8%).

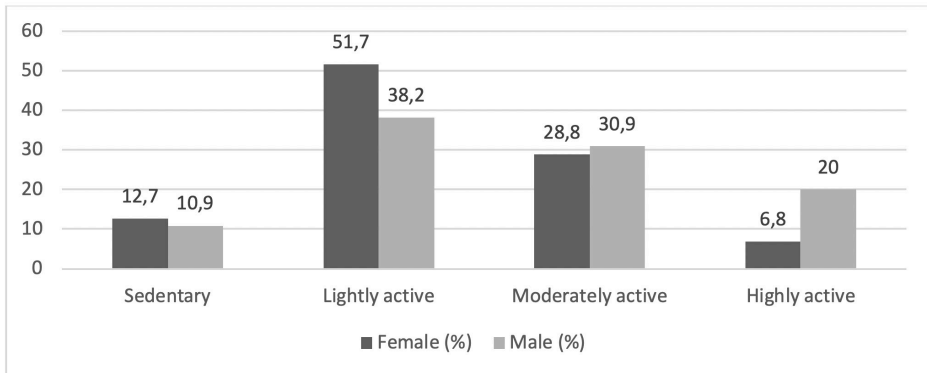


Figure 1. Distribution of physical activity levels

A comparison of participants' scores on the Mindful Eating Scale and its sub-dimensions by gender is presented in Table 2. Mindful Eating scores were found to be higher in women than in men ($p>0.05$). Men had substantially higher scores on the Emotional Eating subdimension ($p < 0.05$). Women had significantly higher scores on the Eating Control and Conscious Eating sub-dimension ($p<0.05$).

Table 2. Association of participants' scores on the mindful eating scale and its sub-dimensions by gender (n: 228)

	Female (n=118)	Male (n=110)		
	X$\pm$SS	X$\pm$SS	t	p
Mindful eating	98.67 $\pm$ 14.02	96.26 $\pm$ 13.93	1.299 _t	0.195
Impulsive eating	16.34 $\pm$ 4.27	15.57 $\pm$ 4.59	1.306 _t	0.193
Emotional eating	16.85 $\pm$ 5.30	18.56 $\pm$ 5.29	-2.445 _t	0.015*
Eating control	14.11 $\pm$ 3.50	11.86 $\pm$ 3.41	4.904 _t	<.001***
Mindfulness	15.72 $\pm$ 2.61	15.54 $\pm$ 2.03	0.591 _t	0.555
Eating discipline	12.02 $\pm$ 3.13	12.58 $\pm$ 3.16	-1.355 _t	0.177
Conscious nutrition	16.47 $\pm$ 2.98	15.36 $\pm$ 2.86	2.849 _t	0.005**
Interference	7.17 $\pm$ 1.94	6.78 $\pm$ 2.05	1.466 _t	0.144

A comparison of participants' scores on the Attitude Scale and its sub-dimensions towards Healthy Nutrition by gender is presented in Table 3. Attitude scores towards healthy nutrition were found to be significantly higher in women than in men ($p < 0.05$). In the Emotion Towards Nutrition and Positive Nutrition sub-dimension, men's scores were found to be substantially higher than those of women ($p < 0.05$).

Table 3. Association of participants' scores on the attitude scale and sub-dimensions towards healthy nutrition by gender (n: 228)

	Female (n=118)	Male (n=110)		
	X$\pm$SS	X$\pm$SS	t	p
Attitude towards healthy nutrition	67.43 $\pm$ 8.89	64.71 $\pm$ 9.64	2.219 _t	0.027*
Knowledge about nutrition	19.14 $\pm$ 5.25	19.04 $\pm$ 4.97	0.146 _t	0.884
Emotion towards nutrition	17.91 $\pm$ 4.79	19.77 $\pm$ 5.15	-2.834 _t	0.005**
Positive nutrition	17.31 $\pm$ 4.42	18.57 $\pm$ 4.31	-2.191 _t	0.029*
Poor nutrition	12.49 $\pm$ 4.62	11.98 $\pm$ 4.77	0.819 _t	0.414

The Relationship Between Participants' Eating Awareness, attitudes towards healthy nutrition, age, and anthropometric measurements is presented in Table 4. The sum score of Eating Awareness, as well as its sub-dimensions of Impulsive Eating, Emotional Eating, Awareness, and Interference, showed significant positive relationships with age ($p < 0.05$). A substantially negative interrelation was found between the Eating Control and Conscious Eating sub-dimensions and body weight ($p < 0.05$). A substantially negative interrelation was found among the Eating Control, Conscious Eating, and Interference sub-dimensions and height ($p < 0.05$). The total score of Attitudes Towards Healthy Nutrition showed a significant negative relationship with body weight and the waist-to-hip ratio ($p < 0.05$). The Emotion Towards Nutrition sub-dimension exhibited significant positive relationships with body weight and height ($p < 0.05$).

Table 4. Relationship between mindful eating, attitudes towards healthy nutrition, and age and anthropometric measurements (Pearson correlation analysis) (n: 228)

	Age	Body weight (kg)	Height (cm)	Body mass index (BMI)	Waist/hip ratio (WHR)
	r/p	r/p	r/p	r/p	r/p
Mindful eating	0.220 / 0.001**	-0.126 / 0.057	-0.109 / 0.102	-0.076 / 0.255	-0.062 / 0.352
Impulsive eating	0.197 / 0.003	-0.120 / 0.070	-0.089 / 0.179	-0.080 / 0.228	-0.059 / 0.378
Emotional eating	0.157 / 0.017	-0.016 / 0.814	0.118 / 0.075	-0.083 / 0.212	0.089 / 0.179
Eating control	0.086 / 0.195	-0.257 / 0.000***	-0.321 / 0.000***	-0.101 / 0.127	-0.190 / 0.004**
Mindfulness	0.192 / 0.004**	0.086 / 0.196	-0.007 / 0.912	0.104 / 0.116	0.074 / 0.268
Eating discipline	-0.031 / 0.643	0.082 / 0.216	0.134 / 0.043*	0.002 / 0.980	-0.016 / 0.814
Conscious nutrition	0.088 / 0.184	-0.183 / 0.006**	-0.211 / 0.001**	-0.079 / 0.236	-0.123 / 0.063
Interference	0.222 / 0.001	-0.068 / 0.308	-0.188 / 0.004	0.046 / 0.493	-0.076 / 0.250
Attitude towards healthy nutrition	0.116 / 0.080	-0.138 / 0.037*	-0.078 / 0.241	-0.112 / 0.091	-0.139 / 0.036*
Knowledge about nutrition	0.021 / 0.751	0.068 / 0.307	0.077 / 0.244	0.024 / 0.722	-0.073 / 0.270
Emotion towards nutrition	-0.110 / 0.096	0.201 / 0.002**	0.178 / 0.007**	0.105 / 0.113	0.097 / 0.144
Positive nutrition	0.017 / 0.803	0.095 / 0.153	0.103 / 0.120	0.044 / 0.504	0.075 / 0.258
Poor nutrition	-0.105 / 0.113	0.044 / 0.512	-0.049 / 0.460	0.094 / 0.158	0.021 / 0.754

r: Pearson correlation analysis; * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Discussion

This research aimed to assess the interrelation between mindful eating and attitudes toward healthy eating in adults, while identifying the sociodemographic, anthropometric, and behavioral factors that influence these variables. Adulthood is a period during which an individual's lifestyle habits have a direct impact on health, and nutritional behaviors play a significant role in determining the risk of chronic diseases (Demirbaş et al., 2024; Trovato, 2012). Therefore, assessing mindful eating and healthy eating attitudes during this period is crucial for maintaining healthy lifestyles and protecting public health. This study found a significant difference between genders in terms of daily physical activity levels, with men being more physically active than women. Another study found no significant difference between men and women (Yaşar and Yaşar, 2025). The higher eating discipline scores of participants with higher levels of physical activity indicate that physical activity supports self-control in eating behaviors, which is consistent with the findings of Yalçın et al. (2022); the higher emotional eating scores, however, suggest that this relationship is influenced by psychosocial factors. Mindful eating scores were higher in women than in men, with women showing greater eating control and conscious eating, while men exhibited a higher tendency toward emotional eating. These findings suggest that women may regulate their eating behaviors more effectively, whereas men may be more prone to emotionally driven eating. The results are consistent with previous studies reporting higher total mindful eating scores and eating control in women, and higher emotional eating tendencies in men (Yalçın et al., 2022; Özgür et al., 2024). The total Mindful Eating score, along with the Impulsive Eating, Emotional Eating, Mindful Eating, and Interference subscales, showed significant positive correlations with age. This result suggests that individuals' awareness of their eating behaviors increases with age. One study found a low-level negative correlation between the Mindful Eating Scale and age (Sayın et al., 2019). A substantially negative correlation was found among the Eating Control and Conscious Eating subscales and body weight. This suggests that increased conscious eating behaviors are associated with decreased body weight. One study found significant negative correlations between total eating awareness scores, disinhibition, eating control, conscious eating, and body weight (Karaca and Rakıcıoğlu, 2024). Another study observed that Mindful eating scores increased as body weight decreased (Chung et al., 2016). This suggests that individuals with high body weight may struggle to manage their diet and

eat consciously. In this case, mindful eating practices aimed at promoting weight management may be effective in achieving and maintaining weight loss. The fact that women's attitude scores toward healthy eating are higher than those of men suggests that women have more positive attitudes toward healthy eating. Some studies have shown that the total attitude score toward healthy eating is higher and insignificant in men (Demirbaş et al., 2024; Özenoğlu et al., 2021). Another study, however, reveals a higher and more significant total attitude score toward healthy eating in women, suggesting similar results to those of the present study (Çelik and Duran, 2022). The higher mean scores for men on the Emotion Toward Nutrition and Positive Nutrition subscales compared to women suggest that men may have more positive attitudes toward nutrition. A study conducted on teachers showed similar results to this study (Sargın and Güleşce, 2022). In another study, the emotion toward nutrition subscale was found to be significantly higher in women, while the positive nutrition subscale was not significantly higher (Çelik and Duran, 2022). A significant negative correlation was found between the total Attitudes Toward Healthy Eating score and body weight. Similarly, Demirbaş et al. (2024) reported non-significant negative associations between healthy eating attitudes, emotions toward nutrition, and body weight. In addition, eating control was negatively correlated with the waist/hip ratio, suggesting that more positive healthy eating attitudes are associated with a more favorable body composition.

Conclusion

An assessment of mindful eating and attitudes toward healthy eating in adults has highlighted the importance of mindfulness-based eating behaviors for public health. This study shows that the relationship between physical activity level and eating behaviors varies according to sub-dimensions; it exhibits a more pronounced relationship with eating discipline, while the relationship with emotional eating needs to be considered within the context of psychosocial factors. It has been shown that women have higher mindful eating and more positive eating attitudes than men, while emotional eating is more prevalent in men. The increasing prevalence of mindful eating with age, along with the negative correlation between mindful eating behaviors and body weight, suggests that mindfulness-based approaches may be effective in weight management and the prevention of chronic diseases. Consequently, the development of community-based education programs to increase mindful eating, reduce emotional eating behaviors, and strengthen healthy eating attitudes in

adults is recommended. Furthermore, further research conducted across different age groups and anthropometric levels will contribute to a more comprehensive assessment of this relationship.

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest between the authors.

Ethics committee statement

This study was approved by the Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee of Istanbul Aydın University (Date: July 9, 2025; Decision No: 156/2025). The research was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, and informed voluntary consent was obtained from all participants.

References

- [1] Bishop, S. R., Lau, M., Shapiro, S., Carlson, L., Anderson, N. D., Carmody, J., ... & Devins, G. (2004). Mindfulness: A proposed operational definition. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 11(3), 230.
- [2] Chung, S., Zhu, S., Friedmann, E., Kelleher, C., Kozlovsky, A., Macfarlane, K. W., ... & Griffith, K. A. (2016). Weight loss with mindful eating in African American women following treatment for breast cancer: a longitudinal study. *Supportive Care in Cancer*, 24(4), 1875–1881.
- [3] Çelik, Ö. M., & Duran, S. (2022). Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi öğrencilerinde obezite ile ilgili önyargının ve sağlıklı beslenmeye ilişkin tutumun değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, 16(4), 690–698.
- [4] Demir, G. T., & Cicioğlu, H. İ. (2019). Sağlıklı beslenmeye ilişkin tutum ölçeği (SBİTÖ): Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 4(2), 256–274.
- [5] Demirbas, A. B., Kılıçaslan, A., Altınsöz, S., Aksakal, H. B., & Alphan, M. E. (2024). Üniversite öğrencilerinde sağlıklı beslenme tutumu, rastgele alınan kan şekeri ve antropometrik ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesi. *Atlas Journal of Medicine*, 4(10), 65–72.
- [6] Dunn, C., Haubenreiser, M., Johnson, M., Nordby, K., Aggarwal, S., Myer, S., & Thomas, C. (2018). Mindfulness approaches and weight

- loss, weight maintenance, and weight regain. *Current Obesity Reports*, 7(1), 37–49.
- [7] Fuentes Artiles, R., Staub, K., Aldakak, L., Eppenberger, P., Rühli, F., & Bender, N. (2019). Mindful eating and common diet programs lower body weight similarly: Systematic review and meta-analysis. *Appetite*.
- [8] George, D., & Mallery, P. (2019). IBM SPSS Statistics 26 step by step: *A simple guide and reference* (16th ed.). Routledge.
- [9] Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489.
- [10] Karaca, V., & Rakıcıoğlu, N. (n.d.). Yetişkinlerde yeme farkındalığı, beslenme bilgi düzeyi ve antropometrik ölçümlerin değerlendirilmesi. *Hacettepe University Faculty of Health Sciences Journal*, 11(3), 671–689.
- [11] Köse, G., Tayfur, M., Birincioğlu, İ., & Dönmez, A. (2016). Yeme Farkındalığı Ölçeği'ni Türkçeye uyarlama çalışması, 3, 125–134.
- [12] Monterrosa, E. C., Frongillo, E. A., Drewnowski, A., de Pee, S., & Vandevijvere, S. (2020). Sociocultural influences on food choices and implications for sustainable healthy diets. *Food and Nutrition Bulletin*, 41(2_suppl), 59S–73S. <https://doi.org/10.1177/0379572120975874>
- [13] O'Reilly, G. A., Cook, L., Spruijt-Metz, D., & Black, D. S. (2014). Mindfulness-based interventions for obesity-related eating behaviours: a literature review. *Obesity Reviews*, 15(6), 453–461. <https://doi.org/10.1111/obr.12156>
- [14] Özenoğlu, A., Gün, B., Karadeniz, B., Koç, F., Bilgin, V., Bembeyaz, Z., & Saha, B. S. (2021). Yetişkinlerde beslenme okuryazarlığın sağlıklı beslenmeye ilişkin tutumlar ve beden kütle indeksi ile ilişkisi. *Life Sciences*, 16(1), 1–18.
- [15] Özgür, M., Kayaçelik, D., Kahraman, A. N., & Topal, F. T. (2024). Üniversite öğrencilerinin yeme farkındalığının, beslenme bilgi düzeylerinin ve vegan-vejetaryen beslenme algısının değerlendirilmesi. *Current Perspectives on Health Sciences*, 5(1), 15–23.
- [16] Rattan, S. I. S., & Kaur, G. (2022). Nutrition, food and diet in health

- and longevity: We eat what we are. *Nutrients*, 14(24), 5376. <https://doi.org/10.3390/nu14245376>
- [17] Sargın, K., & Güleşce, M. (2022). Öğretmenlerin sağlıklı beslenmeye ilişkin tutumlarının değerlendirilmesi (Van ili örneği). *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1–11.
- [18] Sayın, F. K., Kuşdemir, S., Büyüksütçü, G., Çetinkaya, Ş. M., Seyfi, S., & Zeren, E. (2019). Tip 2 diyabetli obez bireylerin yeme farkındalığı düzeyleri ile metabolik parametreleri arasındaki ilişki. *Turkish Journal of Diabetes and Obesity*, 3(2), 93–98.
- [19] T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2022). *Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER) 2022* (Yayın No: 1031). Ankara.
- [20] Trovato, G. M. (2012). Behavior, nutrition and lifestyle in a comprehensive health and disease paradigm: Skills and knowledge for a predictive, preventive and personalized medicine. *EPMA Journal*, 3(1), 8.
- [21] Turé, R., Damasceno, A., Djicó, M., & Lunet, N. (2021). Prevalence of underweight, overweight and obesity among adults in urban Bissau, Western Africa. *Nutrients*, 13(12), 4199. <https://doi.org/10.3390/nu13124199>
- [22] Yalçın, M., Çelik, D., & Arpacıoğlu, S. (2022). Yeme farkındalığının bireylerin sosyodemografik, klinik ve kişilik özellikleri ile ilişkisi.
- [23] YAŞAR, H. E., & YAŞAR, Y. E. (2025). Farklı beden kitle indeksine sahip bireylerin yeme tutumları ve diyet kalitesi ile fiziksel aktivite düzeyleri arasındaki ilişkinin araştırılması: Tanımlayıcı araştırma. *Turkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, 10(3), 542–549.
- [24] Zergani, M. J., Taghdisi, M. H., Seirafi, M., Malihialzackerin, S., & Kojidi, H. T. (2024). Mindfulness-based eating awareness training versus itself plus implementation intention model: a randomized clinical trial. *Eating and Weight Disorders*, 29(1), 53.

Toplu taşımada varış süresi tahmini için karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerinin karşılaştırması

Turgay SARIOĞLU¹
Hakan Burak EMEKLİ^{*2}

Geliş tarihi / Received: 12.12.2025

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.12.2025

Kabul tarihi / Accepted: 23.02.2025

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73005

Öz

Bu çalışma, kentsel toplu taşıma sistemlerinde otobüslerin duraklar arası tahmini varış sürelerini (Estimated Time of Arrival, ETA) daha yüksek doğrulukla öngörebilmek amacıyla karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarının kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmaktadır. MBTA tarafından sağlanan “Bus Arrival/Departure Times (2024)” veri seti kullanılarak ham zaman damgaları, sefer kimlikleri ve durak sıraları çok aşamalı bir ön işleme sürecinden geçirilmiş; her seferdeki tüm $i < j$ durak kombinasyonlarını kapsayan durak çifti oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, hem kısa mesafeli hem de uzun mesafeli segmentlerin aynı çerçevede modellenmesine olanak tanıyarak seyahat süresi dinamiklerinin daha ayrıntılı temsil edilmesini sağlamıştır.

Çalışmada Karar Ağacı, Rastgele Orman, XGBoost, LightGBM ve CatBoost algoritmaları aynı eğitim ve test ayrımı altında değerlendirilmiş; performansları MAE, RMSE ve R^2 metrikleri ile ölçülmüştür. Her hat için zaman serisi yapısına uygun 5 katlı çapraz doğrulama uygulanmış ve raporlanan tüm metrikler katmanlar üzerinden elde edilen ortalama değerler olarak sunulmuştur. Üç farklı hat üzerinde yapılan deneylerde CatBoost en yüksek doğruluğu sağlamıştır. Ortalama sonuçlara göre Hat 01’de $RMSE = 237.46$, $MAE = 157.08$ ve $R^2 = 0.86$; Hat 111’de $RMSE = 161.31$, $MAE = 98.31$ ve $R^2 = 0.85$; Hat CT2’de ise $RMSE = 260.98$,

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, turgaysarioğlu@stu.aydin.edu.tr, ORCID:0009-0007-3316-2371

^{2*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Aydın Üniversitesi, hakanemekli@aydin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6503-1284

MAE = 156.52 ve $R^2 = 0.89$ elde edilmiştir. Eğitim süresi görece uzun olsa da CatBoost'un doğruluk ve istikrar açısından ETA tahmini için üstün bir performans sunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Varış Süresi Tahmini, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, LightGBM, CatBoost, XGBoost*

Comparison of decision tree-based machine learning models for arrival time prediction in public transportation

Abstract

This study presents a comprehensive comparison of decision tree-based machine learning algorithms to predict bus arrival times (ETAs) between stops with higher accuracy in urban public transportation systems. Using the “Bus Arrival/Departure Times (2024)” dataset provided by the MBTA, raw timestamps, trip IDs, and stop sequences were subjected to a multi-stage preprocessing process. A stop-pair structure encompassing all stop combinations $i < j$ on each trip was created. This approach allows for the modelling of both short-distance and long-distance segments within the same framework, providing a more detailed representation of travel time dynamics.

In this study, Decision Tree, Random Forest, XGBoost, LightGBM, and CatBoost algorithms were evaluated under the same training and testing split using MAE, RMSE, and R^2 metrics. A 5-fold cross-validation strategy consistent with the time-series structure was applied for each route, and all reported metrics represent average values across folds. Across three different routes, CatBoost achieved the highest accuracy. Based on average results, the model obtained $RMSE = 237.46$, $MAE = 157.08$, and $R^2 = 0.86$ for Route 01; $RMSE = 161.31$, $MAE = 98.31$, and $R^2 = 0.85$ for Route 111; and $RMSE = 260.98$, $MAE = 156.52$, and $R^2 = 0.89$ for Route CT2. Although its training time was longer, CatBoost demonstrated superior performance and stability for ETA prediction.

Keywords: *Time to Arrival Estimation, Decision Trees, Random Forest, LightGBM, CatBoost, XGBoost*

Giriş

Kentsel toplu taşıma sistemlerinde varış süresi tahminlerinin (ETA) doğruluğu, hem operatörler için operasyonel verimliliği artırmada hem de yolcular için bekleme süresi belirsizliğini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır (Vlahogianni ve ark., 2014). GPS (Küresel Konumlama Sistemi) ve AVL (Otomatik Araç Konumlama) gibi otomatik konumlandırma teknolojilerinin yaygınlaşması, otobüs hareketlerine ilişkin yüksek hacimli verilerin düzenli olarak toplanmasını sağlayarak, istatistiksel ve makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak seyahat süresinin daha ayrıntılı modellenmesini mümkün kılmıştır (Büchel ve Corman, 2020).

Son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma, gerçek zamanlı AVL/GPS verilerinin toplu taşımada seyahat süresi ve varış süresi tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Çeşitli çalışmalar, GPS ile elde edilen araç konum verilerinin düzenli aralıklarla işlenmesiyle kısa vadeli seyahat süresi tahmininin iyileştirilebileceğini göstermiştir (Sun ve ark., 2007; Fan ve Gurmu, 2015). Ayrıca, düşük örnekleme frekanslı verilerin, uygun veri işleme teknikleri kullanılarak modellendiğinde kentsel ağlarda güvenilir seyahat süresi tahmini sağlayabileceği bildirilmiştir (Jenelius ve Koutsopoulos, 2013).

Akıllı şehirler bağlamında, IoT tabanlı sensörler, trafik kameraları ve GPS destekli araçlardan elde edilen verilerin uç bilişim altyapıları ile birlikte kullanılması, trafik ve ulaşım sistemlerinin daha gerçekçi ve anlık olarak modellenmesine olanak tanımaktadır. Bu tür sistemlerin, özellikle trafik yoğunluğu ve araç hareketlerinin tahmininde önemli avantajlar sunduğu vurgulanmaktadır (Okutucu ve Kaya, 2025). Benzer şekilde, IoT tabanlı sensörlerden elde edilen yüksek frekanslı operasyonel verilerin yapay zekâ algoritmaları ile entegre biçimde kullanılması, dinamik ve değişken sistemlerde tahmin doğruluğunu ve kaynak kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Jobani ve Kaya (2025), farklı iklim koşulları altında çalışan veri merkezleri için geliştirdikleri hibrit IoT ve yapay zekâ tabanlı modelde, gerçek zamanlı sensör verilerinin makine öğrenimi yöntemleriyle işlenmesinin sistem performansını anlamlı düzeyde iyileştirdiğini göstermiştir. Bu bulgular, kentsel toplu taşıma sistemlerinde AVL/GPS tabanlı gerçek zamanlı verilerin makine öğrenimi modelleri ile birlikte kullanılmasının, varış süresi (ETA) tahmin problemleri için de uygulanabilir ve genellenebilir bir yaklaşım sunduğunu desteklemektedir.

Makine öğrenimi alanında, karar ağacı tabanlı modeller, özellikle doğrusal olmayan ilişkileri yakalama ve açıklanabilirlik kabiliyetleri nedeniyle otobüs seyahat süresi tahmini literatüründe öne çıkmıştır. Çeşitli çalışmalar, Rastgele Orman ve modern gradyan artırma modelleri (XGBoost, LightGBM, CatBoost) gibi topluluk yöntemlerinin klasik yöntemlere göre daha yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir (Moosavi ve ark., 2023). Ancak, bu algoritmaları aynı veri kümesi ve özellik mühendisliği süreci içinde sistematik olarak karşılaştıran çalışmalar nispeten azdır.

Bu çalışmada, Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) tarafından sağlanan “Bus Arrival/Departure Times (2024)” veri seti kullanılarak beş karar ağacı tabanlı makine öğrenmesi algoritmasının (Karar Ağacı, Rastgele Orman, XGBoost, LightGBM ve CatBoost) kapsamlı bir karşılaştırmasını yürütmektedir (MBTA, 2024). Veri setindeki orijinal zaman damgaları ve durak dizileri, her rotadaki tüm ardışık durak çiftlerini içerecek şekilde durak çifti formatına dönüştürülmüş ve böylece mikro düzeyde seyahat süresi damgaları oluşturulmuştur. Modeller, aynı eğitim ve test bölümü altında MAE, RMSE ve R^2 performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Problemin tanımı

Şehir içi toplu taşıma ağlarındaki duraklara otobüslerin tahmini varış zamanını (ETA) yüksek doğrulukla tahmin etmek, hem yolcu bilgilendirme sistemlerinin etkinliği hem de filo yönetimi, hız optimizasyonu ve operasyonel planlama gibi idari süreçler için kritik bir gerekliliktir. Ancak, seyahat süreleri trafik yoğunluğu, sinyal döngüleri, istasyon giriş ve çıkış dinamikleri, sürücü davranışları ve hat özellikleri gibi çok boyutlu ve zamanla değişen faktörlerden etkilendiği için oldukça stokastik ve doğrusal değildir. Bu nedenle, ETA tahmin problemi klasik doğrusal yaklaşımlarla çözülemeyecek kadar karmaşıktır ve gelişmiş makine öğrenimi yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada ele alınan problem, yaygın olarak incelenen "ardışık duraklar arasındaki seyahat süresi tahmini" probleminin ötesine geçerek daha kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Buna göre, her durak için yalnızca bir sonraki durak değil, aynı zamanda sonraki durakların tüm durak çifti kombinasyonları ($i < j$) da dikkate alınmakta ve bir başlangıç durağından herhangi bir varış durağına kadar olan seyahat süresi tahmin edilmektedir. Bu çerçeve, tüm güzergah boyunca hem kısa mesafeli hem de uzun mesafeli

segmentlerin aynı modelleme çerçevesine entegre edilmesini sağlayarak, durağa özgü, hat ölçeğinde ve zamana bağlı seyahat dinamiklerinin birlikte öğrenilmesini mümkün kılmaktadır.

MBTA'nın "Bus Arrival/Departure Times (2024)" veri seti kullanılarak her bir sefer için durak sırası, yön bilgisi ve gerçek zamanlı zaman damgaları işlenmiş; her durak-çifti için gerçek seyahat süresi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$y_{ij} = \text{Timestamp}(j) - \text{Timestamp}(i), \quad 0 < i < j \leq N$$

Burada N , ilgili seferin toplam durak sayısını, y_{ij} ise başlangıç durağı i ile hedef durağı j arasındaki gerçek seyahat süresini (saniye cinsinden) ifade etmektedir.

Böylelikle problem, bağımsız değişkenler vektörü X_{ij} (durak sırası, yön, hat bilgisi, zaman bileşenleri ve sefer özellikleri) ile hedef değişken $\hat{y}_{ij}$ arasındaki fonksiyonel ilişkiyi modelleyen bir lineer olmayan regresyon problemi olarak tanımlanmaktadır:

$$\hat{y}_{ij} = f(X_{ij})$$

Amaç, tahmin edilen değer $\hat{y}_{ij}$ ile gerçek değer y_{ij} arasındaki hatayı minimize eden en uygun modeli $f(\cdot)$ elde etmektir. Bu doğrultuda çalışmanın temel araştırma sorusu; "Geniş kapsamlı durak-çifti seyahat süresi tahmin probleminde, karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarından hangisi en yüksek doğruluk ve genelleme performansını sunmaktadır?" şeklinde ifade edilebilir.

Seyahat sürelerindeki yüksek değişkenlik, duraklar arası mesafelerin heterojenliği ve veri setindeki kategorik değişkenlerin (ör. route_id, direction_id, stop_id) yoğunluğu göz önüne alındığında, bu problem oldukça karmaşık bir öğrenme yapısı sergilemektedir. Bu nedenle, karar ağaçlarına dayalı sağlam topluluk yöntemlerinin performansının sistematik olarak karşılaştırılması, hem literatürdeki boşlukları gidermek hem de pratik ETA tahmin uygulamalarına katkıda bulunmak için önemli bir araştırma ihtiyacını karşılamaktadır.

Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, MBTA tarafından sağlanan "Bus Arrival/Departure Times

(2024)” veri seti kullanılarak otobüslerin duraklar arası seyahat sürelerini tahmin etmek amacıyla karar ağaçları tabanlı beş makine öğrenmesi modeli karşılaştırılmıştır. AVL/GPS zaman damgaları silinerek, seferler yön ve durak sırasına göre düzenlenmiş, ardından her seferdeki tüm ileri durak kombinasyonlarını içeren durak çifti tabanlı bir temsil oluşturulmuştur. Bu dönüşüm, aynı modelleme çerçevesi içerisinde hem kısa hem de uzun mesafeli durak segmentlerinin öğrenilmesine olanak sağlamıştır.

Model eğitim sürecinde zaman (ay, gün, saat), güzergâh ve konumsal (durak sırası, durak farkı) özellikler kullanılmıştır. Kategorik değişkenler uygun biçimde sayısallaştırılmış, tüm modeller aynı eğitim–test ayrımı altında uygulanmıştır. Karar Ağacı, Rastgele Orman, XGBoost, LightGBM ve CatBoost algoritmaları, MAE, RMSE ve R^2 performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Böylece çeşitli ağaç tabanlı yöntemlerin ETA tahmini üzerindeki karşılaştırmalı performansı sistematik biçimde analiz edilmiştir.

Veri

Bu çalışmada kullanılan MBTA “Bus Arrival/Departure Times (2024)” veri seti, her bir otobüs seferine ait durak bazlı zaman damgalarını ve güzergâh bilgilerini içeren çok boyutlu bir yapı sunmaktadır. Veri setinde her satır, bir seferde belirli bir durağa gerçekleşen varış veya ayrılışı temsil etmektedir. Veri yapısı aşağıdaki alanlardan oluşmaktadır:

1. `service_date`: Seferin gerçekleştiği takvim günü. Bu alan, günlük trafik yoğunluğu, hafta içi/hafta sonu farklılıkları ve dönemsel etkilerin modellenmesi açısından önemlidir.
2. `route_id`: Otobüs hattının kimliği. Her hat farklı bir güzergâhı temsil ettiği için, rota bilgisi seyahat dinamiklerindeki yapısal değişkenliklerin yakalanmasında temel bir kategorik değişkendir.
3. `direction_id`: Sefer yönü (Inbound/Outbound). Aynı hat üzerinde karşıt yönlerde trafik koşulları ve durak dizilişleri farklılık gösterebildiği için model açısından kritik bir değişkendir.
4. `half_trip_id`: Bir seferi benzersiz olarak tanımlayan kimlik numarasıdır. Aynı hat ve aynı gün içinde gerçekleşen yüzlerce seferi ayırt etmek için kullanılır. Durak çifti dönüşümünde segmentlerin doğru sefer bağlamında gruplanması için zorunludur.
5. `stop_id`: Seferin uğradığı durağın benzersiz kodudur. Tahmin edilecek seyahat süresinin başlangıç ve hedef durağının tanımlanmasında temel rol oynar.

6. **time_point_id**: MBTA'nın dahili durak kodlama sistemine ait ek tanımlayıcıdır. Durak konumlarının dış kaynaklarla eşleştirilmesinde kullanılır.
7. **time_point_order**: Sefer içindeki durak sırasıdır. Bu alan sayesinde bir seferdeki duraklar arasında doğrusal bir ilerleyiş sağlanmakta ve durak çifti dönüşümünde ($i < j$) ilişkisi güvenilir biçimde oluşturulabilmektedir.
8. **point_type**: Duranın başlangıç (Startpoint), orta nokta (Midpoint) veya bitiş durağı (Endpoint) olup olmadığını belirtir.
9. **standard_type**: Seferin Schedule veya Headway standardına tabi olup olmadığını gösterir. Bu alan planlanan zamanların anlamlandırılması için gereklidir.
10. **scheduled**: Planlanan varış/ayrılış zaman damgasıdır. ETA tahmin modellerinde doğrudan kullanılsa da hat planlaması ve sefer gecikmelerinin analizinde bağlamsal bilgi sağlar.
11. **actual**: Gerçekleşen varış zamanı. Bu çalışma kapsamında seyahat süresi hesaplamalarının temel bileşeni olup tüm etiket (label) değerleri bu alandan türetilmiştir.
12. **scheduled_headway**: Bir önceki sefere göre planlanan zaman aralığını (headway) saniye cinsinden ifade eder.
13. **headway**: Sefer aralığı bilgisini temsil eder; veri setinde çoğu satırda boş olsa da bazı hatlarda başta kullanılan tamamlayıcı bir alandır.

Veri ön işleme

Veri seti doğrudan kullanılabilir nitelikte olmadığından, modelleme sürecine aktarılmadan önce kapsamlı bir yapılandırma aşamasından geçirilmiştir. İlk olarak, veri setinde yer alan gözlemler hat numarasına göre ayrıştırılmış ve her bir route_id değeri için bağımsız alt veri kümeleri oluşturulmuştur. Bu tercih durak dizilimleri, trafik yoğunluk profilleri ve operasyonel karakteristikleri nedeniyle heterojenliği azaltarak daha istikrarlı bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Benzer şekilde, gürültülü ve heterojen veri kaynaklarında modelleme öncesi gerçekleştirilen veri ön işleme ve ayrıştırma adımlarının, makine öğrenimi modellerinin tahmin performansını ve kararlılığını artırdığı literatürde vurgulanmaktadır (Kaya ve ark., 2021).

Büyük ölçekli ve zamana bağlı veri kümelerinde, gözlemler sıklıkla gürültü, eksik değerler ve yapısal düzensizlikler içerebilmekte; bu durum, makine öğrenimi modellerinin doğrudan uygulanması halinde tahmin

performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, modelleme öncesinde gerçekleştirilen veri ön işleme, gürültü azaltma ve uygun özellik çıkarımı adımlarının, tahmin doğruluğunu artırmada kritik bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. İşler ve ark. (2025), zaman serisi tabanlı tahmin problemlerinde uygulanan sistematik veri ön işleme yaklaşımlarının, model kararlılığını ve genellenabilirliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir.

Her hat alt kümesinde seferler (half_trip_id) kronolojik olarak sıralanmış ve durakların gerçekleşme zamanına ($t^{(a)}$) göre yeniden düzenlenmesi sağlanmıştır. ISO-8601 formatındaki zaman damgaları, regresyon analizine uygunluk amacıyla epoch saniyesine dönüştürülmüş ve böylece zaman değişkeni sürekli, tek boyutlu ve aritmetik işlemlere elverişli bir forma kavuşturulmuştur. Bir seferdeki duraklar, $1, 2, 3, \dots, N$ şeklinde sıralanarak her durak için deterministik bir sıra indeksinin atanması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın en kritik metodolojik bileşeni, klasik “ardışık durak farkı” yaklaşımının ötesine geçerek her seferdeki tüm durak çiftlerinin durak çifti uzayında modellenmesidir. Buna göre, bir seferdeki durakların oluşturduğu indeks kümesi üzerinde aşağıdaki tüm çiftler dikkate alınmıştır:

$$(i, j) \text{ öyle ki } 1 \leq i < j \leq N$$

Bu tanım sefer başına oluşan örnek sayısının doğrusal değil, karesel büyümesini sağlayan kombinyonel genişlemeye yol açmaktadır. Durak çifti sayısı:

$$\binom{N}{2} = \frac{N(N-1)}{2}$$

şeklinde olup, özellikle $\bar{N}$ değerinin büyük olduğu hatlarda veri hacminin asimptotik olarak $O(N^2)$ ölçeğinde genişlediğini göstermektedir. Bu genişleme, modelin yalnızca kısa menzilli segment dinamiklerini (ör. $i \rightarrow i + 1$) değil, aynı zamanda uzun menzilli kümülatif yolculuk sürelerini de (ör. $i \rightarrow j, j - i$ büyük) öğrenebilmesini mümkün kılarak daha kapsamlı bir tahmin uzayı sağlamaktadır. Her durak çifti için hedef değişken olan gerçek seyahat süresi şu şekilde tanımlanmıştır:

$$y_{i,j} = t_j - t_i$$

Bu ifade, seyahat süresinin deterministik bir zaman farkı olarak doğrudan ölçülmesine olanak tanır. Zaman damgası kaymalarından, GPS jitter

davranışından veya veri giriş hatalarından kaynaklanabilen $y_{i,j} < 0$ koşulunu sağlayan tüm gözlemler fiziksel olarak imkânsız kabul edilerek veri kümesinden çıkarılmıştır.

Gözlem vektörleri, yalnızca zaman farkına dayalı tekil bir ölçüm içermez; bunun ötesinde mekânsal, zamansal ve operasyonel bağlamı temsil eden çok boyutlu bağımsız değişkenlerle zenginleştirilmiştir. Her durak çifti gözlemi aşağıdaki özellik vektörü ile temsil edilmiştir:

$$X_{i,j} = [\text{route_id}, \text{direction_id}, \text{stopid}_i, \text{stopid}_j, i, j, (j - i), \text{month}, \text{day}, \text{hour}]$$

Bu özellik seti; hattın operasyonel kimliğini, durakların güzergâh üzerindeki görelî konumlarını, duraksal mesafe derecesini $(j - i)$, ve seyahat süresi üzerindeki time-of-day etkilerini modellemeye imkân tanır. Böylece veri seti, hem düzensizlik ve gürültüden arındırılmış hem de seyahat dinamiklerinin çok boyutlu temsilini içeren yapısal bir forma ulaşmıştır.

Sonuç olarak, veri ön işleme aşaması; hat bazlı ayırtırmayı, zaman damgalarının sayısal dönüşümünü, durak çifti kombinasyonlarının karesel genişlemesini ve çok boyutlu özellik mühendisliğini içeren bütünleşik bir süreç olarak, karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerine uygun yüksek çözünürlüklü bir veri uzayı oluşturmuştur.

Veri setinin bu şekilde yapılandırılmasının ardından, kullanılan bağımsız değişkenlerin hedef değişken olan seyahat süresi ile ilişkisini nicel olarak değerlendirmek amacıyla Cramér's V bağımlılık katsayısı hesaplanmıştır. Cramér's V, ki-kare bağımsızlık testine dayanan, iki kategorik değişken arasındaki ilişki gücünü 0 ile 1 arasında ölçen parametrik olmayan bir istatistiksel bağımlılık katsayısıdır (Cramér, 1946). Katsayının 1'e yaklaşması güçlü ilişkiye, 0'a yaklaşması ise bağımsızlığa işaret etmektedir. Bu analiz kapsamında *stop_id*, *order*, *stopid_target*, *order_target*, *month*, *day*, *hour* ve *order_diff* değişkenlerinin hedef değişken olan $y(i,j)$ üzerindeki etkisi incelenmiş; elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Değişkenlerin Cramér's V değerleri

Değişken	Cramér's V	İlişki Düzeyi
stopid	0.42	Yüksek
order	0.42	Yüksek
stopid_target	0.22	Orta
order_target	0.22	Orta
month	0.17	Düşük
day	0.17	Düşük
hour	0.19	Düşük-Orta
order_diff	0.45	En Yüksek

Analiz sonuçları, seyahat süresi varyansının özellikle mekânsal konum bilgisi ve duraklar arasındaki segment mesafesini gösteren değişkenlerle daha güçlü ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık *month* ve *day* gibi makro zaman bileşenleri, hedef değişkeni açıklamada oldukça sınırlı katkı sunmuştur. Bu durum, toplu taşımada seyahat süresi dinamiklerinin büyük ölçüde durak dizilimi, duraklar arası mesafe ve günün saatine bağlı olarak şekillendiğini gösteren literatürle tutarlıdır (Cats, 2011; Jenelius ve Koutsopoulos, 2013).

Modelleme yaklaşımı

Bu çalışmada, durak-çifti temelli seyahat süresi tahmini için karar ağaçları tabanlı beş farklı makine öğrenmesi modeli değerlendirilmiştir. Modeller, veri ön işleme aşamasında oluşturulan durak çifti yapısı üzerinden, her bir route_id hattı için ayrı ayrı eğitilmiştir. Böylelikle her hattın kendine özgü durak dizilimi, trafik akışı, güzergâh uzunluğu ve operasyonel değişkenliği modele daha tutarlı biçimde yansıtılmıştır. Ağaç tabanlı yöntemler, doğrusal olmayan ilişkileri yakalama kapasiteleri, büyük veriyle ölçeklenebilirlikleri ve kategorik değişkenleri etkili işleme yetenekleri sayesinde toplu taşımada ETA tahmini literatüründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Vlahogianni ve ark., 2014). Bu kapsamda kullanılan modeller ve temel özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Karar ağacı (decision tree)

Karar ağacı modeli, veri uzayını art arda bölerek her bir alt bölgede sabit bir tahmin değeri üreten temel bir ağaç yapısıdır. Model, her düğümde belirli bir özellik X_k için bir eşik değeri c seçerek veri kümesini iki alt kümeye ayırır:

$$X_k \leq c \text{ ve } X_k > c$$

Regresyon problemlerinde her düğümdeki safsızlık, düğüm içindeki örneklerin ortalama kare hatası ile ölçülür. Bir düğümdeki örnek kümesi S ve hedef değerleri y_i olmak üzere safsızlık:

$$I(S) = \frac{1}{|S|} \sum_{i \in S} (y_i - \bar{y}_S)^2$$

şeklinde tanımlanır. Aday bölme (X_k, c) seçildiğinde veri $|S_L|$ ve $|S_R|$ alt kümelerine ayrılır. Karar ağacı, tüm olası bölmeler içinde ağırlıklı safsızlığı en aza indiren bölmeyi seçer:

$$\frac{|S_L|}{|S|} I(S_L) + \frac{|S_R|}{|S|} I(S_R)$$

Bu süreç tekrarlandıkça ağaç büyür ve her yaprakta sabit bir tahmin değeri elde edilir. Karar ağaçları yorumlanabilir olmaları nedeniyle sıklıkla taban model olarak kullanılsa da tek başlarına yüksek varyans eğilimlidir ve bu nedenle topluluk yöntemlerinin gerisinde kalırlar (Hastie, Tibshirani ve Friedman, 2009).

Rastgele orman (random forest)

Random Forest, çok sayıda karar ağacının bootstrap örneklemeleri üzerinde eğitilmesi ve tahminlerin ortalamasının alınması prensibine dayanır. Bu yöntem aşırı öğrenmeye karşı oldukça dirençlidir ve yüksek boyutlu, kategorik değişken yoğunluklu veri kümelerinde kararlı performans göstermektedir (Breiman, 2001). Bu nedenle toplu taşıma seyahat süresi literatüründe sıkça tercih edilen güçlü bir ansambl yöntemidir.

XGBoost

XGBoost, gradyan artırmalı karar ağaçlarının düzenlileştirme terimleriyle güçlendirilmiş optimize edilmiş bir sürümüdür. Ardışık her ağaç, bir önceki modelin hatasını azaltacak yönde üretilir. XGBoost, yüksek performansı, eksik veri toleransı ve L1–L2 düzenlileştirme mekanizmaları nedeniyle farklı ulaşım uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiştir (Chen ve Guestrin, 2016). Büyük ve karmaşık veri setlerinde stabil bir öğrenme davranışı sunması, ETA tahmin problemleri için önemli bir avantajdır.

LightGBM

LightGBM, histogram tabanlı bölme algoritması ve yaprak odaklı (leaf-wise) büyüme stratejisiyle, boosting yöntemleri arasında en hızlı modellerden biridir. Özellikle çok geniş veri setlerinde hesaplama maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır (Ke ve ark., 2017). ETA tahmini gibi yüksek boyutlu ve çok sayıda durak çifti örneği içeren problemlerde bu hız ve ölçeklenebilirlik önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

CatBoost

CatBoost, kategorik değişken yoğunluğu yüksek veri setleri için özel olarak tasarlanmıştır ve bu özelliğiyle toplu taşımada yaygın kullanılan stop_id, direction_id, route_id gibi alanlarda önemli performans kazancı sağlamaktadır. CatBoost'un en kritik bileşeni, kategorik değişkenlerin klasik hedef kodlama yöntemlerinden farklı olarak sözde zamanlı bir işlemle dönüştürülmesidir. Böylece hedef sızıntısı oluşmaz ve model kategorik sütunlardan daha güvenilir bilgi öğrenir (Prokhorenkova ve ark., 2018). Literatürde CatBoost'un ulaşım ve seyahat süresi tahmininde yüksek doğruluk ürettiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Moosavi ve ark., 2023).

Tüm modeller aynı eğitim–test stratejisi ile değerlendirilmiş ve zaman sırası korunarak veri %80 eğitim, %20 test olacak şekilde ayrılmıştır. Performans değerlendirmesinde Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve R^2 metrikleri kullanılmıştır. Bu metrikler seyahat süresi tahmin çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmekte olup RMSE'nin büyük hataları cezalandıran yapısı, ETA tahmininde önemli bir avantaj sunmaktadır (Vlahogianni ve ark., 2014).

DeneySEL Kurulum

Bu çalışmada karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla tüm deneyler aynı donanım ve yazılım ortamında yürütülmüştür. Deneyler, Windows 11 işletim sistemi üzerinde çalışan Intel Core i7-14700 2.10 GHz işlemci ve 32 GB RAM donanımına sahip bir makinede gerçekleştirilmiştir. Tüm modeller Python 3.10.4 ortamında uygulanmış; XGBoost, LightGBM ve CatBoost kütüphaneleri güncel kararlı sürümleriyle kullanılmıştır. Eğitim süreçlerinde GPU kullanılmamış, tüm algoritmalar yalnızca CPU üzerinde değerlendirilmiştir.

Veri seti, her bir route_id için bağımsız olarak ele alınmış ve modelleme süreci hat bazında yürütülmüştür. Her hat, daha önce açıklanan durak çifti dönüşüm adımının ardından yüksek hacimli gözlem matrislerine ayrılmıştır. Veri setlerinin zaman boyutunda taşıdığı ardışıklık nedeniyle rastgele karıştırma uygulanmamış; zaman serisi tutarlılığını korumak amacıyla veriler kronolojik sıraya göre yapılandırılmıştır.

Model performanslarının daha güvenilir ve genellenebilir biçimde değerlendirilmesi amacıyla, her hat için zaman serisi yapısına uygun 5 katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation) uygulanmıştır. Çapraz doğrulama sürecinde, her bir katman kronolojik bütünlük korunacak şekilde oluşturulmuş ve böylece ileriye dönük bilgi sızıntısının önüne geçilmiştir.

Çapraz doğrulama sonucunda elde edilen performans metrikleri katmanlar üzerinden aritmetik ortalama alınarak raporlanmış, katmanlar arasındaki değişkenlik ise standart sapma ile ifade edilmiştir. Ayrıca, modellerin gerçek operasyon koşullarındaki davranışlarını değerlendirmek amacıyla veri setinin son %20'lik bölümü bağımsız bir test kümesi olarak ayrılmıştır. Bu yaklaşım, hem model kararlılığının hem de zamansal genellenebilirliğin daha sağlıklı biçimde analiz edilmesini amaçlamaktadır.

Model hiperparametreleri

Hiperparametre ayarları, her model için literatürde yaygın olarak önerilen temel konfigürasyonlar dikkate alınarak belirlenmiş; aşırı uyum (overfitting) riskini azaltmak amacıyla ağaç derinlikleri sınırlandırılmış ve yaprak başına minimum örnek sayıları artırılmıştır. CatBoost modeli özelinde kategorik değişkenlerin doğal işlenmesi etkinleştirilmiş; böylece ek kodlama adımlarına ihtiyaç duyulmadan, durak kimlikleri ve zamansal kategoriler gibi ayrık değişkenlerin model tarafından doğrudan öğrenilmesi sağlanmıştır. Benzer şekilde LightGBM modelinde, büyük ölçekli veri kümeleri için bellek verimliliği ve eğitim hızı avantajı sunan histogram tabanlı bölünme algoritması tercih edilmiştir. XGBoost modeli için ise tree_method=hist seçeneği kullanılarak hem hesaplama maliyetleri azaltılmış hem de büyük veri hacimleri altında daha kararlı bir eğitim süreci hedeflenmiştir.

Model performanslarının değerlendirilmesinde MAE, RMSE ve R^2 metrikleri birlikte kullanılmıştır. Bu metriklerin tercih edilme nedeni; MAE'nin ortalama mutlak hata büyüklüğünü doğrudan yorumlanabilir

biçimde sunması, RMSE'nin büyük hatalara daha duyarlı olması sayesinde aşırı sapmaların etkisini ortaya koyabilmesi ve R^2 'nin modelin hedef değışkendeki varyansı ne ölçüde açıkladığını göstermesidir. Bu üç metriğin birlikte raporlanması, modellerin yalnızca ortalama performanslarını değil, hata dağılımlarını ve açıklayıcılık kapasitelerini de çok boyutlu olarak değerlendirmeye olanak tanımaktadır.

Tüm modeller, aynı eğitim–test ayrımı, aynı özellik seti ve aynı veri ön işleme prosedürü altında değerlendirilmiş olup, deneysel sonuçların karşılaştırılabilirliği titizlikle korunmuştur. Ayrıca, modeller arası adil bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, herhangi bir modele özgü avantaj sağlayabilecek özel veri manipölasyonlarından veya model dışı ek bilgi kullanımından kaçınılmıştır. Bu yaklaşım, gözlenen performans farklarının doğrudan algoritmik özellikler ve öğrenme stratejilerinden kaynaklandığının daha net biçimde yorumlanmasına imkân tanımaktadır. Buna ek olarak, çapraz doğrulama sürecinde elde edilen performans ölçütlerinin katmanlar arasındaki değışkenliği incelenerek, modellerin zamansal kararlılıkları ve genellenebilirlikleri de değerlendirilmiştir. Katmanlar arasında düşük varyans sergileyen modellerin, farklı zaman dilimlerinde daha tutarlı tahminler üretebildiği gözlemlenmiş; bu durum, özellikle operasyonel kullanıma yönelik ETA tahmin senaryolarında model seçimi açısından önemli bir kriter olarak ele alınmıştır. Böylece, yalnızca tek bir zaman dilimine özgü yüksek performans gösteren modeller yerine, farklı koşullar altında istikrarlı sonuçlar üretebilen yaklaşımların önemi vurgulanmıştır.

Tablo 2. Model hiperparametreleri

<i>Model</i>	<i>iterations/n_</i> <i>estimators</i>	<i>max_</i> <i>depth</i>	<i>learning_</i> <i>rate</i>	<i>Diğer Parametreler</i>
<i>Decision Tree</i>	-	6	-	Varsayılan parametreler
<i>Random Forest</i>	100	6	-	Varsayılan parametreler
<i>CatBoost</i>	100	6	0.1	loss_function=RMSE, verbose=100
<i>XGBoost</i>	100	6	0.1	objective=reg:squarederror, colsample_bytree=0.3, alpha=10
<i>LightGBM</i>	100	6	0.1	objective=regression

Bulgular

Bu bölümde, üç farklı güzergâh (Hat 01, Hat 111 ve Hat CT2) için durak çifti tabanlı seyahat süresi tahmin modellerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Modeller; MAE, RMSE, R^2 ve eğitim süresi bakımından karşılaştırılmış ve her hat için performanslar ayrı tablolar halinde rapor edilmiştir.

Hat 01'e ait sonuçlar incelendiğinde (Tablo 3), ансамбл yöntemlerin tek bir karar ağacına göre belirgin biçimde daha iyi genelleme performansı gösterdiği görülmektedir. Özellikle CatBoost, RMSE ve MAE değerlerinde tüm modellerin önüne geçerek bu hat için en isabetli tahminleri üretmiştir. XGBoost ve LightGBM eğitim süresi açısından daha hızlı olmakla birlikte, doğruluk seviyesi bakımından CatBoost'un gerisinde kalmıştır. Rastgele Orman ise yüksek varyanslı hata davranışı ve daha uzun eğitim süresi nedeniyle diğer modellerden ayrılmaktadır.

Tablo 3. 01 Hattı için model performans karşılaştırması

	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>R²</i>	<i>Tekil Eğitim Süresi (s)</i>
<i>Catboost</i>	237.46 (std: 21.99)	157.08 (std: 13.49)	0.86 (std: 0.02)	0,7
<i>Xgboost</i>	239.65 (std: 22.75)	157.73 (std: 10.68)	0.86 (std: 0.02)	0.2
<i>Lightgbm</i>	242.16 (std: 24.00)	159.85 (std: 13.15)	0.85 (std: 0.02)	0.3
<i>Karar Ağacı</i>	249.55 (std: 29.86)	161.96 (std: 14.44)	0.85 (std: 0.02)	0.2
<i>Rastgele Orman</i>	247.87 (std: 30.63)	160.36 (std: 15.22)	0.85 (std: 0.02)	10.9

Hat 111'e ilişkin sonuçlar (Tablo 4), genel eğilimin korunduğunu göstermektedir. CatBoost, özellikle düşük MAE değeriyle kısa mesafeli durak çiftlerinde kararlı bir öğrenme performansı sergilemiştir. Bu hatta XGBoost, CatBoost'a göre daha düşük eğitim süresine sahip olmasına rağmen doğruluk metriklerinde aynı üstünlüğü sağlayamamıştır. LightGBM ise hız açısından avantajlı olsa da hata değerleri bakımından orta seviyede kalmıştır.

Tablo 4. 111 Hattı için model performans karşılaştırması

	RMSE	MAE	R^2	Tekil Eğitim Süresi (s)
Catboost	161.31 (std: 9.22)	98.31 (std: 3.28)	0.85 (std: 0.02)	1,3
Xgboost	162.53 (std: 9.23)	100.80 (std: 3.08)	0.84 (std: 0.02)	0.3
Lightgbm	164.94 (std: 11.19)	100.01 (std: 3.56)	0.84 (std: 0.02)	0.4
Karar Ağacı	170.87 (std: 8.15)	104.97 (std: 3.75)	0.82 (std: 0.01)	0.4
Rastgele Orman	169.77 (std: 8.20)	104.68 (std: 3.83)	0.82 (std: 0.01)	30.2

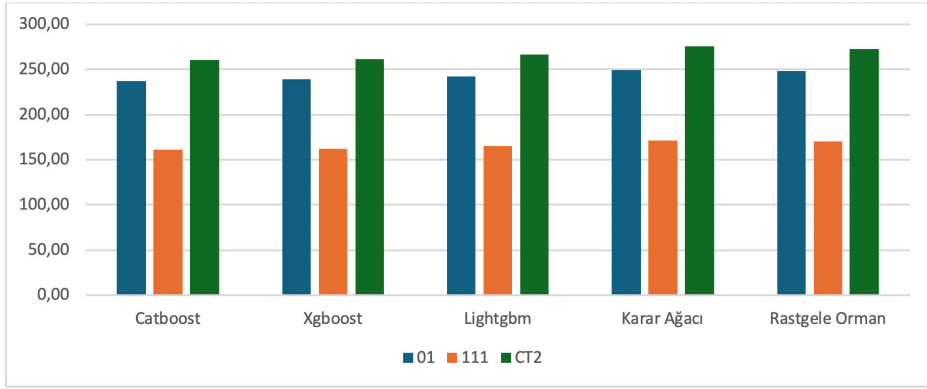
Hat CT2 için elde edilen bulgular (Tablo 5), duraklar arası mesafe değişkeninin ve trafik koşullarının daha heterojen olması nedeniyle hata metriklerinin mutlak değer olarak yükseldiğini göstermektedir. Buna rağmen CatBoost bu hatta da en yüksek R^2 değerini sağlayarak model kararlılığını korumuştur. XGBoost ve LightGBM yine daha kısa eğitim süreleri sunmakla birlikte tahmin doğruluğu bakımından CatBoost'un gerisinde kalmıştır. Tek bir karar ağacı ise her üç hatta da düşük doğruluk ve yüksek varyans nedeniyle tatmin edici performans sergileyememiştir.

Tablo 5. CT2 hattı için model performans karşılaştırması

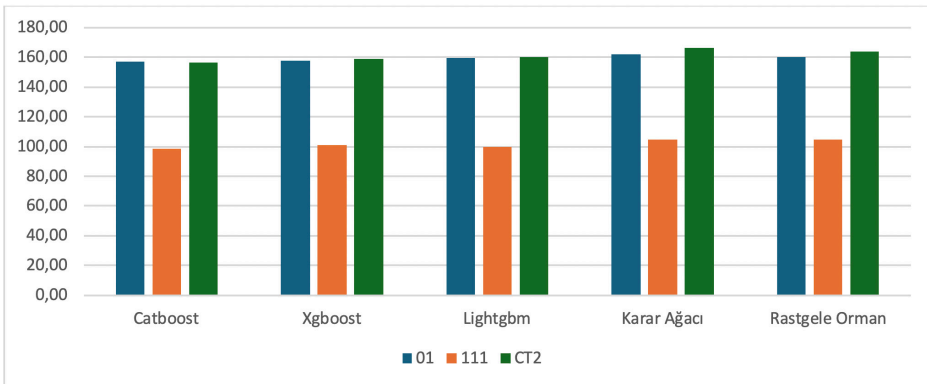
	RMSE	MAE	R^2	Tekil Eğitim Süresi (s)
Catboost	260.98 (std: 38.55)	156.52 (std: 15.81)	0.89 (std: 0.03)	0.3
Xgboost	261.94 (std: 37.95)	159.14 (std: 16.90)	0.88 (std: 0.03)	0.1
Lightgbm	266.27 (std: 31.92)	160.43 (std: 14.42)	0.88 (std: 0.02)	0.2
Karar Ağacı	275.43 (std: 14.76)	166.65 (std: 36.87)	0.87 (std: 0.03)	0.1
Rastgele Orman	272.33 (std: 15.10)	163.91 (std: 37.96)	0.88 (std: 0.03)	3.9

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulan RMSE, MAE ve R^2 metrikleri birlikte değerlendirildiğinde, algoritmaların hatlar arası performanslarının yalnızca mutlak hata seviyeleri açısından değil, aynı zamanda kararlılık ve genellenebilirlik açısından da farklılık gösterdiği görülmektedir. Özellikle hatlar arasında gözlenen hata dağılımlarının değişkenliği, modellerin veri yapısındaki heterojenliğe verdikleri tepkilerin birbirinden ayrıştığını ortaya koymaktadır.

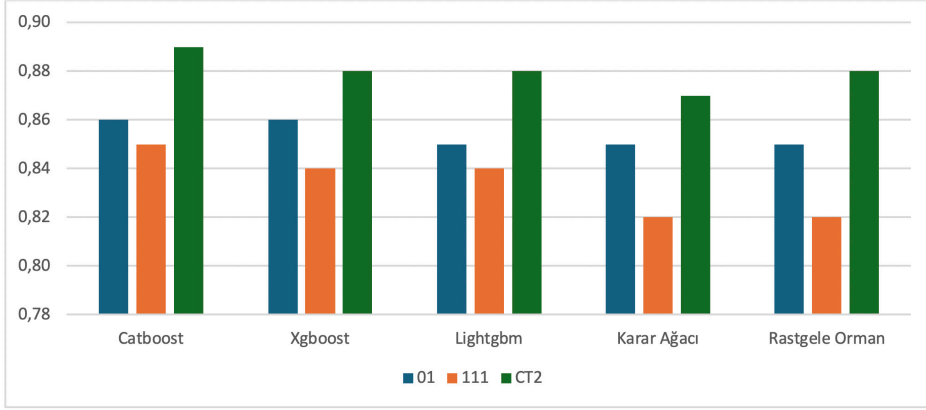
Gradyan artırma tabanlı yöntemler, tüm hatlarda daha dengeli hata profilleri ve daha yüksek açıklama gücü sergileyerek, doğrusal olmayan ilişkileri ve değişkenler arası karmaşık etkileşimleri daha etkin biçimde modelleyebilmiştir. Çapraz doğrulama sonuçları, bu yöntemlerin veri dağılımındaki değişimlere karşı daha dayanıklı olduğunu ve zamansal yapıdan kaynaklanan belirsizlikleri daha etkin biçimde yakalayabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, algoritmalar arasındaki performans farklarının yalnızca model karmaşıklığıyla açıklanamayacağı; kullanılan öğrenme stratejileri, hata fonksiyonları ve veri yapısına uyum yetenekleriyle doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Modellerin hat bazında RMSE karşılaştırması



Şekil 2. Modellerin hat bazında MAE karşılaştırması



Şekil 3. Modellerin hat bazında R^2 karşılaştırması

Genel olarak tüm hatlarda gözlenen sonuçlar, CatBoost'un kategorik değişkenleri doğal işleme kabiliyeti, sıralı artırmalı öğrenme yaklaşımı ve gürültülü/veri dengesizliği içeren veri kümelerinde sağladığı stabilizasyon sayesinde ETA tahmininde en yüksek doğruluk seviyesini sunduğunu göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışma, kentsel toplu taşıma sistemlerinde duraklar arası varış süresi tahmini (ETA) için karar ağaçları tabanlı makine öğrenmesi modellerinin sistematik bir karşılaştırmasını sunmuş ve MBTA'nın "Bus Arrival/Departure Times (2024)" veri seti durak çifti temelli bir yapıya dönüştürülerek yüksek çözünürlüklü bir tahmin uzayı oluşturulmuştur. Bu dönüşüm, ardışık duraklar yerine tüm durak çiftlerinin modele dahil edilmesi sayesinde hem kısa menzilli hem de uzun menzilli seyahat dinamiklerinin bütüncül biçimde öğrenilmesini sağlamıştır. Beş farklı modelin üç ayrı güzergâh üzerinde değerlendirilmesi sonucunda, ansambl yöntemlerinin tekil karar ağacı modeline kıyasla belirgin üstünlük sağladığı görülmüştür. Özellikle CatBoost, kategorik değişkenleri doğal olarak işleme kapasitesi, sıralı artırmalı öğrenme mekanizması ve aşırı öğrenme azaltan düzenleme özellikleri sayesinde tüm güzergâhlarda en yüksek doğruluk seviyesini elde etmiştir. R^2 değerlerinin 0.85–0.89 aralığında gerçekleşmesi, modelin hem güçlü hem de istikrarlı bir açıklayıcılık sunduğunu göstermektedir. Eğitim süresinin XGBoost ve LightGBM'e kıyasla daha uzun olmasına rağmen, CatBoost'un doğruluk-hız dengesi açısından pratik uygulamalara uygun bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, durak çifti tabanlı karar ağacı modellerinin, özellikle CatBoost mimarisinin, gerçek zamanlı ETA tahmini yapan toplu taşıma sistemlerinde etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda trafik yoğunluğu, hava durumu ve yolcu yükü gibi ek değişkenlerin modele entegrasyonu ile tahmin doğruluğunun daha da artırılması mümkündür. Ayrıca diğer kentlerdeki veri setlerinin test edilmesi, modelin genelleme kapasitesinin değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik kurul beyanı

Bu araştırma, yalnızca MBTA tarafından sağlanan açık erişimli “Bus Arrival/Departure Times (2024)” veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada insan veya hayvan denekleri üzerinde herhangi bir deneysel uygulama yapılmamış, kişisel veri toplanmamış ve müdahale içeren bir süreç yürütülmemiştir. Bu nedenle etik kurul onayı gerekmemektedir. Araştırma ve yayın etiği ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Büchel, B. ve Corman, F. (2020). Review on statistical modeling of travel time variability for road-based public transport. *Frontiers in Built Environment*, 6, Article 70.
- [2] Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G. ve Golias, J. C. (2014). Short-term traffic forecasting: Where we are and where we’re going. *Transportation Research Part C*, 43, 3–19.
- [3] Jenelius, E. ve Koutsopoulos, H. N. (2013). Travel time estimation for urban road networks using low-frequency probe vehicle data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 53, 64–81.
- [4] Sun, D., Luo, H., Fu, L., Liu, W., Liao, X. ve Zhao, M. (2007). Predicting bus arrival time on the basis of global positioning system data. *Transportation Research Record*, 2034(1), 62–72.
- [5] Fan, W. ve Gurmu, Z. (2015). Dynamic travel time prediction models for buses using GPS data. *Transportation Research Part C*, 59, 18–32.
- [6] Moosavi, S. M. H., Aghaabbasi, M., Yuen, C. W. ve Jahed Armaghani, D. (2023). Evaluation of applicability and accuracy of bus travel time

- prediction in high and low-frequency bus routes using tree-based machine learning techniques. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 7(2), 74–97.
- [7] Hastie, T., Tibshirani, R. ve Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). *Springer*.
- [8] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- [9] Chen, T. ve Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). ACM.
- [10] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. ve Liu, T.-Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *In Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017)* (pp. 3149–3157).
- [11] Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V. ve Gulin, A. (2018). CatBoost: unbiased boosting with categorical features. *In Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2018)* (pp. 6638–6648).
- [12] Cramér, H. (1946). *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton University Press.
- [13] Cats, O. (2011). *Dynamic Modelling of Transit Operations and Passenger Decisions*. TU Delft.
- [14] Okutucu, H. ve Kaya, Ş. M. (2025). Traffic Density Estimation with IoT Edge Computing In Smart City: A Case Study. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20(72), 189-215.
- [15] Esmaili Jobani, A. ve Kaya, Ş. M. (2025). Hybrid IoT and AI-based Solution for Energy Management in Data Centres under Various Climate Conditions. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20(72), 107-124.
- [16] Kaya, Ş. M., Güneş, A. ve Erdem A. (2021). "A Smart Data Pre-Processing Approach by Using ML Algorithms on IoT Edges: A Case Study," *2021 International Conference on Artificial Intelligence of Things (ICAIoT)*, Nicosia, Turkey, 2021, pp. 36-42

- [17] İşler, B., Kaya, Ş.M. ve Kılıç, F.R. (2025). Fog-Enabled Machine Learning Approaches for Weather Prediction in IoT Systems: A Case Study. *Sensors* 2025, 25, 4070.

İnternet Kaynakları

Massachusetts Bay Transportation Authority. (2024). Bus Arrival/Departure Times Dataset. Retrieved from <https://gis.data.mass.gov/datasets/96c77138c3144906bce93d0257531b6a/abo>

Daphne oleoides subsp. *kurdica*'nın antimikrobiyal ve antifungal etkilerinin araştırılması

Kemal METİNER¹

Bariş HALAÇ^{*2}

Oktay ÖZKAN³

Belgi Diren SİĞİRCİ⁴

Geliş tarihi / Received: 22.12.2025

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.02.2026

Kabul tarihi / Accepted: 23.02.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73006

Öz

Veteriner mikrobiyolojisinde antimikrobiyal direncin (AMR) artışı, hayvan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve sentetik antibiyotiklerin kontrolsüz kullanımı çoklu ilaca dirençli (MDR) suşların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu küresel halk sağlığı sorunu, insan, hayvan ve çevre sağlığını bütünleştiren “Tek Sağlık” (One Health) yaklaşımının zorunluluğunu vurgulamaktadır. Bu kapsamda, geleneksel tedavilere alternatif olacak yeni, güvenilir antimikrobiyal ajanların araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’ye endemik bir alt tür olan, Tunceli-Ovacık, Munzur Dağları’ndan toplanan *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*’nın hem yaprak hem de sap-gövde kısımlarının antimikrobiyal potansiyeli araştırıldı. Etanol ile ekstraksiyonu yapılan bitkilerin antibakteriyel aktivitesinin belirlenmesi için Agar Dilüsyon Yöntemi, antifungal aktivitesinin belirlenmesi için Sıvı Makrodilüsyon Yöntemi kullanıldı ve Minimum inhibisyon konsantrasyon (MİK) değerleri belirlendi. MİK değerleri, veteriner hekimlikte klinik öneme sahip bakteri (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus*

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, kmetiner@iuc.edu.tr, ORCID:0000-0003-4105-5852*

^{2*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi baris.halac@iuc.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3067-9937

³ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tıp Fakültesi, oktayo353@gmail.com, ORCID:0000-0002-9794-8863

⁴ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, belgis@iuc.edu.tr, ORCID:0000-0001-7153-7428

subtilis, *Bacillus cereus*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli* ve *Klebsiella pneumoniae*) ve mantar (*Candida albicans*, *Pichia kudriavzevii*, *Candida tropicalis*, *Candida glabrata*, *Malassezia pachydermatis*, *Microsporum canis* ve *Trichophyton mentagrophytes*) etkenleri için ayrı ayrı değerlendirildi. Yapılan testlerin sonucunda hem yaprak hem de sap-gövde ekstraktlarının bakteri ve mantar etkenlerine karşı herhangi bir inhibisyon etkisi göstermediği, sadece *M. canis* 'e karşı (sap-gövde ekstraktı 10100 µg/ml, yaprak ekstraktı 5050 µg/ml) düşük seviyede bir etki gösterdiği belirlendi. Bitkinin potansiyel antimikrobiyal özelliklerini daha kapsamlı bir şekilde ortaya koymak için, gelecekteki çalışmaların farklı çözücüler kullanılarak hazırlanmış ekstraktları ve daha düşük MİK değerlerini saptayabilecek yöntemlerle test edilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal, antimikotik, *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*, Minimal İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK)

Investigation of antimicrobial and antifungal effects of *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*

Abstract

The increase in antimicrobial resistance (AMR) in veterinary microbiology poses a serious threat to animal health, and the uncontrolled use of synthetic antibiotics has led to the emergence of multidrug-resistant (MDR) strains. This global public health issue highlights the necessity of the "One Health" approach, which integrates human, animal, and environmental health. In this context, the investigation of new, reliable antimicrobial agents that may serve as alternatives to conventional treatments has become increasingly important. In the present study, the antimicrobial potential of both the leaf and stem parts of *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*, an endemic subspecies collected from the Munzur Mountains (Tunceli–Ovacık, Türkiye), was investigated. Ethanol extracts were prepared, and antibacterial activity was assessed using the Agar Dilution Method, while antifungal activity was evaluated using the Liquid Macrodilution Method. Minimum inhibitory concentration (MIC) values were determined for each extract. The MIC values were evaluated separately for bacterial pathogens of clinical relevance in veterinary medicine (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, and *Klebsiella pneumoniae*) and for fungal agents (*Candida albicans*, *Pichia kudriavzevii*, *Candida tropicalis*,

Candida glabrata, Malassezia pachydermatis, Microsporum canis, and Trichophyton mentagrophytes). The results indicated that neither the leaf nor the stem extracts exhibited inhibitory effects against the tested bacterial and fungal agents, except for a low level of inhibition against M. canis (10100 µg/ml for stem extract and 5050 µg/ml for leaf extract). To more comprehensively elucidate the potential antimicrobial properties of this plant, future studies should include extracts prepared with different solvents and employ methods capable of detecting lower MIC values.

Keywords: Antimicrobial, Antifungal, *Daphne oleoides* subsp. *Kurdica*, Minimum Inhibitory Concentration (MIC)

Giriş

Veteriner mikrobiyolojisi alanında, patojen mikroorganizmaların antimikrobiyal direncinde yaşanan artış, hayvan sağlığı ve refahı üzerinde giderek büyüyen bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle hayvancılık ve pet hayvanlarında sıkça karşılaşılan enfeksiyonların tedavisi, sentetik antimikrobiyallerin yaygın ve kontrolsüz kullanımı sonucu ortaya çıkan çoklu ilaca dirençli suşlar nedeniyle karmaşık bir hal almıştır (Palma ve ark., 2020). Bu küresel sorunun çözümü, insan, hayvan ve çevre sağlığının birbiriyle ayrılmaz bütünlüğünü vurgulayan “Tek Sağlık” (One Health) yaklaşımını benimsemeyi zorunlu kılmaktadır (WOAH, 2024). Bu bağlamda, geleneksel antibiyotiklere olan bağımlılığı azaltacak ve yeni tedavi seçenekleri sunacak alternatif ajan arayışları kritik bir öneme sahiptir.

Şifalı bitkiler, binlerce yıldır geleneksel tıpta kullanılan ve zengin biyoaktif bileşik profilleriyle modern araştırmacıların dikkatini çeken önemli bir doğal kaynaktır. Bu bitkilerden biri olan ve *Thymelaeaceae* familyasına ait olan *Daphne* cinsi, potansiyel antioksidan, anti-inflamatuar ve antitumoral aktivitelerinin yanı sıra antimikrobiyal özellikleri ile de bilinmektedir (Can T.H., 2019) Mundarca olarak adlandırılan bu bitki Türkiye’de Doğu Karadeniz, Orta Kızılırmak, Yukarı Kızılırmak, Konya, Yukarı Fırat, Erzurum-Kars, Yukarı Murat-Van, Hakkâri, Adana alt bölgelerinde doğal yayılış göstermektedir. *Daphne* cinsi, özellikle geleneksel Türk halk tıbbında sıtma, romatizma ve yara iyileştirme gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılan önemli bir bitkisel kaynaktır (Süntar ve ark., 2012). Ancak, özellikle ülkemize endemik bir alt tür olan *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*’nın antimikrobiyal potansiyeli ve bitkinin farklı kısımları (yaprak

ve sap-gövde) arasındaki aktivite farklılıkları üzerine yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Bu çalışmanın amacı, *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*'nın yaprak ve sap-gövde etanol ekstraktlarının, veterinerlikte klinik önemi kanıtlanmış bakteri ve mantar suşlarına karşı in vitro antimikrobiyal aktivitelerini belirlemek ve bu iki kısım arasındaki potansiyel farklılıkları ortaya koymaktır. Elde edilen bulgular, antimikrobiyal dirençle mücadelede kullanılabilecek bitkisel kaynaklı yeni ve etkili fitoterapötik ajanların geliştirilmesine yönelik bilimsel bir zemin hazırlamayı hedeflemektedir.

Materyal ve metot

Daphne oleoides subsp. *kurdica* bitki örnekleri Temmuz- Ağustos, 2023 yılında Tunceli - Ovacık ilçesi Munzur dağlarından toplandı ve ardından gölgeli bir alanda 20 gün boyunca kurumaya bırakıldı. Örnekler ekstraksiyon için öğütüldü. Toz halindeki bitki materyali (20 g), 500 ml çözücü ile soxhlet cihazında 3 saat boyunca ekstrakte edildi. Whatman No.1 filtre kağıdından süzüldü. Filtrat ekstraktları, döner buharlaştırıcı (Heidolph, Laborata 4000 serisi) kullanılarak 35°C'de düşük basınç altında konsantre edildi. Kurutulmuş ham konsantre ekstraktlar, analizler için kullanılabilecek kadar buzdolabında (-4°C) saklandı.

Bu çalışmada, *Daphne oleoides* subsp. *kurdica* bitkisinin yaprak ve sap-gövde etanol ekstraktlarının, antimikrobiyal aktivitesini belirlemek için iki farklı metodoloji kullanıldı. Antibakteriyel aktivite için agar difüzyon yöntemi, antifungal aktivite için ise sıvı makrodifüzyon yöntemi uygulandı. Her iki yöntemde de Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) değerleri saptandı.

Antibakteriyel aktivite tayini

Ekstraktların antibakteriyel etkilerini değerlendirmek amacıyla, agar difüzyon yöntemi kullanılarak MİK değerleri belirlendi (CLSI, 2006). Çalışmada kullanılan bakteri suşları, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Veteriner Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Kültür Koleksiyonu'ndan temin edildi. Bu suşlar; *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Proteus mirabilis* (ATCC 12453), *Escherichia coli* (ATCC 25922) ve *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352)'dir.

Ekstraktların stok çözeltileri, CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute 2006) kılavuzuna uygun olarak katyon ayarlı Mueller Hinton buyyon kullanılarak hazırlandı. *Daphne oleoides subsp. kurdica* (sap-gövde) ekstraktı için son konsantrasyon aralığı 20200 – 3,945 µg/ml olarak, yaprak ekstraktı için ise 18100 – 3,535 µg/ml olarak belirlendi. Hazırlanan on farklı dilüsyondan alınan 1 ml solüsyon, 6 cm'lik petrilere döküldü, üzerine 45-50°C'ye soğutulan Mueller-Hinton agar eklenerek karıştırıldı ve oda sıcaklığında donmaya bırakıldı. Test edilecek bakteri türlerinin 18-24 saatlik Nutrient agardaki kültürlerinden 0,5 McFarland bulanıklığına eş değerde süspansiyonlar hazırlandı. Bu süspansiyonlar 1/10 oranında steril fizyolojik tuzlu su (FTS) ile seyreltilerek 10⁷ cfu/ml inokulum yoğunluğuna getirildi. Hazırlanan bakteri süspansiyonundan, ekstrakt içeren Mueller-Hinton agarlara, replikatör aracılığıyla 2 µl miktarlarında ekim yapıldı. Kültürler 37°C'de 16-20 saat aerob ortamda inkübe edildi. Besiyerinde gözle görülür üremenin olmadığı en düşük ekstrakt konsantrasyonu MİK değeri olarak kaydedildi. Testin doğruluğunu kontrol etmek için gentamisin ve ekstraksiyon solventi kullanıldı.

Antifungal aktivite tayini

Ekstraktların mayalara ve mantarlara karşı potansiyel antimikotik etkilerini saptamak amacıyla sıvı makrodilüsyon yöntemi kullanıldı. Bu yöntemle de MİK değerleri belirlendi. Çalışmada kullanılan *Candida albicans* (ATCC 10231), *Pichia kudriavzevii* (*Candida krusei*; ATCC 6258), *Candida tropicalis* (ATCC 750), *Candida glabrata* (ATCC 2001), *Mallassezia pachydermatis*, *Microsporum canis* ve *Trichophyton mentagrophytes* fungal suşları İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Veteriner Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Kültür Koleksiyonu'ndan temin edildi. Suşların canlılığı, mayalar için 37°C'de 48 saat, küf mantarları için 25°C'de 7 gün süreyle SDA besiyerinde inkübe edilerek sağlandı. Sıvı makrodilüsyon testinde kalite kontrolü için Amfoterisin B kullanıldı.

Sıvı makrodilüsyon yöntemi için tüm ekstraktların iki katlı dilüsyonları hazırlandı ve her bir dilüsyondan 500 µl steril tüplere dağıtıldı. Maya suşlarının 0,5 McFarland bulanıklığına eş değerde süspansiyonları fizyolojik tuzlu su içerisinde hazırlandı ve 1/10 oranında steril FTS ile seyreltilerek 10⁷ cfu/ml inokulum yoğunluğuna getirildi. Mantar türlerinin kolonilerinden ise fizyolojik tuzlu su ile 5 ml süspansiyon hazırlandı, büyük partiküllerin çökmesi için 15 dakika beklendi ve homojen konidya süspansiyonu ayrı bir tüpe aktararak 15 dakika karıştırıldı. Hazırlanan

maya ve mantar süspansiyonları, ekstraktların iki katlı dilüsyonlarına eşit miktarda eklendi. Maya inokulumu eklenmiş dilüsyonlar 37°C'de 48 saat, mantar inokulumu eklenmiş olanlar ise 26°C'de 7 gün süreyle inkübe edildi. Üremeyi inhibe eden en düşük ekstrakt konsantrasyonu, çıplak gözle veya McFarland dansitometre cihazı ile ölçülerek MİK değeri olarak belirlendi.

Bulgular

Bu çalışmada, *Daphne oleoides subsp. kurdica* bitkisinin sap-gövde ve yaprak etanol ekstraktlarının, veterinerlikte klinik öneme sahip bakteri ve mantar suşlarına karşı antimikrobiyal ve antimikotik aktiviteleri in vitro koşullarda araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, her iki ekstraktın da test edilen mikroorganizmalar üzerinde herhangi bir inhibisyon etkisi göstermediğini ortaya koymuştur.

İncelenen tüm Gram-pozitif bakteri suşlarına (*S. aureus*, *S. epidermidis*, *B. cereus*, *B. subtilis*) ve Gram-negatif bakteri suşlarına (*K. pneumoniae*, *E. coli*, *P. mirabilis*) karşı hem sap-gövde hem de yaprak ekstraktları için minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) değeri 20200 µg/ml olarak belirlendi. Bu değer, denemelerde kullanılan en yüksek ekstrakt konsantrasyonuna karşılık gelmektedir ve hiçbir konsantrasyonda üreme inhibisyonu gözlenmediğini göstermektedir.

Benzer şekilde, ekstraktların antimikotik potansiyelini değerlendirmek üzere test edilen maya ve mantar suşlarına (*P. kudriavzevii*, *C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. glabrata*, *M. pachydermatis*, *T. mentagrophytes*) karşı da hiçbir aktivite saptanmadı. Sadece *M. canis* izolatına düşük seviyede etkinlik gösterdiği belirlendi. Bu fungal suşlardan (*P. kudriavzevii*, *C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. glabrata*, *M. pachydermatis*, *T. mentagrophytes*) için MİK değerleri 20200 µg/ml, *M. canis* için sap-gövde ekstrasının MİK değeri 10100 µg/ml, yaprak ekstrasının MİK değeri 5050 µg/ml olduğu belirlendi (Tablo 1).

Tablo 1. Ekstraktların Çeşitli Bakteri ve Mantar Suşlarına Karşı MİK Değerleri (µg/ml)

	<i>Daphne oleoides subsp kurdica</i> sap-gövde (µg/ml)	<i>Daphne oleoides subsp kurdica</i> yaprak (µg/ml)
<i>S.aureus</i>	20200	20200
<i>S.epidermidis</i>	20200	20200

<i>K.pneumoniae</i>	20200	20200
<i>E.coli</i>	20200	20200
<i>P.mirabilis</i>	20200	20200
<i>B.cereus</i>	20200	20200
<i>B.subtilis</i>	20200	20200
<i>Pichia kudriavzevii</i>	20200	20200
<i>Candida albicans</i>	20200	20200
<i>Candida tropicalis</i>	20200	20200
<i>Candida glabrata</i>	20200	20200
<i>Malassezia</i>	20200	20200
<i>M.canis</i>	10100	5050
<i>T. mentagrophytes</i>	20200	20200

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan etanol ekstraktlarının, test edilen bakteri ve mantar suşlarına (*M. canis* hariç) karşı 20200 µg/ml konsantrasyonlarda etkisiz olduğu belirlendi.

Tartışma

Bu çalışmada, *Daphne oleoides* subsp. *kurdica* bitkisinin sap-gövde ve yaprak etanol ekstraktlarının, test edilen bakteri suşlarına karşı belirgin bir antimikrobiyal aktivite göstermediği saptanmıştır. *Daphne oleoides* subsp. *kurdica* bitkisinin sap-gövde ve yaprak etanol ekstraktlarının, test edilen mantar (*M. canis* hariç) suşlarına karşı antimikotik etki göstermediği belirlenmiştir. *M. canis* izolatına karşı düşük MİK değeri saptanmıştır. Bulgular, her iki ekstraktın da çalışmada kullanılan tüm bakterilere ve *M.canis* hariç tüm mantarlara karşı ancak en yüksek konsantrasyonda (20200 µg/ml) üremeyi inhibe edebildiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç, *Daphne* cinsine ait diğer türler üzerinde yapılan ve genellikle antimikrobiyal aktivite rapor eden çalışmalarla tezat oluşturmaktadır. Bu durum, bitkinin kimyasal içeriğini ve biyolojik aktivitesini etkileyen çeşitli faktörlere bağlı olabilmektedir.

Literatürdeki birçok çalışma, *Daphne* türlerinin zengin biyoaktif bileşikler (kumarinler, flavonoidler, diterpenoidler, lignanlar vb.) içerdiğini ve bu bileşiklerin antimikrobiyal özellikler sergilediğini göstermektedir (Hussein ve ark., 2012; Potočnik ve ark., 2014). Mousavi ve ark. (2019), *Daphne oleoides*'in alkol ekstraktının, dış plağından izole edilen bakterilere karşı, özellikle *Streptococcus mutans*'a karşı güçlü antibakteriyel aktivite

gösterdiğini rapor etmiştir. Benzer şekilde, Balkan ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan bir araştırmada, *Daphne oleoides subsp. oleoides*'in metanol ekstraktının çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmaların aksine, mevcut araştırmanın sonuçları, kullanılan ekstraktların test edilen patojenlere karşı etkisiz olduğunu göstermektedir.

Bu farklılıkların başlıca nedenleri, kullanılan ekstraksiyon metodolojisi ve bitkinin kimyasal profili arasındaki değişkenliklerdir. Çalışmamızda ekstraksiyon solventi olarak etanol tercih edilirken, literatürdeki başarılı çalışmaların çoğu metanol gibi farklı çözücüler kullanmıştır (Mousavi ve ark., 2019; Balkan ve ark., 2017). Bitkisel materyalden elde edilen bileşenlerin türü ve miktarı, kullanılan çözücünün polaritesine doğrudan bağlıdır. Etanol, metanole göre farklı polaritede olduğu için, antimikrobiyal aktiviteden sorumlu olabilecek bazı aktif bileşenlerin yeterince ekstrakte edilememiş olması muhtemeldir. Süntar ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, aynı bitkinin metanol ekstraktının güçlü yara iyileştirme, anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler sergilediği rapor edilmiştir. Bu aktivitenin, ekstrakt içinde bulunan daphnetin ve özellikle luteolin-7-O-glukozit gibi bileşenlerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bulgular, bitkinin içerdiği biyoaktif bileşiklerin türünün ve konsantrasyonunun, kullanılan ekstraksiyon çözücüsüne göre büyük ölçüde değişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan etanol solventi ile, antimikrobiyal aktiviteden sorumlu olabilecek bileşenlerin yeterince ekstrakte edilememiş olması elde edilen sonuçları açıklayabilmektedir. Bu durum, bitkinin biyolojik potansiyelini değerlendirmek için farklı çözücülerle (örneğin, metanol veya kloroform gibi) daha kapsamlı ekstraksiyon çalışmalarına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada elde edilen MİK değerlerinin literatürde bildirilen bazı çalışmalardan daha yüksek bulunması, kullanılan antimikrobiyal test yöntemleri ve deneysel koşullardaki farklılıklarla açıklanabilir. Bitkisel ekstraktların antimikrobiyal etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılan agar veya makrodilüsyon yöntemlerinin, aktif bileşiklerin difüzyon ve stabilize özellikleri nedeniyle mikrodilüsyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek MİK değerleri ile sonuçlanabildiği bildirilmektedir (Cos ve ark., 2006; Eloff, 2019). Ayrıca ekstraksiyon sırasında kullanılan çözücü, ekstraksiyon süresi ve ısı gibi faktörlerin, bitkisel ekstraktlardaki fenolik

ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin biyolojik aktivitesini azaltabileceği belirtilmektedir (Eloff, 2019). Bu nedenle çalışmamızda elde edilen MİK değerlerinin, literatürde rapor edilen bazı sonuçlardan farklılık göstermesi metodolojik ve kimyasal faktörler çerçevesinde değerlendirilebilir olup, gelecekte yapılacak çalışmalarda yöntem seçimi açısından yol gösterici niteliktedir.

Ek olarak, bitkinin yetiştiği coğrafi bölge, hasat zamanı, çevresel koşullar ve bitkinin farklı alt türleri arasındaki genetik varyasyonlar da biyolojik aktiviteyi etkileyebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*'nın fitokimyasal içeriği, diğer çalışmaların odaklandığı *D. oleoides* veya *D. oleoides* subsp. *oleoides* gibi farklı alt türlerden farklılık gösterebilmektedir. Nitekim, *Daphne* türlerinin kumarin ve flavonoid profillerinin türler arasında değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (Hussain ve ark., 2012).

Sonuç

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, *Daphne oleoides* subsp. *kurdica*'nın farklı çözücüler (metanol, hekzan, kloroform vb.) kullanılarak hazırlanan ekstraktlarının, daha düşük MİK değerlerini saptayabilecek yöntemlerle test edilmesi, bu bitkinin potansiyel antimikrobiyal ve antimikotik özelliklerini daha kapsamlı bir şekilde ortaya koyabilecektir.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar, yayın ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik kurul beyanı

Bu araştırmada yalnızca bitki örnekleri (*Daphne oleoides* subsp. *kurdica*) kullanılmış olup, insan veya hayvan denekleri üzerinde herhangi bir deneysel uygulama yapılmamıştır. Çalışmada kişisel veri toplanmamış, klinik veya invaziv bir işlem gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle etik kurul onayı gerekmemektedir. Araştırma ve yayın etiği ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür.

Teşekkür

Daphne oleoides subsp. *kurdica* bitki örneklerinin toplanması ve ayrıştırılmasına sağladıkları katkılarından dolayı Sayın Haydar METİNER ve Sayın Zülfü SADAĞ'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Balkan, I. A., Taşkın, T., Dogan, H. T., Deniz, I., Akaydın, G., & Yeşilada, E. (2017). A comparative investigation on the in vitro anti-inflammatory, antioxidant and antimicrobial potentials of subextracts from the aerial parts of *Daphne oleoides* Schreb. subsp. *oleoides*. *Industrial Crops and Products*, 95, 695–703. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.038>
- [2] Can, T. H. (2019) Sıyircık(*Daphne gnidioides*) ve sırimbalığı(*Daphne pontica*) bitki ekstraktlarının biyolojik etkinliğinin incelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi) Kastamonu Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Genetik ve Biyomühendislik Ana Bilim Dalı, Türkiye.
- [3] CLSI (2024). M100 Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 34th ed. CLSI guideline M100. *Clinical and Laboratory Standards Institute*.
- [4] Cos, P., Vlietinck, A. J., Berghe, D. V., & Maes, L. (2006). Anti-infective potential of natural products: How to develop a stronger in vitro 'proof-of-concept'. *Journal of Ethnopharmacology*, 106(3), 290–302.
- [5] Eloff, J. N. (2019). Avoiding pitfalls in determining antimicrobial activity of plant extracts and publishing the results. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 19, 106.
- [6] Hussain, H., Hussain, J., Al-Harrasi, A., & Krohn, K. (2012). Efficacy of *Daphne oleoides* subsp. *kurdica* used for wound healing: identification of active compounds through bioassay guided isolation technique. *Journal of Ethnopharmacology*, 141(3), 1058–1070. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.04.001>
- [7] Mousavi, F., Shirzadi Karamolah, K., & Mahmoudi, H. (2019). Antimicrobial Effect of Extracts of *Daphne Oleoides* on Bacteria Isolated from Dental Plaque. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 29(175), 185-195.
- [8] Palma, E., Tilocca, B., & Roncada, P. (2020). Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1914. <https://doi.org/10.3390/ijms21061914>
- [9] Potočnik, T. L., Kolar, M. H., & Korošec, K. (2014). Antimicrobial activity and HPLC analysis of *Daphne blagayana* L. (Thymelaeaceae) extracts. *Acta Veterinaria (Beograd)*, 64(4), 493–502.

[10] Süntar, I., Akkol, E. K., Keles, H., Yesilada, E., Sarker, S. D., Arroo, R., & Baykal, T. (2012). Efficacy of *Daphne oleoides* subsp. *kurdica* used for wound healing: identification of active compounds through bioassay guided isolation technique. *Journal of Ethnopharmacology*, 141(3), 1058-1070.

[11] Tackling Antimicrobial Resistance using the One Health approach: The animal health perspective. (2024). World Organisation for Animal Health (WOAH). Retrieved from <https://www.woah.org/app/uploads/2024/06/tackling-amr-using-the-one-health-approach.pdf>

Beslenme paradoksu: ultra-işlenmiş gıdaların biyolojik, davranışsal ve toplumsal yansımaları üzerine bir derleme

Sema SELVİ^{*1}
Can ERGÜN²

Geliş tarihi / Received: 23.01.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.02.2026

Kabul tarihi / Accepted: 13.02.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73007

Öz

Amaç: Bu derleme, modern diyetteki ultra-işlenmiş gıdaların “beslenme paradoksu” çerçevesindeki biyolojik, davranışsal ve toplumsal etkilerini; tüketim mekanizmaları ile sağlık üzerindeki sonuçlarını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Kapsam: Literatür taraması, ultra-işlenmiş gıda tüketiminin vücut ağırlığı artışı, metabolik mekanizmalar, psikolojik ve sosyal etkenler ile kronik hastalık riskleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ayrıca NOVA sistemi gibi sınıflandırma yaklaşımları eleştirel bir perspektifle değerlendirilmiştir.

Ana Temalar/Bulgular: Ultra-işlenmiş gıda tüketimi, hormonal dengesizlikler, bağırsak mikrobiyotası değişiklikleri, bağımlılık potansiyeli ve düşük sosyoekonomik durum gibi faktörlerle ilişkilidir. Kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, bazı kanser türleri, metabolik sendrom, mortalite riski ve depresyon gibi kronik hastalıklarla güçlü bağlantıları tespit edilmiştir. Tüketicinin, ultra-işlenmiş gıdaların potansiyel zararlarını bilmesine rağmen ürüne yönelimi, ekonomik uygunluk, ulaşılabilirlik ve pazarlama stratejileri gibi etkenlerle açıklanmaktadır.

Sonuç: Bu derleme, ultra-işlenmiş gıdaların yarattığı “beslenme paradoksu”nun üstesinden gelmek için multidisipliner müdahale stratejilerine acil ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bireysel çabalardan

^{1*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Aydın Üniversitesi, semaselvi@stu.aydin.edu.tr; ORCID:0009-0009-1017-8922.

² İstanbul Aydın Üniversitesi, canergun@aydin.edu.tr; ORCID:0000-0001-5139-4407

öte, gıda sistemlerinde köklü değişiklikler ve güçlü halk sağlığı politikaları gereklidir. Gelecek çalışmalar, beslenme ve psikopatoloji arasındaki kesişim noktalarına odaklanarak daha bütüncül yaklaşımlar geliştirmelidir.

Anahtar Kelimeler: ultra-işlenmiş gıdalar, beslenme paradoksu, kronik hastalıklar, obezite, halk sağlığı

The nutrition paradox: a review on the biological, behavioral, and societal implications of ultra-processed foods

Abstract

Objective: This review aims to comprehensively evaluate the biological, behavioral, and societal implications of ultra-processed foods within the framework of the “nutrition paradox”, assessing their consumption mechanisms and health outcomes in modern diets.

Scope: The literature review examined the effects of ultra-processed food consumption on weight gain, metabolic mechanisms, psychological and social factors, and the risks of chronic diseases. Classification approaches like the NOVA system were also critically assessed.

Main Themes/Findings: Ultra-processed food consumption is associated with hormonal imbalances, changes in gut microbiota, addiction potential, and factors such as low socioeconomic status. Strong links have been identified with chronic diseases including cardiovascular diseases, type 2 diabetes, certain types of cancer, metabolic syndrome, increased mortality risk, and depression. Consumer inclination towards ultra-processed foods, despite awareness of their potential harms, is explained by factors such as economic affordability, accessibility, and marketing strategies.

Conclusion: This review highlights an urgent need for multidisciplinary intervention strategies to overcome the ‘nutrition paradox’ created by ultra-processed foods. Beyond individual efforts, fundamental changes in food systems and strong public health policies are required. Future studies should focus on the intersections between nutrition and psychopathology to develop more holistic approaches.

Keywords: ultra-processed foods, nutrition paradox, chronic diseases, obesity, public health

Giriş

Günümüzde obezite ve kronik hastalıklar, küresel halk sağlığının öncelikli sorunları arasında yer almaktadır. Modern yaşam tarzı ve beslenme alışkanlıklarındaki değişimler, bu hastalıkların yaygınlaşmasında temel etkenler olarak belirtilmiştir (Román ve ark., 2024). Son yıllarda ultra-işlenmiş gıdaların (UİG) tüketimindeki küresel artış, obezite ve kronik hastalıkların epidemiyolojisinde kritik bir tetikleyici olarak literatürde belirginleşmiştir (Baker ve ark., 2020). Ultra-işlenmiş gıdalar, düşük besin değerlerine sahip, yüksek enerji yoğunluğunda ve genellikle endüstriyel olarak işlenmiş gıdalardır (Chen ve ark., 2020). Geleneksel beslenme düzenlerinden batı tarzı, enerji yoğunluğu yüksek diyetlere geçişi ifade eden "beslenme geçişi" kavramı (Eaton, 2020), özellikle UİG'ler, yoğun şeker içerikli içecekler ve bitkisel yağ kullanımının yaygınlaşmasıyla, küresel obezite ve kronik hastalık oranlarının artışı ilişkili bulunmuştur (Baker ve ark., 2020).

Bu derleme, modern diyetteki ultra-işlenmiş gıdaların “beslenme paradoksu” çerçevesindeki biyolojik, davranışsal ve toplumsal etkilerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Mevcut literatürdeki boşluğu doldurmak hedefiyle çalışma, UİG'leri besin değerlerinin ötesinde; işlenme süreçleri, fizyolojik yanıtlar, psikolojik ve sosyoekonomik belirleyicileri ile birlikte incelemektedir. Bu kapsamlı analiz, halk sağlığı politikaları, eğitim stratejileri ve klinik müdahaleler için daha bütüncül ve etkili yaklaşımların geliştirilmesine somut katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

Yöntem / literatür taraması

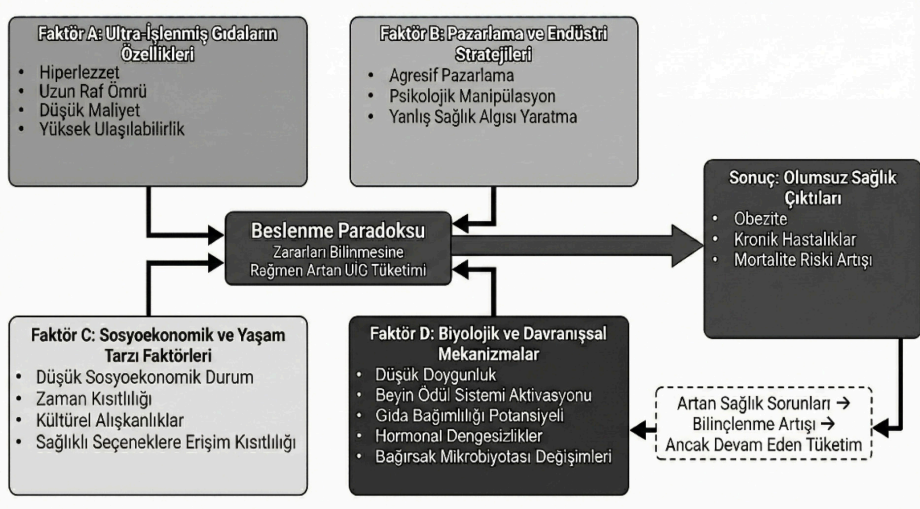
Bu derleme çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması; PubMed, Web of Science, Scopus, DergiPark ve Google Akademik veritabanlarında yapılmıştır. Tarama sürecinde "ultra-processed foods", "UPF", "nutrition paradox", "obesity", "chronic diseases", "food addiction", "gut microbiota", "behavioral interventions" ve "public health" anahtar kelimeleri ile bunların Türkçe karşılıkları kullanılmıştır.

Araştırma kapsamına 2020–2025 yılları arasında yayımlanmış; İngilizce veya Türkçe dillerindeki tam metin derlemeler, sistematik derlemeler, meta-analizler, kohort çalışmaları ve deneysel araştırmalar dahil edilmiştir. Editör yorumları, mektuplar, vaka sunumları, sadece hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar ve konuyla doğrudan ilişkili olmayan yayınlar

kapsam dışı bırakılmıştır. Elde edilen makaleler başlık ve özetlerine göre değerlendirilmiş; seçilen çalışmalar ultra-işlenmiş gıdaların biyolojik, davranışsal ve toplumsal etkileri odağında analiz edilmiştir.

"Beslenme paradoksu: zararları bilinmesine rağmen UİG tüketiminin kaçınılmazlığı"

Ultra-işlenmiş gıdaların üretim ve tüketimindeki küresel yaygınlaşma, modern beslenmede belirgin bir “beslenme paradoksu” sunmaktadır. Sağlık üzerindeki potansiyel zararları konusunda artan bilimsel kanıtlara ve kamuoyu farkındalığına rağmen, bu gıdaların tüketim eğiliminin dünya genelinde sürdüğü gözlemlenmiştir (Robinson ve ark., 2024). Bireylerin UİG'lerden tamamen kaçınması, pratik veya ekonomik nedenlerle genellikle mümkün olmamaktadır. Bu durum, yalnızca kişisel tercihlere bağlı olmayıp, aynı zamanda UİG'lerin ekonomik uygunluğu, yüksek ulaşılabilirliği, agresif pazarlama stratejileri ve modern yaşamın getirdiği zaman kısıtlılığı gibi karmaşık faktörlerle ilişkili bulunmuştur (Williams, 2024).



Şekil 1. Ultra-işlenmiş gıdaların tüketiminde “beslenme paradoksu”nun dinamikleri

Literatür, ultra-işlenmiş gıda tüketiminin yetişkin ve çocuklarda vücut ağırlığı artışı, obezite ve ilişkili komorbiditelerle tutarlı bir şekilde ilişkili olduğu düşünülmektedir (Dicken ve Batterham, 2024). Bir meta-analiz, UİG tüketimi ile böbrek fonksiyon bozuklukları, çocuklarda hırıltılı nefes alma, diyabet, obezite, depresyon ve yaygın zihinsel bozukluklar

arasında anlamlı ilişkiler bulmuştur (Dai ve ark., 2024). UİG'lerin işlenme süreçleri ve katkı maddeleri, tokluk sinyallerini geciktirerek aşırı tüketime ve dolayısıyla ağırlık artışına yol açabildiği düşünülmektedir (Leite ve ark., 2022). Bu durum, UİG'lerin düşük besin değerleri, yüksek enerji içeriği ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumsuz etkileriyle de ilişkilendirilmektedir (Elizabeth ve ark., 2020). Ayrıca, çalışmalar UİG'lerin bazı bireylerde "bağımlılık benzeri" davranışlara neden olduğunu belirtmektedir (Gearhardt ve DiFeliceantonio, 2022). Rafine karbonhidrat ve eklenmiş yağ açısından zengin bu gıdalar, yüksek derecede "ödüllendirici" bulunup kompulsif tüketime yol açabileceği düşünülmektedir (Gearhardt ve ark., 2023). Ultra-işlenmiş gıda bağımlılığının biyopsikolojik temellerinin, vücut ağırlığı yönetimi üzerinde negatif etkilere sahip olduğu düşünülmektedir (LaFata ve ark., 2024). Yale Gıda Bağımlılığı Ölçeği gibi araçlar, bu bağımlılığın tanısında kullanılmakta (Thompson ve Thaw, 2024) ve obezite mücadelesinde bireyselleştirilmiş yaklaşımlar ile halk sağlığı stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağladığı düşünülmektedir (Zhang ve ark., 2021).

UİG tanımı ve kavramsal çerçeve

NOVA sistemi ve sınırlılıkları

NOVA sınıflandırma sistemi, gıdaları endüstriyel işleme derecesi ve amacına göre dört ana gruba ayıran, uluslararası kabul görmüş ve sıkça başvurulan bir yöntemdir (Çelik ve ark., 2025). Bu sistemin dördüncü grubunu oluşturan ultra-işlenmiş gıdalar; doğal yapıları bozulmuş, birçok katkı maddesi içeren ve yoğun endüstriyel işlemlerden geçmiş gıdalar olarak tanımlanır (Dai ve ark., 2024). UİG'lere tatlandırıcılar, emülgatörler ve aroma artırıcılar gibi bileşenler eklenerek; uzun raf ömrü, düşük üretim maliyeti ve yoğunlaştırılmış lezzet gibi özellikler kazandırılması hedeflenmektedir (Çelik ve ark., 2025).

NOVA, sadece besin içeriğini değil, aynı zamanda gıdaların üretim süreçlerini de dikkate alarak besinlerin sağlık çıktılarını değerlendirmede önemli bir araç sunmaktadır (Monteiro ve ark., 2024). Bu yaklaşım, gıda işlemenin kapsamı ve amacı doğrultusunda metodolojik bir çerçeve sağlamaktadır (Jung ve ark., 2023).

NOVA sistemi yaygın kullanımına rağmen, literatürde bazı sınırlılıkları ve eleştirileri de beraberinde getirmiştir (Visioli ve ark., 2022). Eleştirilerin başında; eklenmiş şeker, doymuş yağ ve sodyum düzeyine dayalı sınıflandırması nedeniyle, bazı besin değeri yüksek gıdaların da ultra-

işlenmiş olarak kategorize edilebilmesi gelmektedir (Crimarco ve ark., 2021). Örneğin, fasulye ve fındık gibi besleyici gıdalar, NOVA tanımlarına göre UİG sınıfına girebilmektedir (Crimarco ve ark., 2021). Bu durum, basit tanımın gıdanın kendi özelliklerini göz ardı edebileceği endişesini yaratmış; tam buğday ekmeği gibi bazı "premium" UİG'lerin sağlık için tehdit oluşturmayabileceği öne sürülmüştür (Jung ve ark., 2023). Ticari olarak üretilen ekmek gibi gıdalar UİG olarak sınıflandırılırken, evde yapılmış benzer bir ekmeğin işlenmemiş kabul edilmesinin sınıflandırmada tutarsızlıklara yol açabileceği belirtilmiştir (Crimarco ve ark., 2021).

Ancak, NOVA sisteminin eleştirilere rağmen, gıda işlemenin halk sağlığı üzerindeki etkilerine dikkat çekmede ve politikalar geliştirmede önemli bir rolü olduğu savunulmaktadır (Louie, 2025). Sistemin temel amacının, ürünlerin besin değerinden ziyade endüstriyel işleme düzeyini vurgulayarak tüketicileri ve politika yapıcılarını bilgilendirmek olduğu ifade edilmiştir (Braesco ve ark., 2022).

Bu sınırlılıklar nedeniyle, Siga yaklaşımı gibi gelişmiş sınıflandırma sistemleri de gündeme gelmiştir (Trumbo ve ark., 2024). Siga gibi alternatiflerin, Nutri-Score gibi beslenme etiketleriyle birlikte kullanılarak, tüketicileri daha az ultra-işlenmiş ve sağlık için daha az riskli gıda seçeneklerine yönlendirmede ek bir destek sağlayabileceği düşünülmektedir (Dailey-Chwalibóg ve ark., 2020). Bu gelişmeler, gıda işlemenin sağlık üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek için NOVA'nın ötesinde yeni tanımlama yöntemlerine ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir (Medin ve ark., 2025).

Ultra-işlenmiş gıda tüketiminin vücut ağırlığı artışı ve metabolik mekanizmalar üzerine etkisi

Aşırı tüketimin davranışsal ve hormonal etkenleri

Vücudun tokluk mekanizmalarının enerji içeriğinden çok gıdanın hacmine duyarlı olması nedeniyle, yüksek enerji yoğunluğuna sahip UİG'lerin aşırı tüketimi kolaylaştırabileceği düşünülmektedir (Crimarco ve ark., 2021). Lezzetli, ekonomik ve büyük porsiyonlarda sunulan bu ürünlerin, sürekli atıştırma ve istemsiz enerji alımını teşvik edebileceği bildirilmiştir (Crimarco ve ark., 2021). Ayrıca gıda işlemenin ve katkı maddelerinin, gıdanın dokusunu yumuşatarak daha az çiğneme gerektirmesinin, tokluk sinyallerini geciktirerek porsiyon kontrolünü zorlaştırabileceği öne sürülmüştür (Crimarco ve ark., 2021).

UİG tüketiminin, iştah düzenleyici hormonlar üzerinde potansiyel etkileri olduğu literatürde tartışılmaktadır. Bir çalışmada, UİG alımının pankreatik peptid YY ve ghrelin gibi açlık-tokluk hormonlarında değişimlerle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir (Crimarco ve ark., 2021). Bilindiği üzere leptin tokluğu baskımlarken, ghrelin iştahı uyarmaktadır (Ranjbar ve ark., 2025). Sürekli yüksek şeker alımının leptin direncine katkıda bulunabileceği, düşük besin değerli UİG'lerin ise ghrelin salgısını yeterince baskılamayarak uzun süreli açlık hissi ve kilo artışı ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Ranjbar ve ark., 2025). İşlenmemiş gıdaların tüketimi sonrası ghrelin azalırken PYY artmaktadır; ancak UİG odaklı yeme davranışının ghrelin ile doğrudan bir ilişkisi saptanmazken, leptin seviyeleri ile bağlantılı olabileceği rapor edilmiştir (Wiss ve LaFata, 2024).

İnflamasyon ve bağırsak mikrobiyotası değişimleri

UİG'lerin gıda matrisinin fazla parçalanmış yapısı; düşük tokluk hissi ve yüksek glisemik yanıt ile ilişkilendirilmektedir (Dicken ve Batterham, 2021). Bu ürünlerin, vücutta düşük dereceli inflamasyon süreçlerini destekleyebileceği ve kronik hastalıkların gelişimine zemin hazırlayabileceği düşünülmektedir (Asensi ve ark., 2023). Ultra-işlenmiş gıda tüketiminin; C-reaktif protein, interlökinler ve tümör nekroz faktör-alfa (TNF- α) dahil olmak üzere inflamatuvar belirteçlerin seviyelerindeki artışla ilişkili olduğu saptanmıştır (Wiss ve LaFata, 2024). Söz konusu tablonun, bağırsak mikrobiyotasındaki bozulma ve takiben gastrointestinal bariyerin geçirgenleşmesi sonucu meydana gelen sistemik inflamatuvar yanıtlarla bağlantılı olabileceği öne sürülmektedir (Wiss ve LaFata, 2024). UİG ağırlıklı beslenmenin, inflamasyonla ilişkili mikroorganizmaların çoğalmasına uygun bir bağırsak ortamı oluşturabileceği belirtilmiştir (Crimarco ve ark., 2021). Gıda matrisindeki modifikasyonların, lif ve yağ içeriğini değiştirerek mikrobiyota kompozisyonunu ve bakteri-konak etkileşimlerini etkileyebileceği bildirilmiştir (Crimarco ve ark., 2021). Çalışmalar, UİG'lerin mikrobiyal çeşitliliği azaltabileceğine, *Akkermansia muciniphila* ve *Faecalibacterium prausnitzii* gibi sağlığa faydalı bakterilerin seviyelerini düşürebileceğine işaret etmektedir; bu durumun pro-inflamatuvar mikroorganizmaların artışına ve bağırsak disbiyozuna katkıda bulunabileceği savunulmaktadır (Rondinella ve ark., 2025). Ayrıca UİG'lerde bulunan emülgatörler, koruyucular, tatlandırıcılar ve renklendiriciler gibi endüstriyel katkı maddelerinin de bağırsak bütünlüğü ve mikrobiyom üzerinde olumsuz potansiyel etkiler gösterebileceği rapor edilmiştir (Whelan ve ark., 2024).

UİG tüketimini belirleyen psikolojik ve sosyal etkenler

UİG'lerin bağımlılık potansiyeli

Ultra-işlenmiş gıdaların yüksek şeker, doymuş yağ ve tuz içerikleri nedeniyle "hiperlezzetli" nitelikte olması, aşırı yeme davranışı ve yüksek enerji alımı ile ilişkilendirilmektedir (Dai ve ark., 2024). Bu durum, bireyin potansiyel zararlarını bilmesine rağmen tüketmeye devam ettiği "gıda bağımlılığı" benzeri davranışların psikolojik bir bileşeni olarak tanımlanmaktadır (Meseri ve Akanalçı, 2020). Literatürde "ultra-işlenmiş gıda bağımlılığı" kavramı, olumsuz sağlık sonuçlarına rağmen yüksek miktarda ve kompulsif tüketimle karakterize edilmektedir (Leary ve ark., 2021). Bazı araştırmacılar, yüksek oranda işlenmiş gıdaların, tütün ürünleri için belirlenen bağımlılık kriterlerini karşılayabilecek özellikler taşıdığını öne sürmektedir (Gearhardt ve DiFeliceantonio, 2022). Rafine karbonhidrat ve eklenmiş yağ açısından zengin bu gıdaların, yüksek derecede "ödüllendirici" bulunarak kompulsif tüketime zemin hazırlayabileceği belirtilmiştir (Gearhardt ve ark., 2023). Ultra-işlenmiş gıda bağımlılığının biyopsikolojik temellerinin, vücut ağırlığı yönetimi üzerinde negatif etkilere sahip olabileceği düşünülmektedir (LaFata ve ark., 2024). Yale Gıda Bağımlılığı Ölçeği gibi araçlar, bu durumun değerlendirilmesinde kullanılmakta (Thompson ve Thaw, 2024) ve obezite mücadelesinde bireyselleştirilmiş yaklaşımlar ile halk sağlığı stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Zhang ve ark., 2021). Ancak, "gıda bağımlılığı" kavramının geçerliliği konusunda farklı görüşler de mevcuttur (Hebebrand ve Gearhardt, 2020). Bazı araştırmacılar; gıdanın yaşamsal olması, ödül sistemini doğrudan aktive etmemesi (Passeri ve ark., 2023) ve yeme davranışının karmaşık biyopsikososyal faktörlerle ilişkili olması (Torun ve İçen, 2024) nedeniyle, UİG'lere yönelik kontrol kaybının "bağımlılık" yerine "yeme davranışı bozukluğu" veya "kompulsif yeme" olarak tanımlanmasının daha uygun olabileceğini savunmaktadır (Hebebrand ve Gearhardt, 2020).

Yaşam boyu sosyo-demografik belirleyiciler

Bireylerin veya hane halklarının sosyoekonomik durumu, daha fazla UİG tüketimiyle ilişkili önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Crimarco ve ark., 2021). Ancak, bu ilişkinin ülkelerin gelir düzeyine göre değişkenlik gösterebileceği bildirilmiştir (Crimarco ve ark., 2021). Yapılan çalışmalarda, düşük sosyoekonomik statü ve eğitim düzeyine sahip bireylerde UİG tüketiminin daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir (Dicken ve ark., 2023). UİG'lerin genellikle daha uygun fiyatlı, kolay

ulaşılabilir ve daha uzun raf ömrüne sahip olmasından dolayı, özellikle düşük gelirli gruplarda daha fazla tüketildiği düşünülmektedir (Çelik ve ark., 2025; Williams, 2024).

Ekonomik ve erişilebilirlik faktörlerinin, sağlıklı seçeneklere ulaşımın kısıtlı olduğu düşünülen durumlarda UİG'leri tüketici algısında "kaçınılmaz" bir tercih haline geldiği öne sürülmektedir (Wiss ve LaFata, 2024). Tüketicilerin, hangi gıdaların ultra-işlenmiş kategorisine dahil edildiği konusunda bilgi eksikliği yaşayabildiği de belirtilmiştir. Bazı yaygın temel gıdaların işlenmemiş olarak algılanabildiği ve bunların “abur cubur” ile aynı kategoride görülmeyebileceği rapor edilmiştir (Robinson ve ark., 2024).

-Çocuklarda ve ergenlerde riskler ve tüketim örüntüleri: Çocukluk ve ergenlikte yoğun ultra-işlenmiş gıda tüketimi, yetişkinlikteki sağlık riskleri için önemli bir zemin oluşturabileceği vurgulanmaktadır (Crimarco ve ark., 2021). Küresel olarak, çocuk ve ergenlerin günlük enerji alımlarının önemli bir kısmı UİG'lerden sağlanmaktadır (örneğin, ABD'de üçte ikisinden fazlası (Crimarco ve ark., 2021), Brezilya'da ergenlerin yarısı (Gonçalves ve ark., 2023)).

Tercihler yaş gruplarına göre farklılaşmakla birlikte (genç yetişkinlerde "fast food", küçük çocuklarda paketli kekler gibi); artan enerji gereksinimleri, akran etkisi, yemek hazırlama kısıtlılıkları ve ürünlerin ekonomik erişilebilirliğinin tüketimi etkilediği belirtilmiştir (Çelik ve ark., 2025). UİG tüketimi, çocuklarda vitamin ve mineral yetersizlikleri (García-Blanco ve ark., 2023) ile aşırı kilo, obezite ve dislipidemi gibi metabolik sorunlarla ilişkilidir (Silva ve ark., 2024).

Türkiye'de UİG'lerin çocuk ve ergen beslenmesindeki yeri, önemli bir halk sağlığı konusu olarak ele alınmaktadır. Ülke genelinde yapılan araştırmalar, okul çağı çocuk ve ergenlerde UİG yaygınlığı ile obezite prevalansı arasındaki ilişkiye işaret etmektedir (Okyar ve ark., 2023; Yardım ve ark., 2020). Örneğin, ilkokul öğrencilerinin dörtte birinin, ortaokul öğrencilerinin üçte birinin ve lise öğrencilerinin beşte birinin obez veya fazla kilolu olduğu rapor edilmiştir (Yardım ve ark., 2020). Çocukların kahvaltı yapma alışkanlığının düşük olabildiği, okulda simit ve bisküvi gibi UİG'leri tüketebildiği ve meyve-sebze alımının yetersiz kalabildiği belirlenmiştir (Kabasakal ve ark., 2020). İstanbul'da 11-13 yaş ergenlerin %58'inin hazır yemek ürünlerini tercih etmesi ve yetersiz besin ögesi alımı

(Can ve Özpınar, 2023), çocuk ve ergenlere yönelik ambalajlı gıdaların yüksek enerji, yağ, şeker ve sodyum içeriğine sahip olduğunu çalışmalarla desteklemektedir (Karataş ve Küşümler, 2022; Yılmaz, 2022).

UİG tüketimi ve kronik hastalık riski

Aşağıdaki tablo, ultra-işlenmiş gıda tüketimi ile çeşitli kronik hastalıklar arasındaki bağlantıları, ilişkili mekanizmaları ve literatürdeki temel bulguları özetlemektedir:

Tablo 1. UİG tüketimi ve kronik hastalık riski

Hastalık/Durum	UİG Tüketimi ile İlişkili Temel Bulgular	İlişkili Mekanizmalar
Kardiyovasküler Hastalıklar	UİG tüketimindeki %10'luk artış KVVH riskinde %12 artışla ilişkili	Dislipidemi, hipertansiyon, inflamasyon, oksidatif stres
Tip 2 Diyabet	Pozitif ilişki, hiperglisemik etki	İnsülin direnci, katkı maddeleri, bağırsak mikrobiyotası değişimi
Kanser	Artan insidans ve mortalite	Genotoksisite, inflamatuvar mikroortamlar, yapay tatlandırıcılar
Metabolik Sendrom	Güçlü pozitif korelasyon, UİG tüketenlerde %90 daha yüksek risk	Aşırı kilo/obezite, yüksek bel çevresi, düşük HDL-kolesterol
Depresyon	Anlamli pozitif ilişki	İnflamatuvar süreçler, beslenme davranışı, nörotransmitter bozuklukları
Tüm Nedenlere Bağlı Mortalite	%10'luk UİG artışı tüm nedenlere bağlı mortalite riskinde %10 artışla ilişkili	Çeşitli kronik hastalıklar ve yaşam tarzı faktörleri

Kardiyovasküler hastalıklar ve tip 2 diyabet ilişkisi

Epidemiyolojik kanıtlar, UİG tüketimindeki her %10'luk artışın kardiyovasküler hastalıklar (KVVH) riskinde %12'lik bir artışla ilişkili bulunmuştur (Babalola ve ark., 2025). UİG'ler, KVVH için ana risk faktörleri olan dislipidemi, hipertansiyon ve obezite prevelansındaki artışla ilişkilendirilmektedir (Babalola ve ark., 2025). Ayrıca, kronik UİG tüketimi sistemik inflamasyon, bağırsak mikrobiyota disbiyozu, endotel

disfonksiyonu ve oksidatif stres gibi patofizyolojik mekanizmalarla ilişkili bulunmuştur (Babalola ve ark., 2025). Bu bağlamda, UİG tüketiminin metabolik sendrom (MetS) parametreleri ile de pozitif korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. (Canhada ve ark., 2022).

Meta-analizler, ultra-ılnemiş gıda tüketimi ile tip 2 diyabet (T2DM) arasında pozitif bir ilişki olduğunu saptamıştır (Dai ve ark., 2024; Vitale ve ark., 2023). UİG'lerin, işlenmemiş veya minimal işlenmiş gıdalara göre daha fazla hiperglisemik olduğu yapılan çalışmalarla desteklenmektedir (Dai ve ark., 2024). UİG'lerde yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri (örn. karragenan) ve sentetik ambalaj maddeleri (örn. bisfenol A), açlık kan şekerini yükseltme ve insülin direncini artırma potansiyeline sahip olabileceği ve diyabet riskiyle ilişkili bulunabileceği tartışılmaktadır (Dai ve ark., 2024).

Kanser, metabolik sendrom ve mortalite riski

UİG tüketimi sadece kardiyometabolik hastalıklarla değil, aynı zamanda kanser, metabolik sendrom ve genel mortalite riski ile de ilişkilendirilmiştir. Kanser insidansı ve mortalite riskindeki artışın, yoğun UİG tüketimi ile bağlantılı olabileceği bildirilmiştir (Babalola ve ark., 2025). Özellikle kolorektal kanser, akciğer kanseri, prostat kanseri ve meme kanseri gibi bazı kanser türlerinde UİG tüketiminin risk artışına neden olduğuna işaret eden kanıtlar mevcuttur (Pu ve ark., 2023). Bir çalışmada, UİG içeriğinin %10 artmasının yumurtalık kanseri görülme sıklığını %19, yumurtalık kanseri mortalitesini ise %30 artırdığını rapor edilmiştir (Dai ve ark., 2024). UİG'lerdeki yapay tatlandırıcılar ve sodyum nitrit gibi katkı maddelerinin, genotoksisite ve inflamatuvar mikroortamların teşviki yoluyla kanserojenizle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Babalola ve ark., 2025).

Metabolik sendrom ile UİG tüketimi güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir (Chen ve ark., 2020). Metabolik sendromu olan bireylerin ortalama %52 UİG tükettiği ve %72.6'dan fazla UİG tüketenlerin metabolik sendrom geliştirme olasılığının %90 daha yüksek olduğu saptanmıştır (Canhada ve ark., 2022). UİG tüketimi; artmış bel çevresi, düşük HDL-kolesterol seviyeleri ve bozulmuş glukoz metabolizması gibi metabolik sendrom bileşenleri ile ilişkilendirilmiştir (Crimarco ve ark., 2021).

UİG tüketiminin tüm nedenlere bağlı mortalite riskini arttırdığı saptanmıştır. Her %10'luk UİG tüketimi artışının, tüm nedenlere bağlı

mortalite riskinde %10'luk artışla ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Liang ve ark., 2025). Ultra-işlenmiş gıda tüketimi ile mortalite, kanser, zihinsel, solunum, kardiyovasküler, gastrointestinal ve metabolik sağlık dahil olmak üzere 32 farklı sağlık parametresi arasında doğrudan bağlantılar olduğu belirtilmiştir (Lane ve ark., 2024).

UİG ve depresyon arasındaki bağlantı

UİG tüketimi, zihinsel sağlık, özellikle de depresyon riski ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmektedir. Güncel bir meta-analiz, UİG tüketimi ile depresyon arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Dai ve ark., 2024). Prospektif kohort çalışmaları, UİG tüketimi ile depresyonun ortaya çıkma riski arasında pozitif bir ilişki sergilediğini belirlemiştir (Samuthpongton ve ark., 2023). UİG'lerin zihinsel sağlık sorunlarına yol açabileceği mekanizmalar arasında inflamatuvar süreçler, beslenme davranışı üzerindeki olumsuz etkiler ve nörotransmitter fonksiyonlarındaki bozulmalar yer almaktadır (Lutz ve ark., 2025). Stres, kaygı ve depresyon gibi ruh hali bozuklukları olan kişilerin genellikle UİG'leri tercih edebileceği de belirtilmiştir, bunun da bir tür kısır döngüye işaret edebileceği literatürde tartışılmaktadır (Çelik ve ark., 2025).

Çözüm ve müdahale stratejileri

Ultra-işlenmiş gıda tüketim kalıplarını ve sağlık etkilerini anlamak için sürekli ve kapsamlı kamu sağlığı gözlemi, pazar penetrasyonu, tüketim sıklığı ve sosyoekonomik ilişkiler gibi verilerin düzenli analizini gerektirmektedir (Principato ve ark., 2024). UİG'lerin yüksek şeker, tuz ve yağ içeriğini açıkça belirten ön yüz etiketleme sistemlerinin benimsenmesinin, tüketicilerin bilinçli seçimler yapmasını kolaylaştırabileceği düşünülmektedir. (Pereira ve ark., 2023). Bu tür politikaların, yalnızca bireysel tüketim alışkanlıklarını değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda gıda endüstrisini daha sağlıklı ürünler geliştirmeye teşvik ederek geniş çaplı bir dönüşüm potansiyeli taşıdığı savunulmaktadır (Baker ve ark., 2020).

Eğitim ve davranışsal müdahaleler de çözümün önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Tüketicileri UİG'lerin potansiyel zararları konusunda bilgilendiren ve sağlıklı alternatiflere yönlendiren kampanyalar ile uzman beslenme rehberliği anlamlı değişiklikler sağlayabilir (Koios ve ark., 2022). Akdeniz diyeti gibi beslenme modelleri, taze sebze, meyve, tam tahıllar ve sağlıklı yağlar açısından zengin içeriğiyle UİG tüketimini

azaltmada etkili bir yaklaşım olabileceği değerlendirilmektedir (Wolde ve ark., 2020). Ayrıca, evde yemek hazırlama sıklığının artırılması ve zaman kısıtlılığına karşı pratik yemek tarifleri sunulmasının, beslenme okuryazarlığı ile birleştiğinde bireylerin sağlıklı gıda hazırlama becerilerini geliştirebileceği öne sürülmüştür. (Hall, 2020). Bilinçli yeme davranışını destekleyen farkındalık programlarının da UİG tüketimini azaltmada tamamlayıcı bir rol oynayabileceği literatürde yer almaktadır (Robinson ve ark., 2024).

Sonuç

Bu derleme, ultra-işlenmiş gıdaların yarattığı “beslenme paradoksu”nun üstesinden gelmek için yalnızca bireysel çabaların yeterli olmadığını; aynı zamanda gıda sistemlerinde köklü değişikliklere ve güçlü halk sağlığı politikalarına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, UİG'lerin “beslenme paradoksu” çerçevesinde biyolojik, davranışsal ve toplumsal etkilerini detaylı bir şekilde ele alarak literatüre bütüncül bir bakış açısı sunmuştur. Elde edilen bulgular ışığında; UİG tüketiminin sadece besin ögesi dengesizliği değil, aynı zamanda hormonal mekanizmalar, bağırsak mikrobiyotası ve psikolojik yeme davranışları üzerinde karmaşık etkileri olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmaların, özellikle beslenme ve psikopatoloji arasındaki kesişim noktalarına odaklanarak, obezite ve kronik hastalıklarla mücadelede daha çok boyutlu ve sürdürülebilir çözümler geliştirmesi büyük önem taşımaktadır.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik kurul beyanı

Bu çalışma derleme niteliğinde olup herhangi bir insan veya hayvan deneyi içermemektedir. Bu nedenle etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Asensi, M. T., Napoletano, A., Sofi, F. ve Dinu, M., (2023). Low-grade inflammation and ultra-processed foods consumption: A review. *Nutrients*, 15, 1546. doi: 10.3390/nu15061546
- [2] Babalola, O. O., Akinnusi, E., Ottu, P. O., Bridget, K., Oyubu, G., Ajiboye, S. A., ... Iwaloye, O., (2025). The impact of ultra-processed foods on cardiovascular diseases and cancer: Epidemiological and mechanistic

insights. *Aspects of Molecular Medicine*, 100072. doi: 10.1016/j.amolm.2025.100072

[3] Baker, P., Machado, P., Santos, T. M., Sievert, K., Backholer, K., Hadjidakou, M., ... Lawrence, M., (2020). Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. *Obesity Reviews*, 21, e13126. doi: 10.1111/obr.13126

[4] Braesco, V., Souchon, I., Sauvant, P., Haurogné, T., Maillot, M., Féart, C. ve Darmon, N., (2022). Ultra-processed foods: how functional is the NOVA system? *European Journal of Clinical Nutrition*, 76, 1245-1253. doi: 10.1038/s41430-022-01099-1

[5] Canhada, S., Vigo, Á., Luft, V. C., Levy, R. B., Matos, S. M. A., Molina, M. del C. B., ... Schmidt, M. I., (2023). Ultra-processed food consumption and increased risk of metabolic syndrome in adults: The ELSA-Brasil. *Diabetes Care*, 46, 369-376. doi: 10.2337/dc22-1505

[6] Çelik, Ö. M., Güler, Ü. ve Ekici, E. M., (2025). Factors affecting ultra-processed food consumption: Hedonic hunger, food addiction, and mood. *Food Science & Nutrition*, 13, e70248. doi: 10.1002/fsn3.70248

[7] Chen, X., Zhang, Z., Yang, H., Qiu, P., Wang, H., Wang, F., ... Nie, J., (2020). Consumption of ultra-processed foods and health outcomes: A systematic review of epidemiological studies. *Nutrition Journal*, 19, 86. doi: 10.1186/s12937-020-00604-1

[8] Crimarco, A., Landry, M. J. ve Gardner, C. D., (2022). Ultra-processed foods, weight gain, and co-morbidity risk. *Current Obesity Reports*, 11, 80-92. doi: 10.1007/s13679-021-00460-y

[9] Dai, S., Wellens, J., Yang, N., Li, D., Wang, J., Wang, L., ... Li, X., (2024). Ultra-processed foods and human health: An umbrella review and updated meta-analyses of observational evidence. *Clinical Nutrition*, 43, 1386-1402. doi: 10.1016/j.clnu.2024.04.016

[10] Dailey-Chwalibóg, T., Freemark, M., Roberfroid, D., Kemokai, I. A., Mostak, M. R., Alim, M., ... Guesdon, B., (2020). Signification clinique du diagnostic anthropométrique de la malnutrition aiguë sévère de l'enfant : résultats préliminaires de l'étude multicentrique OptiDiag et implications en terme de santé publique. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 34, 86-95. doi: 10.1016/j.nupar.2020.02.425

- [11] Dicken, S. J. ve Batterham, R. L., (2022). The role of diet quality in mediating the association between ultra-processed food intake, obesity and health-related outcomes: A review of prospective cohort studies. *Nutrients*, 14, 23. doi: 10.3390/nu14010023
- [12] Dicken, S. J. ve Batterham, R. L., (2024). Ultra-processed food and obesity: What is the evidence? *Current Nutrition Reports*, 13, 23-38. doi: 10.1007/s13668-024-00517-z
- [13] Dicken, S. J., Qamar, S. ve Batterham, R. L., (2024). Who consumes ultra-processed food? A systematic review of sociodemographic determinants of ultra-processed food consumption from nationally representative samples. *Nutrition Research Reviews*, 37, 416-461. doi: 10.1017/s0954422423000240
- [14] Eaton, J., (2020). *Pillars of the nutrition transition: The global impacts of ultra-processed foods and beverages on overweight and obesity and national nutrient supplies*. (Doktora tezi), Johns Hopkins Üniversitesi, Baltimore. doi: 10.7936/kgvt-v980
- [15] Elizabeth, L., Machado, P., Zinöcker, M. K., Baker, P. ve Lawrence, M., (2020). Ultra-processed foods and health outcomes: A narrative review. *Nutrients*, 12, 1955. doi: 10.3390/nu12071955
- [16] García-Blanco, L., de la O, V., Santiago, S., Pouso, A., Martínez-González, M. Á. ve Martín-Calvo, N., (2023). High consumption of ultra-processed foods is associated with increased risk of micronutrient inadequacy in children : The SENDO project. *European Journal of Pediatrics*, 182, 3537-3547. doi: 10.1007/s00431-023-05026-9
- [17] Gearhardt, A. N., Bueno, N. B., DiFeliceantonio, A. G., Roberto, C. A., Jiménez-Múrcia, S. ve Fernández-Aranda, F., (2023). Social, clinical, and policy implications of ultra-processed food addiction. *BMJ*, 383, e075354. doi: 10.1136/bmj-2023-075354
- [18] Gearhardt, A. N. ve DiFeliceantonio, A. G., (2023). Highly processed foods can be considered addictive substances based on established scientific criteria. *Addiction*, 118, 589-601. doi: 10.1111/add.16065
- [19] Gonçalves, H. V. B., Batista, L. S., Amorim, A. L. B. de ve Bandoni, D. H., (2023). Association between consumption of ultra-processed foods and sociodemographic characteristics in Brazilian adolescents. *Nutrients*, 15, 2027. doi: 10.3390/nu15092027

- [20] Hall, E., (2020). Give convenience foods a healthy makeover. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 52, 1079-1080. doi: 10.1016/j.jneb.2020.03.008
- [21] Hebebrand, J. ve Gearhardt, A. N., (2021). The concept of "food addiction" helps inform the understanding of overeating and obesity: NO. *American Journal of Clinical Nutrition*, 113, 268-273. doi: 10.1093/ajcn/nqaa344
- [22] Jung, S., Kim, J. Y. ve Park, S., (2024). Eating patterns in Korean adults, 1998–2018: Increased energy contribution of ultra-processed foods in main meals and snacks. *European Journal of Nutrition*, 63, 279-293. doi: 10.1007/s00394-023-03258-x
- [23] Kabasakal, E., Arslan, Ü., Üner, S., Ünlü, H. K., Bilir, N., Yardim, M. S., ... Özcebe, H., (2020). Çocuklar için sağlıklı yeme öz-yeterlik ölçeğinin Türkçe geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Turkish Journal of Pediatric Disease*, 15, 72-79. doi: 10.12956/tchd.556078
- [24] Karataş, B. ve Küşümler, A. S., (2021). Assessment of processed meat consumption in children (6-10 years old): Sample of an elementary school in Istanbul, Turkey. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 26, 1332. doi: 10.14306/renhyd.26.s2.1332
- [25] Koios, D., Machado, P. ve Lacy-Nichols, J., (2022). Representations of ultra-processed foods: A global analysis of how dietary guidelines refer to levels of food processing. *International Journal of Health Policy and Management*. doi: 10.34172/ijhpm.2022.6443
- [26] LaFata, E. M., Allison, K. C., Audrain-McGovern, J. ve Forman, E. M., (2024). Ultra-processed food addiction: A research update. *Current Obesity Reports*, 13, 214-226. doi: 10.1007/s13679-024-00569-w
- [27] Lane, M. M., Gamage, E., Du, S., Ashtree, D. N., McGuinness, A. J., Gauci, S., ... Marx, W., (2024). Ultra-processed food exposure and adverse health outcomes: Umbrella review of epidemiological meta-analyses. *BMJ*, 384, e077310. doi: 10.1136/bmj-2023-077310
- [28] Leary, M., Pursey, K., Verdejo-García, A. ve Burrows, T., (2021). Current intervention treatments for food addiction: A systematic review. *Behavioral Sciences*, 11, 80. doi: 10.3390/bs11060080
- [29] Leite, F. H. M., Khandpur, N., Souza, G. C. R. M. de, Anastasiou, K., Baker, P., Lawrence, M. ve Monteiro, C. A., (2022). Ultra-processed foods

should be central to global food systems dialogue and action on biodiversity. *BMJ Global Health*, 7, e008269. doi: 10.1136/bmjgh-2021-008269

[30] Liang, S., Zhou, Y., Zhang, Q., Yu, S. ve Wu, S., (2025). Ultra-processed foods and risk of all-cause mortality: An updated systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Systematic Reviews*, 14, 53. doi: 10.1186/s13643-025-02800-8

[31] Louie, J. C. Y., (2025). Are all ultra-processed foods bad? A critical review of the NOVA classification system. *Proceedings of the Nutrition Society*, 1-11. doi: 10.1017/s0029665125100645

[32] Lutz, M., Arancibia, M., Morán, J. ve Manterola, M., (2025). Ultraprocessed foods and neuropsychiatric outcomes: Putative mechanisms. *Nutrients*, 17, 1215. doi: 10.3390/nu17071215

[33] Medin, A. C., Gulowsen, S. R., Berget, I., Grini, I. S. ve Varela, P., (2025). Definitions of ultra-processed foods beyond NOVA: A systematic review and evaluation. *Food & Nutrition Research*, 69, 12217. doi: 10.29219/fnr.v69.12217

[34] Meseri, R. ve Akanalçı, C., (2020). Food addiction: A key factor contributing to obesity? *Journal of Research in Medical Sciences*, 25, 71. doi: 10.4103/jrms.jrms_971_19

[35] Monteiro, C. A., Steele, E. M. ve Cannon, G., (2024). Impact of food ultra-processing on cardiometabolic health: Definitions, evidence, and implications for dietary guidance. *Journal of the American Heart Association*. doi: 10.1161/jaha.124.035986

[36] Okyar, S., Tosun, Ö., Bezdegümel, E., Küçükakça, B. N., Erattır, A., Karahan, H., ... Ekerbiçer, H. Ç., (2022). Ultra işlenmiş gıdaların yaygın etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 32, 68-83. doi: 10.17827/aktd.1123330

[37] Passeri, A., Municchi, D., Cavalieri, G., Babicola, L., Ventura, R. ve Segni, M. D., (2023). Linking drug and food addiction: An overview of the shared neural circuits and behavioral phenotype. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 17, 1240748. doi: 10.3389/fnbeh.2023.1240748

[38] Pereira, T. N., Bortolini, G. A. ve Campos, R. de F., (2023). Barriers and facilitators related to the adoption of policies to reduce ultra-processed foods consumption: A scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 4729. doi: 10.3390/

ijerph20064729

- [39] Principato, L., Pice, G. ve Pezzi, A., (2024). Understanding food choices in sustainable healthy diets – A systematic literature review on behavioral drivers and barriers. *Environmental Science & Policy*, 163, 103975. doi: 10.1016/j.envsci.2024.103975
- [40] Pu, J.-Y., Xu, W., Zhu, Q., Sun, W., Hu, J., Cai, D., ... Zhong, G., (2023). Prediagnosis ultra-processed food consumption and prognosis of patients with colorectal, lung, prostate, or breast cancer: A large prospective multicenter study. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1258242. doi: 10.3389/fnut.2023.1258242
- [41] Ranjbar, M., Avini, N. A. ve Shab-Bidar, S., (2024). The association between ultra-processed food consumption and adiposity indexes in adults living in Tehran: A dose-response analysis within a cross-sectional study. *Research Square*. doi: 10.21203/rs.3.rs-5694977/v1
- [42] Robinson, E., Cummings, J. R., Gough, T., Jones, A. ve Evans, R., (2024). Consumer awareness, perceptions and avoidance of ultra-processed foods: A study of UK adults in 2024. *Foods*, 13, 2317. doi: 10.3390/foods13152317
- [43] Román, S., Campos-Medina, L. ve Leal-Mercado, L., (2024). Personalized nutrition: The end of the one-diet-fits-all era. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1370595. doi: 10.3389/fnut.2024.1370595
- [44] Rondinella, D., Raoul, P., Valeriani, E., Venturini, I., Cintoni, M., Severino, A., ... Ianaro, G., (2025). The detrimental impact of ultra-processed foods on the human gut microbiome and gut barrier. *Nutrients*, 17, 859. doi: 10.3390/nu17050859
- [45] Samuthpongton, C., Nguyen, L. H., Okereke, O. I., Wang, D. D., Song, M., Chan, A. T. ve Mehta, R. S., (2023). Consumption of ultraprocessed food and risk of depression. *JAMA Network Open*, 6, e2334770. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.34770
- [46] Silva, C. G., Saunders, C., Rangel, L. F. da C., Matos, A. A. de, Teixeira, F. M. ve Ribeiro, B. G., (2024). Impact of ultra-processed foods on excess weight and dyslipidemia in schoolchildren. *Nutrition*, 131, 112638. doi: 10.1016/j.nut.2024.112638
- [47] Thompson, S. P. ve Thaw, A. K., (2024). *The badly behaving brain: How ultra-processed food addiction thwarts sustained weight loss.*

IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.1004428

[48] Torun, Y. T. ve İçen, S., (2021). Food addiction in children and adolescents. *Çocuk ve Gençlik Ruh Sağlığı Dergisi*, 31, 103-114. doi: 10.4274/tjcamh.galenos.2021.44227

[49] Trumbo, P. R., Bleiweiss-Sande, R., Campbell, J. K., Decker, E. A., Drewnowski, A., Erdman, J. W., ... Yu, L., (2024). Toward a science-based classification of processed foods to support meaningful research and effective health policies. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1389601. doi: 10.3389/fnut.2024.1389601

[50] Visioli, F., Marangoni, F., Fogliano, V., Rio, D. D., Martínéz, J. A., Kuhnle, G., ... Poli, A., (2023). The ultra-processed foods hypothesis: A product processed well beyond the basic ingredients in the package. *Nutrition Research Reviews*, 36, 340-363. doi: 10.1017/s0954422422000117

[51] Vitale, M., Costabile, G., Testa, R., D'Abbronzio, G., Nettore, I. C., Macchia, P. E. ve Giacco, R., (2023). Ultra-processed foods and human health: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Advances in Nutrition*, 15, 100121. doi: 10.1016/j.advnut.2023.09.009

[52] Whelan, K., Bancil, A., Lindsay, J. O. ve Chassaing, B., (2024). Ultra-processed foods and food additives in gut health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 21, 406-427. doi: 10.1038/s41575-024-00893-5

[53] Williams, D., (2024). Ultra-processed foods and the strategic manipulation of our evolved motivational tendencies. *Preventive Medicine Reports*, 47, 102902. doi: 10.1016/j.pmedr.2024.102902

[54] Wiss, D. A. ve LaFata, E. M., (2024). Ultra-processed foods and mental health: Where do eating disorders fit into the puzzle? *Nutrients*, 16, 1955. doi: 10.3390/nu16121955

[55] Wolde, H. F., Derso, T., Biks, G. A., Yitayal, M., Ayele, T. A., Gelaye, K. A., ... Atnafu, A., (2020). High hidden burden of diabetes mellitus among adults aged 18 years and above in urban Northwest Ethiopia. *Journal of Diabetes Research*, 2020, 9240398. doi: 10.1155/2020/9240398

[56] Yardım, N., Ilgaz, S., Aydın, F. B. ve Kaya, M., (2020). Ulusal yayın yapan bazı uluslararası çocuk televizyon kanallarında çocuklara yönelik gıda ve içecek reklamlarının Sağlık Bakanlığı besin profili rehberine göre değerlendirilmesi. *Türk Kardioloji Derneği Arşivi*, 48, 278-285.

[57] Zhang, H., Tong, T., Gao, Y., Liang, C., Yu, H., Li, S., ... Wang, L., (2021). Translation of the Chinese version of the modified Yale Food Addiction Scale 2.0 and its validation among college students. *Journal of Eating Disorders*, 9, 86. doi: 10.1186/s40337-021-00471-z

İnternet Kaynakları

Can, T. E. ve Özpınar, H., (2023). İstanbul İlinde Bir Ortaöğretim Okulundaki 11-13 Yaş Arası Çocukların Beslenme Durumlarının Sağlıklı Yeme İndeksi İle Değerlendirilmesi. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/arsagbil/issue/80873/1319851>, (Erişim tarihi: 02 Ocak 2026).

Çağırın Yılmaz, F., (2022). Çocuk ve adölesanları hedef alan besinlerin içeriklerinin incelenmesi. *Sağlık Bilimleri ve Yaşam Dergisi*, 6(1), 1-15. <https://izlik.org/JA93UR68KH>, (Erişim tarihi: 15 Ocak 2026).

Knowledge and practices of students receiving cooking education about food safety: The example of Istanbul province

Hayrettin MUTLU^{*1}

Murat MUTLU TOKAY²

Zeynep ERCAN KARAKAYA³

Geliş tarihi / Received: 08.01.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.01.2026

Kabul tarihi / Accepted: 09.02.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i73008

Abstract

Nutrition is the most basic need for a healthy life. Healthy food consumption depends on ensuring food safety. Food safety encompasses processes that protect food from physical, biological, and chemical hazards and prevent loss of nutritional value at all stages, from production to the table. In this cross-sectional study, a face-to-face survey was administered to 348 students (male: 183; female: 165) enrolled in three high schools of tourism and hotel management in Istanbul. The overall knowledge level about food safety was higher among female students (14.553.44) than among male students (13.57±3.55) ($p < 0.05$). The total food safety knowledge level scores for the classes were 13.37±3.50, 14.64±3.60, and 14.22±3.70 in the 10th, 11th, and 12th grades, respectively. A significant increase was detected from the 10th to the 11th grade, whereas the 12th-grade scores remained comparable to those of the 11th grade ($p < 0.05$). The results indicate the need to expand and sustain food safety education. In conclusion, the findings demonstrate that food safety education is a crucial tool for supporting access to healthy, safe food.

Keywords: Food safety, Food hygiene, Cooking, Food safety knowledge, public health, Culinary Education,

^{1*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, hayrettinmutlu@gmail.com, ORCID:0000-0002-6560-5831

² İstanbul Gelişim University, İstanbul Gelişim Vocational School, muratmutlutokay@gmail.com, ORCID:0000-0003-4040-6921.

³ İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, diyetizeynepyazar@gmail.com, ORCID:0000-0002-9958-5728.

Aşçılık eğitimi alan öğrencilerin gıda güvenliğine ilişkin bilgi ve uygulamaları: İstanbul ili örneği

Öz

Beslenme, sağlığın korunması ve geliştirilmesinde temel bir belirleyici olup sağlıklı beslenmenin sürdürülebilirliği gıda güvenliğinin etkin biçimde sağlanmasına bağlıdır. Gıda güvenliği (gıdaların fiziksel, biyolojik ve kimyasal tehlikelerden korunmasını, üretimden tüketime uzanan tüm aşamalarda besin değerinin muhafazasını ve güvenli tüketimin temin edilmesini amaçlayan uygulama ve süreçler bütünü) ifade eder. Bu kesitsel araştırmada, İstanbul'da bulunan üç farklı turizm ve otelcilik lisesinde aşçılık eğitimi alan toplam 348 öğrenci (183 erkek, 165 kadın) ile yüz yüze anket yöntemi kullanılarak veri toplanmıştır. Bulgular, genel gıda güvenliği bilgi düzeyi puanlarının kadın öğrencilerde ($14,55 \pm 3,44$) erkek öğrencilere ($13,57 \pm 3,55$) kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Sınıflara göre toplam gıda güvenliği bilgi düzeyi puanları 10., 11. ve 12. sınıflarda sırasıyla $13,37 \pm 3,50$, $14,64 \pm 3,60$ ve $14,22 \pm 3,70$ olarak belirlenmiştir. 10. sınıftan 11. sınıfa geçişte anlamlı bir artış saptanırken, 12. sınıf puanlarının 11. sınıf puanlarına benzer olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Elde edilen sonuçlar, gıda güvenliği eğitiminin yaygınlaştırılmasının ve sürekliliğinin sağlanmasının gerekliliğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular gıda güvenliği eğitiminin sağlıklı ve güvenli gıdaya erişimin desteklenmesinde potansiyel olarak önemli bir rol oynayabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Besin güvenliği, besin hijyeni, aşçılık, gıda güvenliği bilgi düzeyi, halk sağlığı, aşçılık eğitimi,

Introduction

To sustain human life and protect health, it is essential to have access to safe and nutritious food and to consume sufficient, balanced amounts (WHO, 2006; FAO, 2022). Food safety is commonly defined as the assurance that food will not cause harm to consumers when prepared and/or consumed as intended (Codex Alimentarius Commission, 2020). Safe food preserves its nutritional value when prepared properly and does not contain physical, chemical, or microbiological contaminants (Akdoğan & Erol, 2023). Precautions should be taken to address biological, physical, and chemical hazards to ensure the availability of safe food (Pakdel et al., 2023; Michaels et al., 2024). These hazards cause foodborne diseases

and constitute a public health problem in many countries (Levy et al., 2022). Each year worldwide, unsafe food causes an estimated 600 million cases of foodborne diseases and 420,000 deaths, with a substantial share of deaths occurring among children under 5 years of age (WHO, 2015). Foodborne diseases are common in low- and middle-income countries due to inadequate food processing and sanitation practices, inadequate training of food personnel, limited food safety awareness, and deficiencies in regulatory systems (Desye et al., 2023). The WHO has emphasized five essential points in preventing foodborne diseases: keeping foods clean, separating raw and cooked foods, cooking thoroughly, storing foods at safe temperatures, and using safe water and raw materials (WHO, 2006). Food processors and consumers need to apply these key principles to ensure food is handled safely (WHO, 2006).

States and scientists have essential duties in ensuring and maintaining food safety. Legal regulations and research aim to ensure food safety from farm to table, thereby reducing food-related morbidity and mortality rates (Kocaman, 2015). In this context, food safety is supported through the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) system and ISO 22000-based food safety management approaches. In Türkiye, the legislative framework for food safety is primarily based on the Law on Veterinary Services, Plant Health, Food and Feed (Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu [5996 SK], 2010: Madde 21) and related secondary regulations, including the Regulation on Food Hygiene (Gıda Hijyeni Yönetmeliği [GHY], 2011: Madde 11), which sets out hygiene requirements across the food chain and emphasizes risk-based controls aligned with HACCP principles. National studies conducted in Türkiye among culinary/gastronomy students and food service personnel also indicate that food safety knowledge levels may vary across groups and that specific knowledge gaps persist, highlighting the need for structured, continuous training (Tuncer & Akoğlu, 2020; Özcan, 2020; Terkuran, 2021).

Based on this, students who receive cooking education in Tourism and Hotel Management High Schools will soon become the most essential element in the tourism industry. Food safety education provided to these students will significantly enhance the quality and safety of food offered to customers visiting food and beverage businesses. The most critical area for providing food safety education is schools. It is one of the important issues

for students who will receive cooking education and work in the kitchen department or become food producers, offering safe food to consumers. Preventing students from spreading misinformation about food safety will be ensured through the training to be provided. Thus, kitchen students working in hotels and restaurants will be able to reduce risks to human health and prevent foodborne diseases. However, the literature provides relatively limited evidence on food safety knowledge levels among students receiving secondary-level culinary education in Türkiye, and the specific areas requiring further improvement are not always clearly described. This research aims to measure students' knowledge of food safety in secondary school cooking education. This study also aims to determine whether students receive food safety education and the extent of their knowledge in this area.

Materials and methods

This research was conducted in 2020 to determine students' knowledge levels in culinary education regarding food safety. The study was conducted in the city center of Istanbul at the secondary level of culinary education at Küçükçekmece IMKB Hotel Management Vocational High School, Zeytinburnu Hotel Management Vocational High School, and Tuzla Hotel Management Vocational High School. It consists of students in 10th, 11th, and 12th grade. The research universe comprised all 10th–12th-grade students enrolled in culinary programs in the participating schools during the study period. The study sample consists of students enrolled in culinary education programs at three vocational high schools, selected using simple random sampling. For this purpose, eligible student lists were obtained from the relevant school administrations, and students were selected by randomization. The sample consists of 348 students enrolled in a culinary education program. Ethical Permission was obtained from the Gedik University Ethics Committee (2020/03) before the research, and institutional permissions were obtained from the school administrations. Participation was voluntary, and students were informed that they could withdraw at any time without academic or administrative consequences. For students under 18 years of age, written parental/guardian consent was obtained in addition to the students' assent.

Data Collection- The research employed face-to-face interviews to assess the knowledge and practices of 10th-, 11th-, and 12th-grade students receiving training in tourism and hotel management in Istanbul,

specifically regarding food safety. The research data were collected using a questionnaire. This form was prepared to facilitate easy application and was compiled by the researcher from previously prepared similar sources (Erdem, 2014). Before administration, students were briefly informed about the purpose and scope of the study and data confidentiality; the questionnaire was completed anonymously and did not include personally identifiable information. The prepared questionnaire was administered to 348 students, and all completed questionnaires were collected. Accordingly, the questionnaire return rate was determined to be 100%.

Limitations and constraints of the study: This research is limited to secondary school students studying at Küçükçekmece Vocational High School, Zeytinburnu Vocational High School, and Tuzla Hotel Management and Tourism Vocational High School. The research is limited to evaluating questionnaire data on students' food safety knowledge and practices; therefore, the findings reflect self-reported data and cannot be interpreted as a direct observational assessment of behavior. The researcher's financial possibilities limit the research.

Analysis of data- The "SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 25" program was used to evaluate the data obtained in the study and create the tables. Frequency and percentage values were used to present categorical variables (demographic characteristics and question response distributions), and statistical analyses were performed using the Chi-Square (χ^2) test. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

In this part of the research, the distribution of 10th, 11th, and 12th-grade students is presented according to their gender, age, their status of following general information about food safety in visual and written media, and their perception of themselves as sufficient in this regard, as shown in Table 1. of the 348 students who participated in the research, 52.6% were male ($n=183$), 47.4% were female ($n=165$). Of the male students, 58.5% ($n=72$) were in the 10th grade, 42.9% ($n=42$) were in the 11th grade, and 54.3% ($n=69$) were in the 12th grade. of the female students, 41.5% ($n = 51$) were in the 10th grade, 57.1% ($n = 56$) were in the 11th grade, and 45.7% ($n = 58$) were in the 12th grade. It was determined that 5.5% ($n=18$) = 15) of the participants were 15 years old, 47.4% ($n = 124$) were 16 years old, 39.1% ($n = 137$) were

17 years old, and 19.8% (n = 69) were between the ages of 18 and 19. While the rate of students who follow information about food safety in visual and written media is 10.3%, the rate of students who do not follow it is 89.7% (p < . While 41.4% of participants consider their knowledge of food safety sufficient, 58.6% do not (p > 0.05).

Table 1. Demographic information of participants

Variables	10th grade n (%)	11th grade n (%)	12th grade n (%)	Total n, %	χ^2 p
Gender					
Male (n-%)	72(58.5)	42(42.9)	69(54.3)	183(52.6)	p >0.05
Girl(n-%)	51(41.5)	56(57.1)	58(45.7)	165(47.4)	
Total(n-%)	123(100)	98(100)	127(100)	348(100)	
Age					
15(n-%)	18(14.6)	-	-	18(5.5)	* p<0.05
16(n-%)	85(69.1)	39(39.8)	-	124(47.4)	
17(n-%)	15(12.2)	50(51)	72(56.7)	137(39.1)	
18-19(n-%)	5(4.1)	9(9.2)	55(43.3)	69(19.8)	
Total(n-%)	123(100)	98(100)	127(100)	348(100)	
Status of the following general information on food safety in the visual and written media					
Following(n-%)	7(5.7)	16(16.3)	13(10.2)	36(10.3)	$\chi^2 = 0.655$ * p<0.05
Non-follower(n-%)	116(94.3)	82(83.7)	114(89.8)	312(89.7)	
Total(n-%)	123(100)	98(100)	127(100)	348(100)	
Distribution of food safety general information adequacy					
Yes(n-%)	47(38.2)	36(36.7)	61(48)	144(41.4)	$\chi^2 = 3.697$ p >0.05
No	76(61.8)	62(63.3)	66(52)	204(58.6)	
Total(n-%)	123(100)	98(100)	127(100)	348(100)	

Chi-Kare

Participants' general knowledge of food safety was assessed using the questions in Table 2. The participants' responses to food-safety questions, categorized by class level, are shown in Table 3. It was determined that participants' responses to the seventh and tenth questions were significant, resulting in a corresponding increase in

class level ($p < 0.05$). The understanding of cross-contamination related to chopping boards, clothing, and workbenches was assessed among students in the 10th, 11th, and 12th grades. Of the 10th graders, 55.3% responded "yes," 4% said "no," and 40.7% were unsure. Among 11th graders, 72.4% answered "yes," and 4.1% answered "no." In the 12th grade, 71.7% said "yes," while 4.7% said "no." Overall, 66.1% of all students confirmed awareness of cross-contamination.

Regarding damaged utensils, 80.5% of 10th graders responded "yes," 11.4% said "no," and 8.1% were unsure. Among 11th graders, 87.8% answered "yes," while 3.1% said "no." In the 12th grade, 70.9% responded "yes," and 18.9% said "no." Overall, 70.9% of all students recognized that damaged utensils should not be used.

Table 2. General information questions on food safety

Question 1: Food safety protects consumers from health risks.
Question 2: The most sought-after quality feature in food production is safety for health.
Question 3: Hands can be washed in dishwashing sinks in very urgent cases and when necessary.
Question 4: You can continue working after the wounds or cuts on your hand are taped.
Question 5: Some foods can be touched with bare hands if the hands are clean.
Question 6: Broken glass, hair, nails, etc., can be given as examples of biological pollution.
Question 7: Chopping boards, clothes, and workbenches are cross-contamination factors.
Question 8: If the can is bulging, dented, or damaged, it should never be used.
Question 9: Freezing food does not kill bacteria (it just stops their reproduction).
Question 10: Scratched, cracked utensils should not be used in food preparation and service.

Table 3. Distribution of participants' responses to general information questions on food safety

Answers to questions		10th grade (n:123) N(%)	11th grade (n:97) N(%)	12th grade (n:127) N(%)	Total (n:348) N(%)	χ^2	p
Question 1	Yes	94(76.4)	70(71.4)	95(74.8)	259(74.4)	8,307	0.81
	I do not know	28(22.8)	27(27.6)	25(19.7)	80(23)		
	No	1(0.8)	1(1)	7(5.5)	9(2.6)		
Question 2	Yes	116(94.3)	88(89.8)	113(89)	317(91.1)	4,131	0.389
	I do not know	6(4.9)	9(9.2)	10(7.9)	25(7.2)		
	No	1(0.8)	1(1)	4(3.1)	6(1.7)		
Question 3	Yes	64(52)	50(51)	62(48.8)	176(50.6)	3,548	0.471
	I do not know	23(18.7)	11(11.2)	23(18.1)	57(16.4)		
	No	36(29.3)	37(37.8)	42(33.1)	115(33)		
Question 4	Yes	78(63.4)	71(72.4)	76(59.8)	225(64.7)	4,394	0.355
	I do not know	15(12.2)	7(7.1)	15(11.8)	37(10.6)		
	No	30(24.4)	20(20.4)	36(28.3)	86(24.7)		
Question 5	Yes	84(68.3)	73(74.5)	78(61.4)	235(67.5)	8,695	0.069
	I do not know	10(8.1)	3(3.1)	5(3.9)	18(5.2)		
	No	29(23.6)	22(22.4)	44(34.6)	95(27.3)		
Question 6	Yes	115(74.7)	49(50)	66(52)	179(51.4)	0,311	0.989
	I do not know	34(22.1)	31(31.6)	41(32.3)	111(31.9)		
	No	5(3.2)	18(18.4)	20(15.7)	58(16.7)		
Question 7	Yes	68(55.3)	71(72.4)	91(71.7)	230(66.1)	11,299	0.023*
	I do not know	50(40.7)	23(23.5)	30(23.6)	103(29.6)		
	No	5(4)	4(4.1)	6(4.7)	15(4.3)		
Question 8	Yes	91(74)	79(80.6)	90(70.9)	260(74.7)	2,959	0.565
	I do not know	25(20.3)	14(14.3)	28(22)	67(19.3)		
	No	7(5.7)	5(5.1)	9(7.1)	21(6)		
Question 9	Yes	86(70)	77(78.6)	97(76.4)	260(74.7)	2,959	0.232
	I do not know	26(21.1)	17(17.3)	17(13.4)	60(17.2)		
	No	11(8.9)	4(4.1)	13(10.2)	28(8.1)		
Question 10	Yes	99(80.5)	86(87.8)	90(70.9)	275(79)	14,150	0.007*
	I do not know	10(8.1)	9(9.2)	13(10.2)	32(9.2)		
	No	14(11.4)	3(3.1)	24(18.9)	41(11.8)		

* Mann-Whitney U

The participants' responses to the food safety questions, categorized by gender, are presented in Table 4. Participants' responses to the third and eighth food safety questions, categorized by gender, were statistically significant ($p < 0.05$). In response to the statement, "Hands can be washed in dishwashing sinks in very urgent cases and when necessary," 51.4% of male students answered "yes," 26.8% answered "no," and 21.8% responded "I do not know." Among female students, 49.7% agreed with 'yes,' while 40% answered 'no,' and 10.3% said

‘I do not know.’ Overall, 50.6% of all students responded ‘yes,’ 33% answered ‘no,’ and 16.4% said ‘I do not know.’

Regarding the statement, "If the can is bent, it should not be used," 62.3% of male students agreed with "yes," 7.7% answered "no," and 30.1% responded "I do not know." For female students, 88.5% answered ‘yes,’ 4.2% said ‘no,’ and 7.3% responded ‘I do not know.’ In total, 74.7% of all students agreed with ‘yes,’ 6% answered ‘no,’ and 19.3% said ‘I do not know.’

Table 4. Distribution of participants' responses to general information questions about food safety by gender

Answers to questions		Male (n:183) N (%)	Women (n:165) N (%)	Total (n:348) N (%)	χ^2	p
Question 1	Yes	129(70.5)	130(78.8)	259(74.4)	3,243	0.198
	I do not know	49(26.8)	31(18.8)	80(23)		
	No	5(2.7)	4(2.4)	9(2.6)		
Question 2	Yes	168(91.8)	149(90.3)	317(91.1)	0.917	0.632
	I do not know	13(7.1)	12(7.3)	25(7.2)		
	No	2(1.1)	4(2.4)	6(1.7)		
Question 3	Yes	94(51.4)	82(49.7)	176(50.6)	11,712	0.003*
	I do not know	40(21.8)	17(10.3)	57(16.4)		
	No	49(26.8)	66(40)	115(33)		
Question 4	Yes	110(60.1)	115(69.7)	225(64.7)	3,490	0.175
	I do not know	22(12)	15(9.1)	37(10.6)		
	No	51(27.9)	35(21.2)	86(24.7)		
Question 5	Yes	125(68.3)	110(66.7)	235(67.5)	0.260	0.878
	I do not know	10(5.5)	8(4.8)	18(5.2)		
	No	33(21.4)	30(19.6)	63(20.5)		
Question 6	Yes	90(49.2)	89(53.9)	179(51.4)	4,682	0.096
	I do not know	55(30.1)	56(33.9)	111(31.9)		
	No	38(20.8)	20(12.1)	58(16.7)		
Question 7	Yes	119(65)	111(67.3)	230(66.1)	1,592	0.451
	I do not know	58(31.7)	45(27.3)	103(29.6)		
	No	6(3.3)	9(5.5)	15(4.3)		
Question 8	Yes	114(62.3)	146(88.5)	260(74.7)	33,026	0.001*
	I do not know	55(30.1)	12(7.3)	67(19.3)		
	No	14(7.7)	7(4.2)	21(6)		
Question 9	Yes	130(71)	130(78.8)	260(74.7)	3,717	0.156
	I do not know	34(18.6)	26(15.8)	60(17.2)		
	No	19(10.4)	9(5.5)	28(8)		
Question 10	Yes	138(75.4)	137(83)	275(79)	3,157	0.206
	I do not know	19(10.4)	13(7.9)	32(9.2)		
	No	26(14.2)	15(9.1)	41(11.8)		

*Chi-Kare

The total knowledge level scores for food safety are compared across demographic variables in Table 5. Grade-level differences in total knowledge score were significant (overall $p < 0.05$). Post hoc Bonferroni comparisons showed that 11th-grade students scored higher than 10th-grade students ($p < 0.05$), whereas 12th-grade scores did not differ from those of 11th-grade students ($p > 0.05$). Significant differences were found in participants' total knowledge scores on food safety, by gender, age, and perceived sufficiency ($p < 0.05$). As age and level of education increased, the total knowledge level score on food safety increased. The average score for female students was 14.55 ± 3.44 , while that for male students was 13.57 ± 3.55 . The average score of participants who consider their general knowledge of food safety to be sufficient is 13.64 ± 3.8 , and the average score of participants who do not believe their knowledge to be adequate is 14.31 ± 3.31 .

Table 5. Comparison results of total knowledge level scores on food safety according to demographic variables

Variables	n	$\bar{x}$	SS	Min	Max	Test	p
Gender							
Male	183	13.57	3.55	0	27	f = 6.682	0.01*
Girl	165	14.55	3.44				
Total	348	14.06	3.49				
Class							
10th Grade	123	13.37	3.5	0	27	f = 3.841	0.022*
11th Grade	98	14.64	3.66				
12th Grade	127	14.22	3.37				
Total	348	14.07	3.51				
Age							
15	19	11.42	4.1	0	27	f = 3.865	0.004*
16	124	13.73	3.44				
17	136	14.44	3.49				
18	65	14.6	3.36				
19	4	13.25	1.25				
Total	348	13.48	3.12				
Information on food safety in visual and written media							
Following	36	14.16	2.81	0	27	f = 0.51	0.821
Non-follower	312	14.02	3.6				
Total	348	14.09	3.2				
Distribution of food safety general information adequacy							
Yes	144	13.64	3.8	0	27	f = 3.081	0.08*
No	204	14.31	3.31				
Total	348	13.97	3.55				

Anova, Mann-Whitney U

Discussion

Retail and food service establishments are a common source of foodborne illness outbreaks (Angelo et al, 2013). From 2009 to 2015, 4,696 outbreaks were reported in the United States at a single establishment where food was prepared. Of these outbreaks, 87% were associated with retail or food service establishments, with the majority being restaurants (61%), catering services, or banquet facilities (14%) (Dewey-Mattia et al., 2018). Education of food handlers in retail and food service establishments is a crucial strategy for improving food safety. Many different types of education and training interventions, including training courses and workshops, informational posters, and other multifaceted approaches, have been developed and evaluated to improve food handlers' attitudes, beliefs, knowledge, and behaviors toward safe food handling (Soon et al, 2012) (Viator et al, 2015) (Zanin et al, 2017) (Clark et al, 2018). This study examined the level of food safety knowledge among students enrolled in culinary education programs to work or become managers in the food and beverage sector.

According to the research, in line with the literature, female students' food safety scores are higher than those of male students (Çakıroğlu & Uçar, 2008; Lazou et al., 2012; Sanlier et al., 2012). In addition, studies report that gender-related food safety knowledge scores are not statistically significant (Kocaman, 2015; Gözener & Büyükbay, 2009; Akbulut & Özkaya, 2016). In a similar study, it was found that consumers' food safety knowledge levels, categorized by gender, were not statistically significant (Özçelik et al., 2021). In this study, female students' total food safety knowledge level scores were higher than those of male students ($p < 0.05$). The fact that the study results are in this direction does not mean that food safety knowledge scores will be interpreted differently according to gender.

In a study conducted among students of gastronomy and culinary arts, the food safety knowledge score was found to be significantly higher at higher grade levels (Akbulut & Özkaya, 2016). In a study comparing the knowledge levels of undergraduate students in food processing and food service with those of associate degree students, a statistically significant difference was found between the two groups (Uygun, 2017). In a similar study, food safety knowledge scores of food and beverage management students, by university level, were statistically significantly different from those of the control group (Kocaman, 2015). In another

study, it was observed that personnel hygiene knowledge scores, which play an essential role in food safety, were higher among participants with university education than among those with high school education ($p = <0.05$) (Ünlüönen & Cömert, 2013). According to the current study, the total knowledge score of students receiving culinary education regarding food safety was significantly associated with their grade level ($p < 0.05$). While the students' scores increased in line with the education they received, the 12th-grade students' scores decreased. This plateau/decrease in the final grade may indicate that food safety content is not sufficiently reinforced through periodic repetition and structured practical applications after a particular stage of the curriculum, and differences in internship/workplace exposure in the final year may also play a role. Therefore, it is possible that 12th-grade students may not retain theoretical knowledge to the same extent without continued reinforcement.

In the studies conducted, no relationship was found between food safety knowledge level scores and age (Gözener & Büyükbay, 2009; Ünlüönen & Cömert, 2013; Alintaş, 2021). In another study among university students, knowledge scores were higher among those aged ≤ 20 years than among those aged >20 years; however, this difference was not statistically significant (Sanlier et al., 2012). An attempt was made to determine the food safety knowledge and practices of cooks working in the hospital kitchen. When the scores of the cooks on food hygiene, personnel hygiene, kitchen equipment hygiene, and the total questions were compared across age groups, no significant difference was found (Bıyıklı, 2011). A study conducted with students at the School of Tourism Management and Hotel Management found a negative relationship between age and food safety knowledge ($p < 0.05$). It has been reported that this situation may be due to the closeness of the age distributions among university students (Kocaman, 2015). The current study found that the total knowledge level score regarding food safety increased with age ($p < 0.05$). However, the low total knowledge level score regarding food safety among 19-year-old students is due to the small number of students in that age group.

In risky situations concerning public health, communication among political authorities, industry, scientific institutions, civil society organizations, and society primarily occurs through the media (written, oral, and visual press) (Avşar et al., 2006). A study concluded that food safety knowledge increased when comprehensive coverage of food

safety was provided in both written and visual press publications (Meer & Misner, 2000). In Erdem's (2014) study, of the students who followed information about food safety from the media, 64.9% were in the 10th grade, and 69.3% were in the 12th grade, while of the students who did not follow, 35.1% were in the 10th grade, and 30.7% were in the 12th grade. It was observed that the rate of following information about food safety and nutrition from the media increased with grade level. In another similar study, 56.8% of students who followed food safety information in the press were high school students, and 53.8% were college students. The distribution of high school students who do not follow is 43.2%, and the distribution of college students is 46.2%. It is believed that the closeness of the rates of following and not following is not directly related to the culinary education received, but instead to the student's interest in this subject (Aratoğlu, 2015). Another study examining the extent to which individuals receiving culinary and pastry training followed food safety information in the media found that 86.08% of those who received education followed food safety information in the press, while 13.91% did not. It was determined that exposure to visual and written media on food safety and nutrition is directly proportional to educational level (Yılmaz & Nizamlioğlu, 2018). This study found that 5.7%, 16.3%, and 10.2% of 10th-, 11th-, and 12th-grade students, respectively, followed general food safety information in the visual and written media. In this context, it can be assumed that students were exposed to general information about food safety through various media, including visual and written materials, as well as the education they received. While 10.3% of the 348 students who participated in the study followed food safety information, 89.7% did not. As can be understood from this, the high rate of students who did not follow is unrelated to the culinary education they received. However, it may be related to the student's interest in this subject.

Erdem (2014) reported that among 10th-grade students who consider their knowledge of food safety sufficient, the rate is 18.8%, and among 12th-grade students, it is 28.1% (Erdem, 2014). In a similar study, 26.1% of high school students and 36.5% of college students reported proficiency in food safety (Aratoğlu, 2015). In this study, the rate of 10th-grade students who consider their general knowledge of food safety sufficient is 38.2%, 36.7% for 11th-grade students, and 48% for 12th-grade students ($p > 0.05$). When the total knowledge level scores on food safety are examined, the rate of students who

consider themselves sufficient is 13.64 ± 38 , while the rate of students who do not consider themselves sufficient is 14.3131 ($p < 0.05$). The increase in the proportion of students who consider their general knowledge of food safety sufficient across higher grades is consistent with the literature. However, no significant differences were observed in the general knowledge scores related to food safety and the overall knowledge level scores. In this case, the quality of education and practical studies, as well as students' perspectives on this topic, should be reviewed to help students feel more confident in their food safety knowledge.

Cross-contamination can occur from workers, surfaces that food comes into contact with, and other foods (Çetin, 2022). In a study conducted in this context, 73.9% of culinary education students responded 'yes', 20.2% 'sometimes', and 5.9% 'no' to the statement, 'Work clothes, benches, and tools used in chopping are contagion factors.' It has been observed that the number of students who answered 'yes' increased with grade level (Erdem, 2014). In a similar study, the same statement was asked of high school and college students. College and high school students responded 'yes' at 95.2% and 81.1%, respectively. Of the total students, 87.9% responded 'yes', 1.4% answered 'no', and 10.7% 'I do not know'. This study found that students were aware of cross-contamination ($p < 0.001$) (Aratoğlu, 2015). In another study, high school students in the food and beverage program were asked: 'I use the same knife and chopping board for vegetables I use for meat.' Of the students, 59.9% reported not using the same equipment, while 6.8% reported using it (Onur, 2018). In the current study, consistent with the literature, students' responses to the cross-contamination question were associated with a higher grade level ($p < 0.05$). In this context, it is believed that the students received the necessary training on cross-contamination.

In Aratoğlu's (2015) study, students receiving culinary training were asked about the statement, "Scratched and cracked kitchen utensils should not be used in food preparation and serving." College and high school students answered 'yes' at a rate of 80.8% and 100%, respectively. Of the total students, 80.9% answered 'yes', 14% answered 'no', and 5.1% answered 'I do not know' ($p > 0.05$) (Aratoğlu, 2015). In a similar study, the same statement was asked of students receiving

culinary education. Of the 11th-grade students, 75.3% answered 'yes,' and of the 12th-grade students, 76.5% answered 'yes.' Of the total students, 75.9% answered 'yes', 14.3% 'sometimes', and 9.8% 'no' ($p>0.05$) (Erdem, 2014). Similar results were found in this study. Of the 10th-grade students, 80.5%, of the 11th-grade students, 87.8%, and of the 12th-grade students, 70.9% answered 'yes' ($p = 0.05$). Thus, it was determined that the students were aware of the proper use of kitchen utensils for preparing, cooking, and serving food. Scratched and cracked utensils should not be used to prepare and serve food. If used, food items that accumulate in damaged areas can increase microorganism levels over time and pose a health risk (Kizen, 2018). Some mistakes in preparing and serving food and beverages include failing to use hand-washing and food-preparation sinks for their intended purposes (Sevim, 2015). Since handwashing sinks are used for hand cleaning during production, food, tools, and equipment should not be washed in these sinks (Sanlier & Sezgin, 2017). In this context, kitchen sinks and hand-washing sinks should be located in separate areas, and kitchen sinks should be used exclusively for cleaning food, tools, and equipment (Kizen, 2018). In a study, high school and college students were asked: 'Hands can be washed in dishwashing sinks in urgent cases and when necessary.' Among high school students, 33.3% answered 'yes', 35.1% answered 'no', and 31.5% answered 'I do not know'. Of the college students, 45.2% said 'yes', 45.2% said 'no', and 9.6% said 'I do not know'. Of the total students, 39.1% said 'yes', 40% said 'no', and 20.9% said 'I do not know' ($p < <0.05$) (Kizen, 2018). In a similar study, as grade level increased, 'yes' and 'sometimes' responses to this question decreased, while 'no' responses increased ($p < 0.05$) (Erdem, 2014). In this study, as the grade level increased, the 'yes' answer to the question decreased while the 'no' answer increased. The majority of students answered 'yes' ($p > 0.05$). Compared to females, males gave the 'yes' answer more often ($p < <0.05$). As a result, it was understood that hands should not be washed in sinks in case of an emergency, and this understanding increased with grade level ($p < 0.05$). It was determined that male students were less aware of this issue than female students ($p < 0.05$).

Canned foods are dangerous due to the microorganism *Clostridium botulinum*. Burst and bulging cans should not be used (Doğan, 2022). The hotel kitchen staff was asked: "If the can is bulging, it should

not be used.” Of the hotel kitchen staff, 82.7% answered ‘correct’, 7.3% answered ‘incorrect’ (Bayram & Ersoy, 2023). In another study, most participants responded to the same question with a ‘yes’ (Erdem, 2014). In another similar study, the question ‘Can bulging, dented, or damaged cans be used?’ was asked, and all employees answered ‘no’ (Sanlier & Tunc, 2008). In this study, when the statement ‘If it can bulge, it should not be used.’ was examined across all grade levels, the majority of students answered ‘yes.’ At the same time, when students’ gender was compared to this statement, it was found that female students were more aware of this issue, but the difference was not statistically significant ($p>0.05$). As this shows, products with curved cans pose a risk to human health and can cause food poisoning.

Conclusion

This study found a significant difference between the students’ food safety knowledge scores and the education they received (Tables 3 and 4). This may be related to the fact that food safety concepts are introduced relatively recently in the lower grades. Although higher scores might be expected in upper grades, the lack of marked improvement among 12th-grade students may suggest that the training is not sufficiently reinforced through periodic repetition and practical components. Although the number of students who follow food safety information through the media increases with grade level, the number who do not is considerable. Thus, students may not consider their general knowledge of food safety sufficient. This situation can be associated with the quality of their education and the students’ interests. Therefore, incorporating age-appropriate food safety content earlier in the curriculum and strengthening it across educational stages may be beneficial.

Additionally, it would be beneficial to reinforce food safety training regularly after high school and university. In-service training should also be supported by authorized institutions and individuals in working life. The knowledge and application behaviors of students working in the food and beverage sector regarding food safety, which can lead to health problems, should be monitored by expert educators, and their deficiencies should be addressed through active kitchen applications. In addition, visual and written materials should be emphasized in education at primary, secondary, and tertiary levels,

as well as in working life, and information should be translated into practical behavior. As a result, it is crucial to enhance the quality of the education provided, utilize general information about food safety more accurately, and take the necessary precautions to ensure food safety.

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest between the authors.

Ethics committee statement

This study was approved by the Ethics Committee of Istanbul Gedik University (Decision Date: June 3, 2020; Decision No: 2020/03). Informed consent was obtained from all participants, and the research was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

References

- [1] Akbulut, B. A. ve Özkaya, F. D. (2016). Gastronomi ve mutfak sanatları öğrencilerinin gıda güvenliği bilgi ve tutumları. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2).
- [2] Akdoğan, M. S. ve Erol, G. (2023). Otel mutfağı çalışanlarının gıda güvenliği ve hijyene yönelik bilgi ve uygulama düzeylerinin belirlenmesi: Ayvalık örneği. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 11(2), 1333–1356. <https://doi.org/10.21325/jotags.2023.1246>
- [3] Alintaş, O. (2021). *Gastronomi ve mutfak sanatları öğrencilerinin gıda israfı ve gıda güvenliği hakkında görüşleri: İstanbul ili örneği (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi)*. İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [4] Angelo, K. M., Nisler, A. L., Hall, A. J., Brown, L. G., and Gould, L. H. (2017). Epidemiology of restaurant-associated foodborne disease outbreaks in the United States, 1998–2013. *Epidemiology and Infection*, 145(3), 523–534. <https://doi.org/10.1017/S0950268816002314>
- [5] Aratoğlu, C. (2015). *Mesleki ve teknik Anadolu lisesinde ve meslek yüksekokulunda aşçılık eğitimi alan öğrencilerin gıda güvenliği konusundaki bilgi ve uygulama düzeyleri (Yayımlanmamış tez)*. Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [6] Artık, N., Sanlier, N. ve Sezgin, A. C. (2017). *Gıda güvenliği ve gıda mevzuatı*. Ankara, Türkiye: Detay Yayıncılık.

- [7] Atay Avşar, T., Avşar, Y. K. ve Akdemir-Evrendilek, G. (2006). Gıda güvenliği ve başarılı risk iletişimi: Medyanın (yazılı, sözlü, görsel basının) sorumluluğu. *Türkiye 9. Gıda Kongresi* (ss. 11–14), Bolu, Türkiye.
- [8] Aydoğan, M. S. ve Erol, G. (2023). Otel mutfağı çalışanlarının gıda güvenliği ve hijyene yönelik bilgi ve uygulama düzeylerinin belirlenmesi: Ayvalık örneği. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 11(2), 1333–1356. <https://doi.org/10.21325/jotags.2023.1246>
- [9] Bayram, F. ve Ersoy, Y. (2020). Otel mutfaklarında çalışan mutfak personelinin gıda güvenliği konusundaki bilgi düzeyleri (Türkiye, Almanya, İspanya ve Dubai örneği). *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, Special Issue (4), 565–580. <https://doi.org/10.21325/jotags.2020.705>
- [10] Bıyıklı, A. E. (2011). *Hastane mutfaklarında çalışan aşçıların gıda güvenliği bilgi ve uygulamalarının belirlenmesi: Konya il merkezi örneği (Yayımlanmamış tez)*. Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- [11] Çakıroğlu, F. P. ve Uçar, A. (2008). Employees' perception of hygiene in the catering industry in Ankara (Turkey). *Food Control*, 19(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.03.001>
- [12] Çetin, M. (2022). *Toplu beslenme sistemleri çalışanlarının alerjenlere yönelik etiketleme ve çapraz kontaminasyon konusundaki bilgi düzeylerinin belirlenmesi (Yayımlanmamış tez)*. İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [13] Clark, J., Crandall, P. G., and O'Bryan, C. (2018). Climbing the intervention ladder to handwashing compliance: A review and directions for future research. *Food Control*, 84, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.027>
- [14] Desye, B., Tesfaye, A. H., Daba, C., and Berihun, G. (2023). Food safety knowledge, attitude, and practice of street food vendors and associated factors in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 18(7), e0288335. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288335>
- [15] Doğan, M. (2022). *Salamlarda farklı miktarlarda sodyum nitrit kullanılmasının kalite üzerine etkisi (Yayımlanmamış tez)*. Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.

- [16] Dewey-Mattia, D., Manikonda, K., Hall, A. J., Wise, M. E., and Crowe, S. J. (2018). Surveillance for foodborne disease outbreaks — United States, 2009–2015. *MMWR Surveillance Summaries*, 67(10), 1–11.
- [17] Erdem, Ö. (2014). *Mengen Aşçılar Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi'nde aşçılık eğitimi alan 10 ve 12. sınıf öğrencilerinin gıda güvenliğine yönelik bilgi ve uygulama düzeyleri* (Yayımlanmamış tez). Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [18] FAO. (2022). *Thinking about the future of food safety: A foresight report*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [19] Gözener, B., Büyükbay, E. O. ve Sayılı, M. (2009). Gıda güvenliği konusunda öğrencilerin bilgi düzeylerinin incelenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45–53.
- [20] ISO. (2018). ISO 22000:2018 Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. Geneva: International Organization for Standardization.
- [21] Kırmacı, H. A. ve Özçelik, H. (2021). Tüketicilerin gıda güvenliği ile ilgili bilgi düzeyleri ve tutumları (Ankara ili örneği). *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 258–273.
- [22] Kizen, A. ve Arkun, G. (2018). Investigation of compliance on good manufacturing practices (GMP) and hygiene conditions in enterprises that supply mass catering services. *International Journal of Food Engineering Research*, 4(1), 25–36.
- [23] Kocaman Memiş, E. (2015). Yiyecek ve içecek işletmeciliği eğitiminin öğrencilerin gıda güvenliği bilgi düzeyine etkisi. *Kastamonu Education Journal*, 23(1), 269–280.
- [24] Lazou, T., Georgiadis, M., Pentieva, K., McKevitt, A., and Iossifidou, E. (2012). Food safety knowledge and food-handling practices of Greek university students: A questionnaire-based survey. *Food Control*, 28(2), 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.027>
- [25] Levy, N., Cravo Oliveira Hashiguchi, T., and Cecchini, M. (2022). Food safety policies and their effectiveness to prevent foodborne diseases in catering establishments: A systematic review and meta-analysis. *Food Research International*, 156, 111076.

- [26] Lynnette, M., Neufeld, M., Hendriks, S., & Hugas, M. (2023). Healthy diet: A definition for the United Nations Food Systems Summit 2021. J. von Braun, K. Afsana, L. O. Fresco ve M. Hag Ali Hassan (Ed.), Science and innovations for food systems transformation içinde (ss. 21–30). Cham, İsviçre: Springer.
- [27] Meer, R. R., and Misner, S. L. (2000). Food safety knowledge and behavior of expanded food and nutrition education program participants in Arizona. *Journal of Food Protection*, 63(12), 1725–1731. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.12.1725>
- [28] Michaels, B. S. ve ark. (2024). Potential for glove risk amplification via direct physical, chemical, and microbiological contamination. *Journal of Food Protection*, 87(7), 100283. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100283>
- [29] Onur, M. (2018). *Ortaöğretimde yiyecek-içecek hizmetleri programında öğrenim gören öğrencilerin gıda güvenliği bilgi düzeyi ve uygulama davranışlarının belirlenmesi: Ankara ilinde bir araştırma* (Yayımlanmamış tez). Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [30] Özkan, R. (2021). Toplu beslenme sistemlerinde kullanılan gıda kalite güvence sistemleri. *Turkish Journal of Health Research*, 2(3), 45–56.
- [31] Pakdel, M., Olsen, A., & Bar, E. M. S. (2023). A review of food contaminants and their pathways within food processing facilities using open food processing equipment. *Journal of Food Protection*, 86(12), 2563–2575. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100184>
- [32] Sanlier, N., Bilici, S., Çelik, B. ve Memiş, E. (2012). Food safety knowledge and practices of nursing students. *Italian Journal of Food Science*, 24(1), 86–93.
- [33] Sanlier, N. ve Tunç, A. (2008). Yiyecek-içecek hizmete veren otel mutfakları ve personelinin hijyen yönünden değerlendirilmesi: Ankara ili örneği. *Kastamonu Education Journal*, 16(2), 461–468.
- [34] Soon, J. M., Baines, R., and Seaman, P. (2012). Meta-analysis of food safety training on hand hygiene knowledge and attitudes among food handlers. *Journal of Food Protection*, 75(4), 793–804. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-256>
- [35] Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu (2010). Kanun No: 5996. Resmî Gazete: 13.06.2020/27610).

- [36] Gıda Hijyeni Yönetmeliği (2011). Resmi Gazete:17.11.2011/28145
- [37] Ünlüönen, K. ve Cömert, M. (2013). Otel işletmeleri mutfak çalışanlarının personel hijyeni bilgi düzeylerinin belirlenmesi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 1(1), 3–12.
- [38] Uygun, A. İ. (2017). Gıda işleme ve gıda servisi konularında eğitim alan öğrencilerin gıda güvenliği ve gıda hijyeni konusunda bilgi düzeyleri. S. Yalın Kaya, S. Benli ve İ. Erol (Ed.), *Proceedings Book* içinde (ss. 317–325). Mersin, Türkiye: Mersin Üniversitesi.
- [39] Viator, C., Blitstein, J., Brophy, J. E., and Fraser, A. (2015). Preventing and controlling foodborne disease in commercial and institutional food service settings: A systematic review of published intervention studies. *Journal of Food Protection*, 78(2), 446–456. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-266>
- [40] WHO. (2006). Five keys to safer food: A manual. France: WHO Press.
- [41] WHO. (2015). WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007–2015. Switzerland: WHO Press.
- [42] Yılmaz, S. ve Nizamlioğlu, F. (2018). Aşçı adaylarının gıda güvenliği temel bilgi düzeylerinin tespit edilmesi (Konya örneği). *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 5(26), 2605–2616.
- [43] Zanin, L. M., da Cunha, D. T., de Rosso, V. V., Capriles, V. D. e Stedefeldt, E. (2017). Knowledge, attitudes, and practices of food handlers in food safety: An integrative review. *Food Research International*, 100(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.042>

Bluetooth-controlled smart home automation with adaptive lighting and security

Kutay DAMAR¹
Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN²
Hayati MAMUR³

Geliş tarihi / Received: 13.02.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.05.2026

Kabul tarihi / Accepted: 26.06.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v2i173009

Abstract

Smart home technologies play a crucial role in energy efficiency and user comfort. However, commercial systems are often expensive and lack customizable security features. This study presents a cost-effective, hybrid-controlled smart home automation prototype designed with microcontroller (MCU) and Bluetooth communication. The system integrates environmental sensing such as temperature, humidity, light, and motion with a Finite State Machine (FSM) control algorithm. A unique “Black Box” feature has been developed using EEPROM to record critical security events and timestamps. The system is controlled via a custom Android application developed with Mobile Application Interface (MIT App Inventor), allowing for both manual override and autonomous operation. Experimental results show that the adaptive lighting algorithm, which employs an exponential smoothing filter, prevents flickering, and the security recording system successfully logs all unauthorized attempts. The proposed system offers a robust application model for Internet of Things (IoT) and embedded systems.

Keywords: Smart home, IoT, Bluetooth, FSM, EEPROM logging, Adaptive lighting

¹ Manisa Celal Bayar University, damarqutkic@gmail.com, ORCID:0009-0007-6281-2660

² Islamic University, mrab_eee@iu.ac.bd, ORCID:0000-0001-7335-4158

³ Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID:0000-0001-7555-5826

Bluetooth kontrollü uyarlanabilir aydınlatma ve güvenlik özellikli akıllı ev otomasyonu

Öz

Akıllı ev teknolojileri, enerji verimliliği ve kullanıcı konforunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, ticari sistemler genellikle yüksek maliyetlidir ve özelleştirilebilir güvenlik özelliklerinden yoksundur. Bu çalışma, mikrodenetleyici ve Bluetooth iletişimi ile tasarlanmış, maliyet etkin, hibrit kontrollü bir akıllı ev otomasyon prototipini sunmaktadır. Sistem, sıcaklık, nem, ışık, hareket gibi çevresel algılamayı Sonlu Durum Makinesi (FSM) kontrol algoritmasıyla entegre eder. Kritik güvenlik olaylarını ve zaman damgalarını kaydetmek için EEPROM kullanılarak benzersiz bir “Kara Kutu” özelliği geliştirilmiştir. Sistem, mobil uygulama arayüzü (MIT App Inventor) ile geliştirilen özel bir Android uygulaması aracılığıyla kontrol edilir ve hem manuel geçersiz kılma hem de otonom çalışma imkânı sağlar. Deneyisel sonuçlar, üstel düzeltme filtresi kullanan uyarlanabilir aydınlatma algoritmasının titremeyi önlediğini ve güvenlik kayıtlarının tüm yetkisiz girişimleri başarıyla kaydettiğini göstermiştir. Önerilen sistem, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve gömülü sistem için sağlam bir uygulama modeli sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ev, IoT, Bluetooth, FSM, EEPROM kaydı, Uyarlanabilir aydınlatma

Introduction

Rapid urbanization and the demand for energy efficiency have accelerated the need to transform traditional living spaces into intelligent spaces (Shahidehpour and Ganji, 2018; Oluwafemi et al., 2023). Smart home automation systems have become critical solutions to satisfy these requirements, providing improved user comfort, security, and substantial energy savings through the intelligent control of lighting, heating, and ventilation systems (Gunge and Yalagi, 2016; Mehmood et al., 2019; Visan and Diaconu, 2022). Advances in Internet of Things (IoT) technology have enabled the integration of wireless protocols and microcontrollers (MCUs), leading to cost-effective and scalable cyber-physical systems (He et al., 2016; Algani et al., 2021). The main goal of these systems is not only to provide remote control functionality but also to establish an autonomous environment that can sense environmental changes and

respond accordingly to optimize resource utilization (Giannaros et al., 2023; Popescu et al., 2024).

Fossil fuels have been the main source of energy for residential heating and electricity generation; however, their exhaustion and the resulting greenhouse gas emissions have led to the quest for sustainable alternatives (Meng et al., 2024; Chinnathambi et al., 2022). In this regard, the smart home system has become a critical solution that curtails unnecessary energy consumption through automation based on sensor inputs (Babangida et al., 2022; Naved et al., 2022). The latest research in the academic community has comprehensively investigated different architectures for home automation. For example, Candan and Erdem (2020) illustrated the viability of low-cost smart home systems using mobile control interfaces, emphasizing the feasibility of MCU-based solutions. Similarly, Gupta and Singh (2019) analyzed the automation of IoT through Bluetooth sensor networks and demonstrated that short-range wireless communication can be used for reliable connectivity in home automation. Moreover, the works of Kim and Park (2018) have highlighted the need for accurate environmental sensing through DHT22 sensors for maintaining indoor air quality and temperature, while İlhan et al. (2021) explored energy-adaptive lighting systems that employ light-dependent resistor (LDR) sensors to control artificial lighting based on available natural daylight.

Despite these major breakthroughs, there is a critical need in low-cost embedded automation (Yavuz, 2024; Chakraborty et al., 2023). Currently, most existing systems and “Do-It-Yourself” (DIY) solutions available are nothing more than basic remote-control interfaces and lack the reliability, fault tolerance, and traceability of data necessary for successful implementation (Pascoal et al., 2025; Dobrojevic and Bacanin, 2022). Unlike industrial automation, which uses Programmable Logic Controllers (PLCs) and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems to ensure safety and data logging, most DIY smart home solutions lack the ability to retain critical data even after a power outage (Khairullah and Sharkawy, 2022; He et al., 2024). This is a major security concern, as unauthorized access attempts or alarms may go unlogged. Additionally, most systems lack the ability to strike a balance between autonomous and manual control, often leading to conflicting commands in which manual overrides interfere with automated sensor loops (Rahmanovic et al., 2023; Naved et al., 2022).

The research work is an attempt to meet these engineering requirements by developing and testing a resilient, hybrid-controlled smart home automation system that models the complexity of contemporary industrial networks. Unlike traditional systems, the developed system is based on a Finite State Machine (FSM) architecture, which is strongly recommended in current literature because of its determinism and stability. The system can thus smoothly switch between autonomous sensor-controlled states and user-controlled states without any logical inconsistencies. One of the innovative aspects of this project is the integration of a “Black Box” security logging system based on industrial traceability best practices. Using the MCU’s built-in Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM), the system is designed to provide a non-volatile logging mechanism for critical events such as fire alarms, door presses, and failed password attempts, all of which are timestamped. Unlike most low-cost do-it-yourself (DIY) smart home systems that rely on simple procedural loops and lack persistent event logging, our approach explicitly combines an FSM with EEPROM-based security recording. The FSM ensures deterministic state transitions and prevents conflicting manual/autonomous commands, while the EEPROM ‘Black Box’ provides non-volatile traceability of security events—a feature typically absent in MCU-based home automation projects.

Materials and methods

This section describes the hardware components, circuit topology, and software development tools that were used to implement the embedded smart home automation system. The system integrates analog sensor interfaces and digital communication protocols on a single hardware platform. The choice of materials was guided by the requirements for low power consumption, cost-effectiveness, and industrial-grade reliability. The system architecture is given by Figure 1.

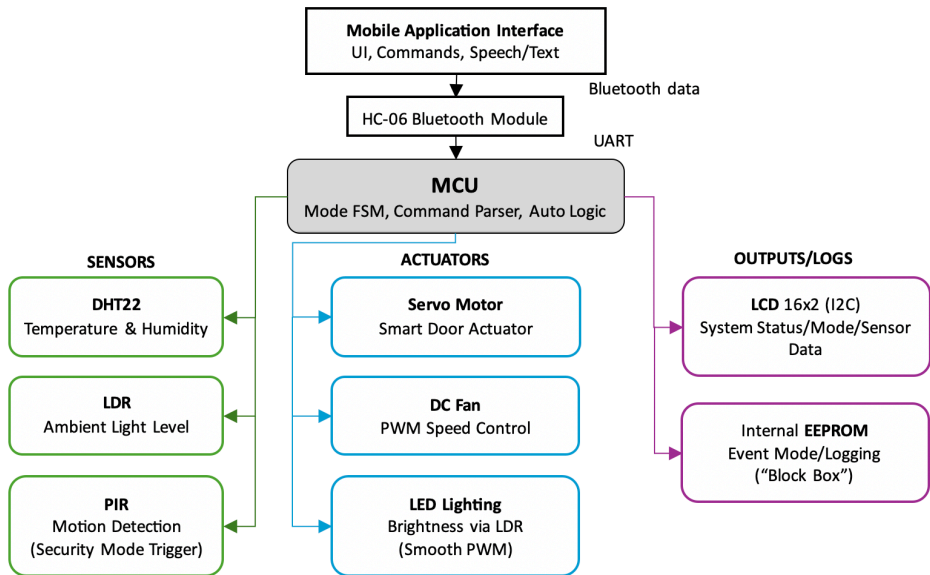


Figure 1. System architecture diagram

Embedded control unit and system architecture

The system operates through the Arduino UNO MCU board which functions as its main processing unit while running on the ATmega328P architecture. The system architecture consists of four separate modules which include the sensing layer and the actuation layer and the communication layer and the user interface layer. The designers separated high-current devices which included the DC fan and servo motor from the analog sensor lines to protect these lines from Electromagnetic Interference (EMI) and to stop voltage drops. The system required a common grounding method which used star-ground topology to eliminate ground loops that would otherwise interfere with analog digital conversion (ADC) reading accuracy.

Environmental sensing subsystem

The sensing layer comprises three heterogeneous sensors chosen to provide a comprehensive environmental profile. One of them is DHT22 temperature and humidity sensor. This sensor utilizes a capacitive humidity sensor and a thermistor to measure the surrounding air. It communicates via a proprietary single-wire protocol. The sensor provides digital output reflecting the thermal comfort levels necessary for the automated fan control logic. Secondly, it is the LDR. To enable adaptive

lighting, an LDR module was employed. Since the LDR operates in the analog domain, it was configured in a voltage divider circuit with a fixed resistor. This configuration allows the MCU's 10-bit ADC to sample a voltage proportional to ambient luminosity. Lastly, it is Passive Infrared (PIR) sensor motion sensor, integrated for security monitoring. The sensor operates as a digital trigger, outputting a high logic signal when motion is detected (Salah and Jamal, 2017). To mitigate false triggers caused by thermal noise or power fluctuations, the PIR sensor was powered by a stable 5 V rail and placed physically distant from heat-generating components like the voltage regulator.

The actuation layer handles the physical manipulation of the environment through three primary mechanisms: ventilation, access control, and illumination. An N-channel MOSFET was selected to drive the DC fan. This component acts as a low-side switch, allowing the MCU to regulate the fan speed via Pulse Width Modulation (PWM) without bearing the high current load directly (Alim et al., 2024). During the initial design phase, a "Floating Gate" phenomenon was observed, where the fan would activate spuriously during system resets due to electrostatic coupling. To resolve this, a 10 k Ω pull-down resistor was installed between the Gate and Source pins, ensuring the MOSFET remains in a strictly "OFF" state when the MCU signal is high impedance. Another actuator is a servo motor mechanism. A standard micro servo motor is used to simulate the smart door lock. Since servo motors can draw high instantaneous currents during movement, potentially causing voltage dips that reset the MCU, the servo was supplied with a robust power line separate from the sensor array. Lastly, a PWM-controlled LED was used for lighting. The light emitting diode (LED) lighting system is driven directly by the MCU's PWM output (Trivedi, 2016). This setup allows for linear brightness dimming control rather than simple on/off switching, enabling the implementation of the smooth lighting algorithm.

The communication backbone of the system is the HC-06 Bluetooth Serial Module (Kumar and Verma, 2020). This module utilizes the Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) interface to establish a bidirectional data link between the embedded system and the mobile application (Xu et al., 2022). Since the HC-06 operates at 3.3V logic while the MCU operates at 5 V, a voltage divider circuit consisting of resistors was implemented on the Receiver (RX) line of the module. The module

was physically positioned away from inductive loads, such as the fan motor, to reduce susceptibility to Radio Frequency (RF) noise (Dwiansyah and Prasetya, 2022). For the user interface, custom Android application was developed using Mobile Application Interface (MIT App Inventor) (Sharto, 2025). This platform was chosen for its ability to handle event-driven programming, which is essential for processing such as temperature, humidity, security status real-time telemetry data received from the MCU. The application serves as a Human-Machine Interface (HMI), replacing traditional physical control panels. To implement the “Black Box” security logging feature, the system utilizes the MCU’s internal EEPROM. Unlike volatile RAM, EEPROM retains data after power loss (Das et al., 2023).

The ATmega328P's EEPROM has a specified endurance of approximately 100,000 write cycles per cell. To manage this limitation, the system implements a conditional logging strategy: only critical events (mode changes, failed password attempts, security triggers) are recorded. Furthermore, the same event type is not written more than once per second, even if continuously triggered. Under typical daily usage (e.g., 10–20 security events per day), this yields an estimated EEPROM lifetime of over 10 years. Wear-leveling was not implemented due to the small log size (32 bytes) and the low write frequency, but it remains a recommended improvement for high-frequency logging scenarios.

Finite state machine control architecture

To manage the complex and often asynchronous interactions between autonomous sensor inputs and manual user overrides, FSM model was implemented (Merlin Sajini et al., 2023). In standard procedural programming, utilizing functions like `delay()` can block the processor, rendering the system unresponsive to urgent interrupts such as security alarms (Vandana et al., 2022). To overcome this, the FSM approach divides the system’s operation into discrete, mutually exclusive states, where transitions are governed by specific trigger events. The FSM consists of some primary operational states, each with a defined behavioral profile. One of them is initialization state. Upon system power-up, the MCU executes a setup routine. This includes initializing the UART communication at 9600 baud rate, configuring the I/O pins for the sensors and actuators, and retrieving the last known state from the EEPROM to ensure continuity after a power loss. Later, automatic mode is the default operating state where the system functions as a closed-loop controller. The MCU

continuously polls the DHT22 and LDR sensors. A proportional control algorithm maps the ambient temperature to the fan's PWM duty cycle; for instance, as the temperature rises from 25-40°C, the fan speed increases linearly. Simultaneously, the LED brightness is adjusted inversely to the ambient light level. To prevent rapid switching around threshold values, a hysteresis band is applied to the sensor readings. Third is manual mode. This state mimics the "Manual Override" function found in industrial SCADA systems. It grants the user full authority over the actuators via the Bluetooth interface. However, safety interrupts retain higher priority and can override user commands. Another is security mode. Designed for perimeter monitoring, this state prioritizes the PIR sensor interrupt. This sequence involves activating the buzzer, locking the servo-driven door mechanism, and logging the event timestamp to the non-volatile memory. Lastly, it is parent mode. This state implements an access control layer. When a user attempts to access restricted features, the system demands a password. The input is hashed and compared against the stored credential in the firmware. FSM state transition table is given in Table 1.

Table 1. FSM state transition.

Current State	Trigger Event	Next State	System Action
Init	Setup completed	Auto	Initialize UART (9600 baud), configure I/O pins, retrieve last state from EEPROM
Auto	"Manual" command received via Bluetooth	Manual	Disable sensor-based automatic control, enable user control over fan/LED/servo
Auto	PIR motion detected + Parent mode active	Security	Activate buzzer, lock servo (door), log event with timestamp to EEPROM
Auto	Temperature > critical threshold (e.g., 40°C)	Auto (fail-safe)	Force fan to 100% PWM, open servo (emergency egress)
Manual	No user input for 5 minutes (timeout)	Auto	Return to closed-loop sensor-based control
Manual	"Auto" command received via Bluetooth	Auto	Switch back to automatic mode
Security	"Alarm reset" command received	Auto	Deactivate buzzer, unlock servo, resume normal operation
Any state	"Parent" command received via Bluetooth	Parent	Request password via Bluetooth, disable other commands

Mobile interface and event-driven logic

The user interface was developed using MIT App Inventor, functioning as an HMI. The application logic is event-driven, meaning it reacts to asynchronous user inputs and incoming data packets. To maintain synchronization between the physical system and the digital twin, the app utilizes a polling timer. Every few seconds, it sends a status request command to the MCU. The MCU responds with a concatenated string containing current temperature, humidity, and mode status, which the app parses to update the on-screen labels. Voice commands are converted to text and matched against a predefined dictionary. The hardware and circuit design and setup of the system is given Figure 2.

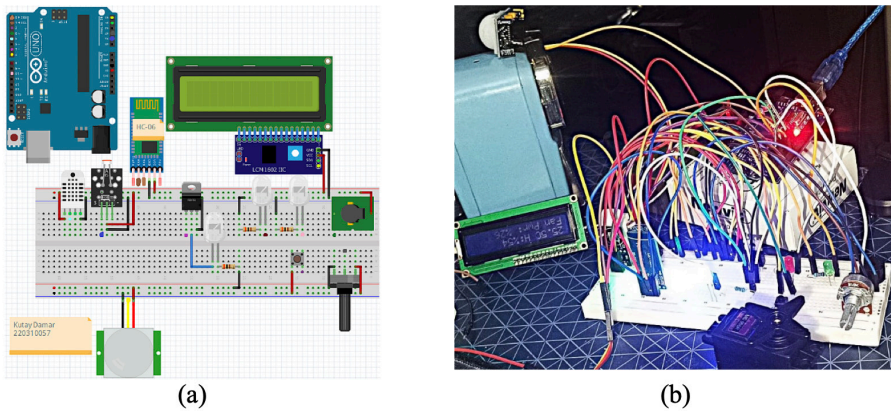


Figure 2. System (a) hardware wiring circuit design and (b) setup

In case of Bluetooth disconnection, the mobile application detects the loss of serial communication using a timeout mechanism in 2 seconds without response. The app then displays a “Device Disconnected” warning message and disables all manual control buttons to prevent user confusion. Meanwhile, the MCU system independently continues to operate in the last stable mode “Automatic or Security mode”, ensuring that safety functions remain active. When the connection is re-established, the app automatically re-synchronizes the status by requesting a full system update.

Electrical noise suppression and power management strategy

One of the primary challenges in mixed-signal embedded designs is the interference caused by high-current electromechanical actuators on sensitive analog signal lines. To mitigate this, a strict star-ground topology

was implemented in circuit design. Instead of daisy-chaining ground connections, the ground return paths of the Servo Motor and DC Fan high-power components and the DHT22 and LDR sensitive sensor array were routed separately to the main power supply terminal. This methodology prevents ground loops and minimizes the ground bounce effect, which can introduce significant jitter into ADC readings.

Safety logic and fail-safe mechanisms

Beyond standard operation, the system incorporates dedicated fail-safe logic to handle abnormal environmental conditions or hardware failures. These safety protocols are hard-coded into the FSM with the highest execution priority. Firstly, if the DHT22 sensor reports a temperature exceeding a critical safety threshold, the system automatically overrides any user command. It forces the fan to 100% duty cycle and actuates the servo to the Open position to maximize ventilation and facilitate emergency egress. Secondly, to prevent brute-force attacks on the Parent Mode, the system implements a penalty mechanism. Thirdly, the firmware includes a sanity check for sensor data. If the DHT22 returns a NaN (Not a Number) or checksum error, the system discards the reading and maintains the previous valid state rather than acting on erroneous data, ensuring operational stability.

Results and discussion

This section presents the experimental results obtained from the implementation of the smart home automation system and provides an in-depth discussion of its operational behavior, reliability, and performance across different modes. The objective of this section is to demonstrate that the system fulfills the intended functional specifications, responds accurately to environmental changes, handles user commands consistently, and exhibits stability under long-term operation. The analysis includes prototype verification, sensor response profiling, actuator behavior evaluation, Bluetooth communication performance, FSM-driven mode transitions, and the interpretation of recorded data from the EEPROM logging subsystem.

Prototype verification and physical system evaluation

The physical assembly of the smart home system was built on a breadboard platform, which integrated all sensors, actuators, and communication modules into one cohesive embedded architecture. During the verification

stage, the prototyped circuit was compared to the theoretical wiring diagram point by point to ensure that all power lines, signal paths, and grounding points were correctly placed as intended. The spatial arrangement of components minimized electrical noise, avoided unnecessary cross-interference between analog and high-current signals, and ensured that the system operated under stable voltage conditions. Once the correctness of hardware connections was assured, every subsystem was powered on separately to check for electrical stability. The system initialization sequence was observed on the LCD screen, confirming that the MCU successfully booted and loaded the firmware. The PIR module displayed stable idle output without false activations, and the HC-06 module entered pairing mode immediately, indicating stable UART communication. The servo motor maintained positional accuracy during calibration tests, and the MOSFET successfully drove the fan under multiple PWM duty cycles.

Table 2 presents the bill of materials and estimated cost of the prototype. The total cost is approximately 42 USD, which is significantly lower than commercial smart home systems (typically 100–300 USD for basic kits).

Table 2. Bill of materials and approximate cost of the prototype.

Component	Unit Cost (USD)	Quantity	Total Cost (USD)
Arduino UNO (clone)	5	1	5
HC-06 Bluetooth module	4	1	4
DHT22 temperature/humidity sensor	10	1	10
PIR motion sensor	2	1	2
LDR + 10k Ω resistor	1	1	1
Servo motor (SG90)	3	1	3
MOSFET (IRFZ44N) + DC fan	5	1	5
LCD 16x2 with I2C interface	6	1	6
Breadboard + jumper wires	5	1	5
Resistors (220 Ω , 10k Ω , etc.)	1	1	1
		Total:	~42 USD

The prototype consumes approximately 250 mA at 5 V (1.25 W) when all sensors are active and the fan is running at 50% PWM duty cycle. In standby mode (no fan, no servo movement), the current drops to about 80 mA (0.4 W).

For comparison, typical Wi-Fi-based smart plugs (e.g., ESP8266) consume 1–2 W in active mode and have a standby current of ~70 mA. Zigbee nodes often operate below 0.5 W in active mode and offer lower power consumption due to their mesh network architecture. Our system's power draw is reasonable for a prototype but can be further reduced by implementing sleep modes on the Arduino and using a more energy-efficient MCU such as the ESP32 with deep-sleep capability.

Sensor behavior and environmental response analysis

Much of the system's performance depends upon the precision and responsiveness of the environmental sensors. The temperature and humidity readings from the DHT22 sensor were analyzed over a continuous period of operation. Figure 3 (a) presents the time-series data of the sensor readings. It was observed that the temperature reading increases steadily from a heat source and stabilizes without oscillation, demonstrating the effectiveness of the sampling filter implemented in the data-processing pipeline.

The humidity reading variations are slow, as expected for a capacitive humidity sensor, and are compliant with the datasheet expectations. These results validate that the DHT22 sensor is appropriate for driving the temperature-dependent fan control logic during Automatic Mode. To prevent rapid on-off switching around the threshold values, a hysteresis band of ± 0.5 °C for temperature and ± 10 lux for light intensity was applied. For example, the fan activates when the temperature rises above 28 °C but only deactivates when it drops below 27.5 °C.

Actuator performance and Bluetooth communication analysis

Bluetooth communication forms the backbone of the user-system interaction. Through performance testing, it was determined that the HC-06 module is stable in typical household distances. A critical aspect of the system was the real-time feedback loop between the LDR sensor and the mobile interface. Figure 3 (b) illustrates the continuous transmission of LDR sensor readings over the Bluetooth link. The rapid fluctuations correspond directly to ambient light changes, demonstrating low-latency communication and reliable real-time user-interface feedback.

The exponential smoothing algorithm applied to these readings ensured that the LED brightness modulation remained smooth, preventing the flickering effect often seen in raw sensor data applications. The latency measures were less than 150 ms for an average command response time, proving that the communication protocol is acceptable for real-time user interaction. The HC-06 Bluetooth module is typically specified as having an effective communication range of up to 10 meters in open space (line-of-sight). However, when a single interior wall (approximately 15 cm brick) is introduced, the reliable range is generally reduced to about 5 meters. Through two walls, communication often becomes intermittent. For comparison, Bluetooth Low Energy (BLE) modules (e.g., HM-10) typically offer ranges of 20–30 m line-of-sight and better wall penetration at similar power consumption. Wi-Fi-based solutions (e.g., ESP8266) provide virtually unlimited range via internet access but consume significantly more power (standby current of ~70 mA vs. HC-06's ~30 mA). For a low-cost, short-range indoor prototype, HC-06 remains acceptable, but future versions should consider BLE for improved real-world scalability.

Security subsystem and EEPROM logging validation

A critical element of the system is its ability to preserve key events through EEPROM logging. During validation, repeated mode transitions, incorrect password attempts, and security activations were performed to populate the log. Retrieval through the serial monitor confirmed that entries were written sequentially, without corruption, duplication, or memory pointer misalignment. Figure 3 (c) shows a segment of the recorded history containing mode changes, failed login attempts, and security alerts derived from the logged data. These results validate the selective-write strategy used to preserve memory longevity and prove that the system can serve as a “Black Box” for post-incident security auditing.

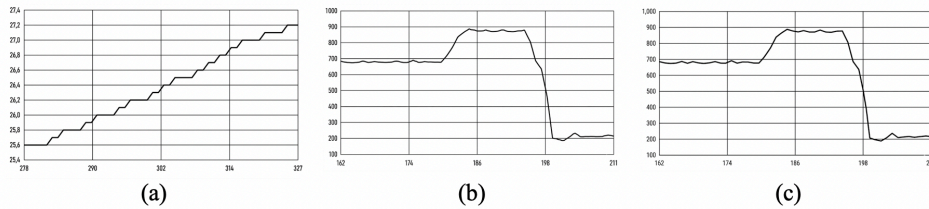


Figure 3. System (a) sensor data stability, (b) real-time LDR data and (c) event logs from EEPROM

The complete system was subjected to extended runtime tests to evaluate long-term performance. For several hours, the system was operated in Automatic Mode while environmental conditions were varied gradually. Throughout testing, the LDR responded accurately to both natural and artificial light shifts, the fan operated continuously without PWM collapse, and the servo executed emergency responses cleanly. Crucially, no unintended resets or freezes were observed. This confirmed the robustness of the electrical design, the reliability of the FSM structure, and the efficiency of the data processing pipeline. Overall, the results demonstrate that the smart home prototype meets all project objectives. Sensor behavior is accurate and stable, actuator responses are smooth and reliable, operational modes function without interference, communication latency is minimal, and EEPROM logging provides durable traceability. The results confirm that the system is both technically sound and suitable for real-world deployment as a compact home automation controller.

Conclusions

The smart home automation system prototype developed in this study was comprehensively tested in terms of hardware integrity, sensor/actuator performance, Bluetooth communication, and EEPROM-based event logging, and it has been experimentally verified that all fundamental requirements are met. The physical assembly exactly matched the theoretical circuit schematic; the DHT22 sensor produced stable temperature and humidity readings without oscillation, while the PIR sensor exhibited no false activations. The average command response time of under 150 ms via Bluetooth demonstrated sufficient performance for real-time user interaction, and the exponential smoothing algorithm applied to LDR data eliminated flickering effects in LED brightness, providing precision and comfort in actuator behavior. Critical events such as unauthorized access attempts, mode changes, and fire alarms recorded in EEPROM maintained

data integrity even after repeated tests, establishing the system as a reliable black box for security auditing. During long-term operation tests, no freezing, resets, or PWM degradation were observed; responses to varying environmental conditions in Automatic Mode were accurate and delay-free. In conclusion, the developed prototype meets all design objectives in terms of measurement accuracy, response speed, communication stability, and logging reliability, offering a compact, scalable, and deployment-ready smart home controller as an original application for real-world conditions. Despite its successful operation, the current prototype has several limitations. First, the HC-06 Bluetooth module offers limited range (approximately 10 m line-of-sight) and poor wall penetration, which restricts deployment in larger or multi-room homes. Second, the internal EEPROM has a finite write endurance of about 100,000 cycles. Although conditional logging minimizes writes, heavy security event logging could eventually wear out the memory. Third, the system was tested only in a laboratory environment, not in a real household over extended periods. Future work will address these limitations by migrating to BLE, e.g., HM-10 module, for improved range and lower power consumption. A wear-leveling algorithm will be implemented to extend EEPROM lifetime, or external flash memory will be used instead. Additionally, real-home long-term deployment and user experience studies are planned to validate the system's practical reliability.

Funding

This research received no funding.

Conflict of interest statement

Authors declare no competing interests.

Ethics Committee Statement

This study was carried out solely within the scope of prototype production and technical evaluation, without involving any human or animal participants. Therefore, ethics committee approval was not required.

References

- [1] Algani, Y. M., Balaji, S., AlbertRaj, A., Elangovan, G., PJ, S. K., Agordzo, G. K., & Pentang, J. T. (2021). Integration of internet protocol and embedded system on IoT device automation.
- [2] Alim, S. A., Shobowale, K. O., David, C. N., Mahmood, M. N., &

- Ismail, N. (2024). Development of smart home automation system for light, sockets and fan control with mobile application. *Journal of Engineering for Development*, 16(4), 40-54.
- [3] Babangida, L., Perumal, T., Mustapha, N., & Yaakob, R. (2022). Internet of Things (IoT) based activity recognition strategies in smart homes: A review. *IEEE Sensors Journal*, 22(9), 8327-8336.
- [4] Candan, A., & Erdem, M. (2020). Design and implementation of a low-cost smart home automation system using Arduino and mobile control. *Journal of Electronic Systems*, 12(3), 145–152.
- [5] Chakraborty, A., Islam, M., Shahriyar, F., Islam, S., Zaman, H. U., & Hasan, M. (2023). Smart home system: a comprehensive review. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2023(1), 7616683.
- [6] Chinnathambi, N. D., Nagappan, K., Samuel, C. R., & Tamilarasu, K. (2022). Internet of things-based smart residential building energy management system for a grid-connected solar photovoltaic-powered DC residential building. *International Journal of Energy Research*, 46(2), 1497-1517.
- [7] Das, D., Nishimura, Y., Vivek, R. P., Takeda, N., Fish, S. T., Ploetz, T., & Chernova, S. (2023). Explainable activity recognition for smart home systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 13(2), 1-39.
- [8] Dobrojevic, M., & Bacanin, N. (2022). IoT as a backbone of intelligent homestead automation. *Electronics*, 11(7), 1004.
- [9] Dwiansyah, R. O., & Prasetya, D. A. (2022). Smart home system with radio frequency using blynk application. *Editor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 177-184.
- [10] Giannaros, A., Karras, A., Theodorakopoulos, L., Karras, C., Kranias, P., Schizas, N., ... & Tsolis, D. (2023). Autonomous vehicles: Sophisticated attacks, safety issues, challenges, open topics, blockchain, and future directions. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 3(3), 493-543.
- [11] Gunge, V. S., & Yalagi, P. S. (2016). Smart home automation: a literature review. *International Journal of Computer Applications*, 975(8887-8891), 24679-2568.

- [12] Gupta, N., & Singh, R. (2019). IoT-based home automation using Bluetooth and sensor networks. *International Conference on Smart Technologies* (pp. 88–93). IEEE.
- [13] He, J., Lo, D. C. T., Xie, Y., & Lartigue, J. (2016, October). *Integrating Internet of Things (IoT) into STEM undergraduate education: Case study of a modern technology infused courseware for embedded system course*. In 2016 IEEE frontiers in education conference (FIE) (pp. 1-9). IEEE.
- [14] He, W., Baig, M. J. A., & Iqbal, M. T. (2024). An Internet of things—supervisory control and data acquisition (IoT-SCADA) architecture for photovoltaic system monitoring, control, and inspection in real time. *Electronics*, 14(1), 42.
- [15] İlhan, B., Karakaya, S., & Doğan, F. (2021). Development of an energy-adaptive lighting system using LDR-based feedback control. *International Journal of Embedded Systems*, 9(2), 101–110.
- [16] Khairullah, S. S., & Sharkawy, A. N. (2022). Design and implementation of a Reliable and Secure Controller for Smart Home Applications based on PLC. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(5), 614-621.
- [17] Kim, J., & Park, H. (2018). Real-time environmental monitoring using DHT22 temperature-humidity sensors for low-power automation systems. *Sensors and Actuators A*, 275, 72–80.
- [18] Kumar, V., & Verma, A. (2020). Performance evaluation of HC-05/HC-06 Bluetooth modules in embedded control applications. *International Journal of Wireless Technologies*, 4(1), 33–39.
- [19] Mehmood, M. U., Chun, D., Han, H., Jeon, G., & Chen, K. (2019). A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment. *Energy and Buildings*, 202, 109383.
- [20] Meng, H., Feng, S., & Li, C. (2024). An integrated system of energy generation, storages, and appliances consumption based on machine learning techniques and internet of things. *Journal of Energy Storage*, 87, 111380.
- [21] Merlin Sajini, M. L., Suja, S., Merlin Gilbert Raj, S., Kowsalyadevi, S., & Maria, C. (2023). Finite state machine-based load scheduling

- algorithm for smart home energy management. *IETE Journal of Research*, 69(10), 7460-7475.
- [22] Naved, H., Mustafa, R., & Khan, A. (2022). State-machine-based control architecture for hybrid manual/automatic smart systems. *Proceedings of the International Conference on Computing and Automation* (pp. 211–218). IEEE.
- [23] Oluwafemi, I. B., Bello, O. O., & Obasanya, T. (2023). Design and implementation of a smart home automation system. *Innovare Journal of Engineering and Technology*, 16(4), 3-7.
- [24] Popescu, S. M., Mansoor, S., Wani, O. A., Kumar, S. S., Sharma, V., Sharma, A., ... & Chung, Y. S. (2024). Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1336088.
- [25] Rahmanović, A., Hakić, E., Saračević, M., & Međedović, E. (2023). Application and Development of Embedded Systems with IoT Components: Aspect of Safety and Reliability. *SAR Journal* (2619-9955), 6(4), 236-246.
- [26] Salah, W. A., & Jamal, K. (2017). PIR-based motion detection systems: Optimization of sensing angle and delay characteristics. *Electrical and Electronic Engineering Research*, 5(3), 121–128.
- [27] Shahidehpour, M., Li, Z., & Ganji, M. (2018). Smart cities for a sustainable urbanization: Illuminating the need for establishing smart urban infrastructures. *IEEE Electrification Magazine*, 6(2), 16-33.
- [28] Suharto, A. (2025). Design and Build IoT Smart Home System with Blocks Based App Inventor Programming. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(7), 1016-1026.
- [29] Trivedi, P. (2016). PWM-controlled dimming algorithms for MOSFET-based LED drivers. *International Journal of Power Electronics*, 14(2), 92–101.
- [30] Xu, B., Hussain, B., Wang, Y., Cheng, H. C., & Yue, C. P. (2022). Smart home control system using vlc and bluetooth enabled ac light bulb for 3d indoor localization with centimeter-level precision. *Sensors*, 22(21), 8181.
- [31] Vandana, S. S., Abinandhan, K., & Ramesh, S. R. (2022, June).

Implementation of smart home using finite state machine model. In 2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES) (pp. 45-49). IEEE.

- [32] Visan, I., & Diaconu, E. M. (2022). Home automation system using ESP8266 microcontroller and Blynk application. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, 21(2), 59-62.
- [33] Yavuz, E. (2024). Low-Cost Embedded System Design for Smart Home Automation Using RF Technology. *Applied Computer Systems*, 29(2), 1-13.

MFCCFusionnet: A CNN–DNN feature-fusion model for speech emotion recognition using MFCC representations

Neslihan GÜNDOĞAN¹
Buket İŞLER^{*2}

Geliş tarihi / Received: 29.04.2026

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.04.2026

Kabul tarihi / Accepted: 29.06.2026

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v21i730010

Abstract

Speech emotion recognition has become an increasingly important research area because of its potential to enhance human–machine interaction and support the development of emotion-aware systems. However, further comparative evidence is still needed on how different deep learning architectures perform when they are trained using the same acoustic feature representation. In this study, an experimental comparison was conducted using the RAVDESS (Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song) dataset. Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) were used as the sole feature extraction method, and three deep learning architectures were designed and evaluated: a Convolutional Neural Network (CNN), a Deep Neural Network (DNN), and a hybrid feature-fusion model named MFCCFusionNet. The CNN and DNN models achieved classification accuracies of 81% and 76%, respectively. The proposed MFCCFusionNet model combined the learned representations obtained from the CNN and DNN sub-models and achieved the highest accuracy among the evaluated models, with a test accuracy of 83%. The findings indicate that MFCC-based representations can be effectively processed by different deep learning architectures and that feature-level fusion may improve classification performance in speech-based emotion recognition. The study provides preliminary evidence that feature-level

¹ İstanbul Topkapı Üniversitesi, nespo_ozkan@hotmail.com, ORCID:0000-0002-7366-3476

^{2*} Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: İstanbul Topkapı Üniversitesi, buketisler@topkapi.edu.tr, ORCID:0000-0002-9393-9564

fusion of CNN- and DNN-based MFCC representations may improve classification performance in speech emotion recognition.

Keywords: *Speech emotion recognition, MFCC, deep learning architectures*

MFCCFusionNet: MFCC temsilleri kullanılarak konuşma duygu tanıma için CNN–DNN tabanlı bir özellik birleştirme modeli

Öz

Konuşma duygu tanıma, insan–makine etkileşimini geliştirme ve duygu farkındalığına sahip akıllı sistemlerin geliştirilmesini destekleme potansiyeli nedeniyle önemli bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Bununla birlikte, aynı akustik özellik temsili kullanılarak eğitilen farklı derin öğrenme mimarilerinin nasıl performans gösterdiğine ilişkin daha fazla karşılaştırmalı kanıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, RAVDESS veri seti kullanılarak deneysel bir karşılaştırma yapılmıştır. Mel-frekansı kepsstral katsayıları (MFCC’ler) tek özellik çıkarım yöntemi olarak kullanılmış ve üç derin öğrenme mimarisi tasarlanarak değerlendirilmiştir: Evrişimli Sinir Ağı (CNN), Derin Sinir Ağı (DNN) ve MFCCFusionNet olarak adlandırılan hibrit özellik birleştirme modeli. CNN ve DNN modelleri sırasıyla %81 ve %76 sınıflandırma doğruluğu elde ederken, önerilen MFCC-Fuse modeli %83 test doğruluğu ile değerlendirilen modeller arasında en yüksek başarıyı göstermiştir. Bulgular, MFCC tabanlı temsillerin farklı derin öğrenme mimarileri tarafından etkili biçimde işlenebildiğini ve özellik düzeyinde birleştirmenin konuşma duygu tanıma performansında sınırlı fakat olumlu bir iyileşme sağlayabileceğini göstermektedir. Genel olarak çalışma, MFCC özelliklerinden öğrenilen CNN ve DNN tabanlı temsillerin birleştirilmesinin konuşma tabanlı duygu tanıma modellerinin ayırt edici kapasitesini artırabileceğine ilişkin ön kanıt sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Konuşma duygu tanıma, MFCC, derin öğrenme mimarileri, özellik birleştirme, CNN, DNN*

Introduction

In recent years, speech emotion recognition (SER) has become an increasingly important research area within artificial intelligence and human–computer interaction. SER systems aim to automatically identify emotional states from vocal expressions and thereby support the development of more responsive, adaptive, and context-aware technologies. Such systems have potential applications in virtual assistants, customer service automation, distance education, social robotics, driver monitoring, affective computing, and digital mental health technologies. As these application areas continue to expand, the development of reliable and computationally efficient SER models has become an important research priority. The performance of SER systems largely depends on the quality of acoustic feature representation and the suitability of the classification model used to process these features. Speech signals contain complex information distributed across both temporal and frequency domains. Emotional expression may be reflected through variations in spectral structure, intensity, rhythm, articulation, and other acoustic characteristics. Therefore, feature extraction is a critical stage in SER because it transforms raw speech signals into structured representations that can be processed by machine learning or deep learning models. The main objective at this stage is to obtain compact yet informative representations that preserve emotion-related acoustic patterns without introducing excessive computational complexity. Various feature extraction techniques have been developed for speech-based emotion recognition. Linear Predictive Coding (LPC), Perceptual Linear Prediction (PLP), Gammatone Frequency Cepstral Coefficients (GFCC), and RASTA-PLP have been used to represent different aspects of speech signals. LPC and PLP are effective in modelling the spectral envelope and articulatory-related characteristics of speech; however, when used alone, they may be limited in capturing the broader acoustic variations associated with emotional expression. GFCC provides a perceptually motivated representation and is often considered useful under noisy conditions, although its implementation may introduce additional computational complexity depending on the experimental setting. Despite these alternatives, Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) remain one of the most widely used feature extraction methods in speech processing and SER studies because they provide a compact, computationally efficient, and perceptually informed representation of speech signals. MFCC extraction is based on the frequency sensitivity of

the human auditory system. In this process, the speech signal is divided into short-time frames and transformed into the frequency domain using the short-time Fourier transform. The resulting spectrum is passed through Mel-scaled filter banks, logarithmic energy values are computed, and the discrete cosine transform (DCT) is applied to obtain cepstral coefficients. In this way, MFCCs primarily represent the short-term spectral envelope of speech and may indirectly reflect emotion-related acoustic variations embedded in the signal. Their low-dimensional structure, computational efficiency, and established use in speech-based classification tasks make them suitable for comparative deep learning experiments. In traditional SER approaches, hand-crafted acoustic features such as MFCCs are generally classified using supervised machine learning algorithms. Support Vector Machines (SVM), Hidden Markov Models (HMM), Gaussian Mixture Models (GMM), K-Nearest Neighbour (KNN), Decision Trees, Random Forests, Naive Bayes classifiers, and Logistic Regression have been frequently used for this purpose. These methods can provide acceptable classification performance, particularly in relatively small or controlled datasets. For example, SVM can construct effective decision boundaries in high-dimensional feature spaces, whereas HMM is useful for modelling sequential characteristics of speech. However, traditional machine learning methods generally depend heavily on predefined feature representations and may have limited adaptability when speech signals vary according to speaker identity, accent, speaking style, recording condition, or emotional intensity. Consequently, their generalisation capacity may be restricted in more heterogeneous conditions [1]. To address these limitations, deep learning architectures have increasingly been adopted in SER research. Deep learning models can learn hierarchical and nonlinear representations from acoustic inputs and may capture complex patterns that are difficult to represent through traditional classifiers alone. Convolutional neural networks (CNNs), although originally developed for image processing, have been widely applied to two-dimensional acoustic representations such as spectrograms, Mel-spectrograms, and MFCC matrices. When applied to MFCC-based inputs, CNNs can learn local time–frequency patterns and generate abstract feature maps that are useful for distinguishing emotional categories [2,3]. Deep neural networks (DNNs), by contrast, process feature vectors through multilayered fully connected structures. When MFCC features are provided as input, DNNs can transform low-level acoustic representations into more

abstract feature spaces and perform classification based on nonlinear combinations of these features. Although DNNs do not explicitly model local time–frequency relationships in the same way as CNNs, they can still serve as effective baseline architectures for SER tasks when compact and informative acoustic representations are used [4]. Long short-term memory (LSTM) networks have also been widely used in SER because of their ability to model temporal dependencies in sequential speech data. LSTM architectures are particularly useful for tracking changes in emotional expression over time and for learning temporal patterns related to rhythm, continuity, and dynamic acoustic variation [5,6]. However, the present study focuses specifically on CNN and DNN architectures in order to examine whether local pattern extraction and dense feature abstraction can provide complementary representations when trained on the same MFCC-based input. Although individual deep learning architectures have produced promising results in SER, single-model approaches may capture only certain aspects of speech representation. CNNs are effective in extracting local time–frequency patterns, whereas DNNs can learn abstract relationships among acoustic features in a fully connected feature space. These differences suggest that the representations learned by CNN and DNN architectures may contain complementary information. Accordingly, hybrid architectures and feature-fusion strategies have increasingly been explored in recent SER studies as a way of combining different representational strengths within a unified classification framework [7]. Recent studies have reported promising results using transfer learning, hybrid neural architectures, speaker embeddings, and multi-feature fusion strategies. For instance, Jakubec et al. [8] used transfer learning with speaker representation models such as d-vector, x-vector, and r-vector structures. Rajapakshe et al. [9] proposed the emoDARTS framework for the joint optimisation of CNN and sequential neural network architectures. Ulgen et al. [10] examined emotional clustering in speaker embeddings, while other studies have combined MFCCs with prosodic features, CNN-based representations, or ensemble structures to improve SER performance [11–14]. These studies indicate that the integration of complementary feature representations may improve the ability of SER models to distinguish complex emotional patterns. Within this framework, the present study comparatively evaluates CNN and DNN architectures using MFCC-based features extracted from the RAVDESS dataset and proposes a hybrid feature-fusion model named MFCCFusionNet. In the proposed model, the

CNN and DNN sub-models are first trained separately on the same MFCC-based emotion recognition task. Then, the representations learned by these sub-models are reused and concatenated within a unified classification structure. Therefore, the proposed approach should be understood not as transfer learning based on an external pre-trained model, but as an intra-dataset representation reuse and feature-level fusion strategy. This distinction is important because the model aims to examine whether task-specific representations learned by different architectures from the same acoustic input can improve classification performance when integrated into a single framework. The main contribution of this study is threefold. First, it provides a controlled comparison of CNN and DNN architectures under the same MFCC-based feature extraction and classification conditions. Second, it proposes MFCCFusionNet as a CNN–DNN feature-fusion model that combines local pattern extraction and abstract feature representation within a unified structure. Third, it evaluates whether the fusion of learned representations can provide a measurable improvement over individual baseline models in speech-based emotion recognition. In this respect, the study contributes to ongoing research on compact and interpretable deep learning approaches for SER, while also providing preliminary evidence on the potential value of feature-level fusion using MFCC representations. Beyond achieving high classification accuracy, this study offers a distinctive contribution to the literature by providing a comparative analysis of how different deep learning architectures extract and leverage distinct representation information from the same acoustic feature set.

Method

Dataset

The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS) was used as the dataset in this study. RAVDESS is an open-access and multimodal emotional expression dataset that has been widely used in speech emotion recognition research. It consists of high-quality audio and video recordings produced by 24 professional actors, including 12 female and 12 male speakers, who speak English with a North American accent. In the dataset, each actor vocalised two semantically neutral sentences, “Kids are talking by the door” and “Dogs are sitting by the door”, across eight emotional categories: neutral, calm, happy, sad, angry, fearful, disgusted, and surprised. Each emotional category was recorded at different intensity levels, except for the neutral category,

and each sentence was repeated twice. Therefore, although RAVDESS is balanced in terms of actor gender, the emotional speech subset contains a mild class imbalance across emotion categories. This imbalance mainly arises from the neutral category, as neutral expressions are not recorded with a strong-intensity condition, unlike most other emotional categories. Consequently, the neutral class contains fewer samples than the other emotion classes. Although the full audio version of RAVDESS includes both speech and song recordings, only the emotional speech subset was used in the present study. Accordingly, the analyses were conducted on 1,440 speech recordings. Song recordings were excluded from the analysis in order to ensure methodological consistency and to focus exclusively on speech-based emotion recognition. All audio files were recorded at a sampling rate of 48 kHz and a resolution of 16 bits. In the present study, the mild class imbalance in the dataset was considered during data partitioning and performance evaluation. A stratified 80:20 training–test split was used to preserve the proportional distribution of emotion categories across both subsets. This ratio was selected after preliminary empirical trials with alternative partitioning ratios, as it provided comparatively stable classification performance while retaining a sufficient number of samples for independent testing. As a result, 1,152 recordings were used for model training and 288 recordings were reserved for testing. In addition to overall accuracy, class-based precision, recall, F1-score, and confusion matrices were reported to provide a more detailed evaluation of model behaviour across both underrepresented and more frequently represented emotion classes.

Methodology

In this study, three different deep learning architectures were designed and comparatively evaluated for the task of speech emotion recognition using MFCCs. The methodological approach was structured around three main components: audio signal preprocessing, deep learning-based feature extraction, and the classification process. In the first stage, the audio samples obtained from the RAVDESS dataset were digitised and subjected to preprocessing. The audio signals were processed at a sampling rate of 48 kHz and a resolution of 16 bits, and MFCC-based features were extracted from these signals. Each audio sample was divided into segments using a 25 ms window size and a 10 ms frame shift, with each frame being represented by 64 MFCC coefficients. This procedure strengthened the representation of speech in the time–frequency domain and generated low-

dimensional, information-rich vectors suitable for model input. The MFCC features obtained after the preprocessing stage were evaluated using three different model architectures: (i) CNN, (ii) DNN, and (iii) a hybrid feature-fusion architecture developed by combining the learned representations of the CNN and DNN sub-models, referred to as MFCCFusionNet. The CNN model consisted of three consecutive convolutional blocks and a fully connected classification layer. In each block, convolution, ReLU activation, batch normalisation, and max pooling operations were applied, respectively. The feature maps obtained from the final block were flattened and transferred to a dense layer with 256 neurons, after which the final classification was performed using dropout and a softmax layer. This architecture aimed to capture the differences between emotion classes by learning local patterns from the two-dimensional representation of MFCCs. The DNN architecture consisted of three fully connected dense layers containing 512, 256, and 256 neurons, respectively. ReLU activation, batch normalisation, and dropout were applied in each layer. This structure enabled the direct classification of MFCC features as one-dimensional vectors and allowed abstract representations to be learned progressively across layers. The proposed hybrid architecture was developed by combining the learned representations obtained from the final layers of the CNN and DNN models after these models had been trained separately. The feature vectors obtained from the dense layer of the CNN and the final hidden layer of the DNN were merged in a Concatenate layer, and classification was subsequently performed through two dense layers containing 128 and 64 neurons. In this architecture, batch normalisation, ReLU activation, and dropout were applied to each dense layer to improve generalisation capability. MFCCFusionNet aimed to improve classification performance by integrating the complementary learning capacities of different architectures. All models were trained on the RAVDESS dataset using an 80:20 training–test split, which provided the highest performance following preliminary experiments conducted with various data partitioning ratios. To ensure a consistent experimental setting, the same preprocessing, feature extraction, training, and evaluation procedures were applied to all three models. The models were trained using the Adam optimisation algorithm and a multi-class classification loss function suitable for the eight emotion categories. To reduce the risk of overfitting, dropout and batch normalisation were applied within the model architectures. The final evaluation was performed on the held-out test set, which was not used

during model training. In order to provide a fair comparison among the CNN, DNN, and MFCCFusionNet architectures, the same MFCC feature configuration, data partitioning strategy, class labels, and performance metrics were retained across all experiments. Performance evaluation was conducted using class-based metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. In addition, confusion matrices were generated for each model to visualise within-class and between-class prediction performance.

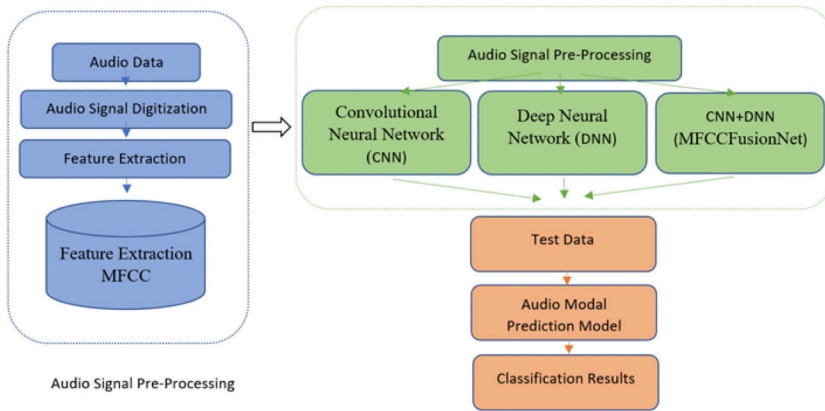


Figure 1. Deep learning emotion recognition process steps

Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)

MFCCs are an effective feature extraction technique that enables meaningful and discriminative features to be automatically derived from audio signals. This method has been widely used in various application areas, particularly speech processing, automatic speech recognition, biometric systems, and speech-based emotion recognition. MFCC are based on the Mel scale, which models the sensitivity of the human auditory system to different frequencies. This scale transforms the frequency axis into a logarithmic structure based on the assumption that the human ear is more sensitive to lower frequencies. Thus, the audio signal can be represented in a form that is more closely aligned with human auditory perception. In the MFCC extraction process, the speech signal is divided into short-time frames to allow fixed-duration analysis. A Hamming window is then applied to each frame, and the transition from the time domain to the frequency domain is performed using the fast Fourier transform (FFT). This spectrum is filtered according to the Mel scale, and the logarithmic energy distribution is obtained. In the final stage, the discrete cosine transform (DCT) is applied

to derive the cepstral coefficients. These coefficients generate information-rich vectors that contain prosodic and acoustic characteristics of speech, such as pitch, intonation, and energy, beginning from the fundamental frequency components. One of the main advantages of MFCCs is that they provide low-dimensional features with high representational capacity. This reduces computational cost and enables classification algorithms to operate more effectively and rapidly. In addition, the relative robustness of MFCC vectors against noise increases their reliability in the analysis of audio signals. For these reasons, MFCCs have become one of the most widely preferred feature extraction methods in contemporary speech and emotion recognition systems [16].

Convolutional neural networks (CNN)

CNNs are among the deep learning architectures widely used particularly in the field of image processing, owing to their capacity to automatically learn local patterns. Features are extracted through convolution and pooling operations applied to the input data, and these representations are reconstructed at an abstract level in deeper layers. The ability to model temporal and frequency-based patterns in multidimensional data also makes CNNs an effective option for speech-based emotion recognition systems. In this context, CNNs have been shown to produce successful results on two-dimensional feature representations such as MFCC, Mel-spectrograms, and filter banks. Their ability to learn patterns containing emotional information, such as rhythm, intonation, and spectral energy, improves classification performance. In addition, parameter sharing and convolution operations reduce computational cost and mitigate the risk of overfitting. In these respects, CNN stands out in speech-based emotion recognition systems as both a powerful feature extraction mechanism and an efficient approach that provides high classification accuracy.

Deep neural networks (DNN)

DNNs are deep learning architectures capable of learning complex nonlinear relationships through multilayered fully connected structures. The connection of each neuron to all neurons in the preceding layer enables abstract representations to be extracted from high-dimensional data and improves classification performance. Particularly when trained with sufficient data, DNNs can represent the intrinsic characteristics of the data in an increasingly abstract manner across successive layers. In speech-based emotion recognition applications, DNNs operate on feature vectors

such as MFCCs and can directly learn the underlying emotional patterns in speech, thereby strengthening the distinction between classes. While architectures such as CNNs focus on spatial patterns, DNNs operate within a more general feature space and produce useful results in feature-level classification tasks. In this respect, they are widely used in speech-based emotion recognition systems and contribute to classification performance.

Hybrid architecture and feature-level fusion

This study employs a hybrid architecture strategy, which involves the integration of task-specific representations learned by separately trained CNN and DNN sub-models. Unlike conventional transfer learning, where a pre-trained model is adapted to a new domain, the approach proposed in this study focuses on intra-dataset feature fusion. By constructing a unified structure, we aim to combine the local pattern extraction capabilities of the CNN sub-model with the abstract feature representation capabilities of the DNN sub-model. This design enables the fusion of complementary acoustic information learned from the same dataset, thereby enhancing the model's ability to capture complex emotional patterns. This feature-level fusion approach ensures that the model leverages the distinct strengths of both architectures, leading to more robust emotion recognition performance without the need for external large-scale pre-trained networks.

Results

CNN analysis results

The first model architecture developed in this study was structured, as shown in Table 1, to consist of three convolutional blocks and one fully connected classification layer. Each block was designed to include a convolutional layer, a ReLU activation function, and a max-pooling layer. In this way, hierarchical learning was performed; first, low-level features were captured, and then more abstract and complex patterns were learned. The convolutional layers were responsible for extracting local patterns from the MFCC feature matrices provided as input, whereas the pooling layers reduced the spatial dimensions, thereby improving computational efficiency and reducing the risk of overfitting. By using 128, 96, and 64 filters, respectively, the features were represented at progressively higher levels of abstraction. The feature maps obtained from the convolutional blocks were flattened and transferred to a dense layer with 256 neurons. In this layer, batch normalisation and dropout at a rate of 50% were applied to improve the training process. Finally, an output layer with softmax

activation was used for the eight-class emotion recognition task. This architecture was designed to provide high classification performance by effectively learning both low-level acoustic features and emotional patterns.

Table 1. Architectural configuration and parameter specifications of the CNN model

Layer (Type)	Output Shape	Number of Parameters
Conv2D	(None, 128, 228, 128)	3328
BatchNormalization	(None, 128, 228, 128)	512
Activation	(None, 128, 228, 128)	0
MaxPooling2D	(None, 64, 114, 128)	0
Conv2D	(None, 64, 114, 96)	196704
BatchNormalization	(None, 64, 114, 96)	384
Activation	(None, 64, 114, 96)	0
MaxPooling2D	(None, 32, 57, 96)	0
Conv2D	(None, 32, 57, 64)	55360
BatchNormalization	(None, 32, 57, 64)	256
Activation	(None, 32, 57, 64)	0
MaxPooling2D	(None, 16, 28, 64)	0
Flatten	(None, 28672)	0
Dense	(None, 256)	7340288
BatchNormalization	(None, 256)	1024
Activation	(None, 256)	0
Dropout	(None, 256)	0
Dense	(None, 8)	2056

The performance of the model was evaluated on the test dataset, as presented in Table 2, with an accuracy rate of 81%. This accuracy rate indicates that the proposed CNN-based architecture achieved generally successful classification performance in the speech-based emotion recognition task. The model performance was detailed not only through the overall accuracy rate but also through the F1-score values calculated for each emotion class. According to the classification report obtained, the emotion classes for which the model achieved the highest F1-score values were “disgust” (89%), “surprised” (87%), and “calm” (86%), respectively.

Table 2. Class-based performance metrics of the CNN-based emotion recognition model

	Precision	Recall	F1-score	Support
Angry	0.78	0.78	0.78	36
Calm	0.83	0.89	0.86	44
Disgust	0.86	0.92	0.89	39
Fearful	0.89	0.71	0.79	34
Happy	0.80	0.78	0.79	41
Neutral	0.82	0.70	0.76	20
Sad	0.72	0.76	0.74	34
Surprised	0.84	0.90	0.87	40
Accuracy			0.81	288
Macro avg	0.82	0.80	0.81	288
Weighted avg	0.82	0.82	0.81	288

In addition, the classification performance of the model was analysed in greater detail through the confusion matrix presented in Figure 2. The matrix clearly shows that the model predicted the “disgust” and “surprised” classes with high accuracy. This indicates that the frequency-based features of these emotions could be easily distinguished by the model and that their likelihood of being confused with other classes was low.

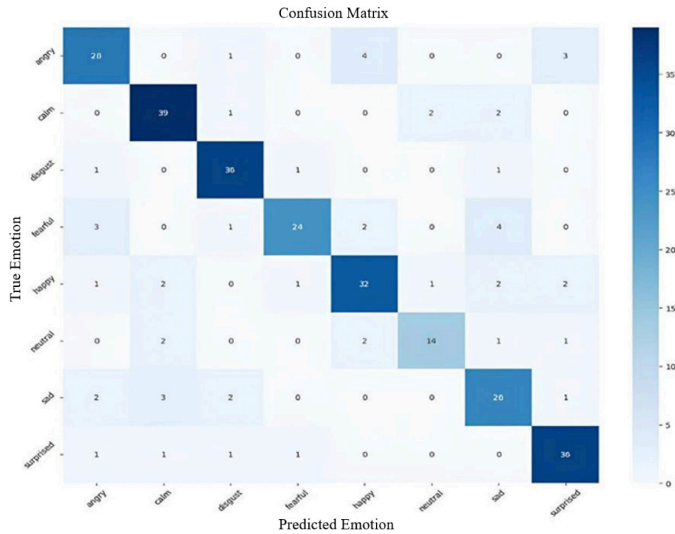


Figure 2. Confusion Matrix of the CNN Model

DNN analysis results

The second model applied in this study was the DNN-based architecture, which was constructed from three consecutive dense layers designed to process the MFCC features provided as input. These layers contained 512, 256, and 256 neurons, respectively. Each dense layer was sequentially followed by a ReLU activation function, batch normalisation, and dropout at a rate of 50%. This configuration was designed to enable the first dense layer to learn high-dimensional MFCC-based feature representations in detail, while the subsequent layers transformed these representations into more compact and abstract feature spaces.

Through the ReLU activation function applied in each dense layer, nonlinear relationships within the MFCC feature vectors were modelled. Batch normalisation contributed to the stability of the learning process, whereas dropout was applied to reduce the risk of overfitting. In particular, the 512 neurons in the first dense layer were used to support the effective processing of detailed acoustic features extracted from the MFCC matrices. The following two dense layers, each containing 256 neurons, were used to obtain lower-dimensional and more abstract representations, thereby strengthening the generalisation capability of the model. The architectural structure of the DNN model is presented in Table 3, together with the output dimensions and parameter counts of each layer.

Table 3. Architectural configuration and parameter specifications of the DNN model

Layer (Type)	Output Shape	Number of Parameters
Dense	(None, 512)	7,471,616
BatchNormalization	(None, 512)	2,048
Activation	(None, 512)	0
Dropout	(None, 512)	0
Dense	(None, 256)	131,328
BatchNormalization	(None, 256)	1,024
Activation	(None, 256)	0
Dropout	(None, 256)	0
Dense	(None, 256)	65,792
BatchNormalization	(None, 256)	1,024
Activation	(None, 256)	0
Dropout	(None, 256)	0
Dense	(None, 8)	2,056

As shown in Table 4, the DNN-based model achieved an overall accuracy of 76% on the test set. The calm and angry classes stood out as the most successfully classified emotions, with F1-score values of 0.87 and 0.83, respectively. By contrast, relatively lower performance was observed for the happy and fearful classes, with F1-score values of 0.68 and 0.70, respectively. The neutral class also showed a relatively low recall value of 0.65, indicating that neutral samples were more difficult to detect correctly. When the average performance values are considered, the macro-averaged and weighted-averaged F1-scores were both approximately 0.76. This indicates that the DNN model demonstrated a generally balanced classification performance across the emotion classes, although certain acoustically similar emotions were more difficult to distinguish.

Table 4. Class-based performance metrics of the DNN-Based emotion recognition model

	Precision	Recall	F1-score	Support
Angry	0.79	0.86	0.83	36
Calm	0.85	0.89	0.87	44
Disgust	0.74	0.79	0.77	39
Fearful	0.72	0.68	0.70	34
Happy	0.74	0.63	0.68	41
Neutral	0.81	0.65	0.72	20
Sad	0.68	0.76	0.72	34
Surprised	0.78	0.78	0.78	40
Accuracy			0.76	288
Macro avg	0.76	0.76	0.76	288
Weighted avg	0.76	0.76	0.76	288

The confusion matrix presented in Figure 3 provides a more detailed view of the class-based prediction performance of the DNN model. High correct classification rates were obtained for the calm class, with 39 out of 44 samples correctly classified, and for the angry class, with 31 out of 36 samples correctly classified. Similarly, the disgust and surprised classes were classified correctly in 31 out of 39 and 31 out of 40 samples, respectively. These findings suggest that the acoustic characteristics of these emotions were relatively more distinct and discriminative for the DNN architecture. By contrast, relatively higher confusion was observed in the happy and fearful classes. The model correctly classified 26 out of 41 happy samples and 23 out of 34 fearful samples. The happy emotion

was mainly confused with fearful and surprised emotions, while smaller numbers of samples were misclassified as angry, calm, sad, and neutral. In the neutral class, 13 out of 20 samples were correctly classified, whereas the remaining samples were mostly confused with calm and happy emotions. Overall, the confusion matrix indicates that the DNN model was more successful in distinguishing emotions with clearer acoustic patterns, such as calm, angry, disgust, and surprised. However, some classification errors occurred between emotionally and acoustically overlapping categories, particularly happy, fearful, neutral, and sad.

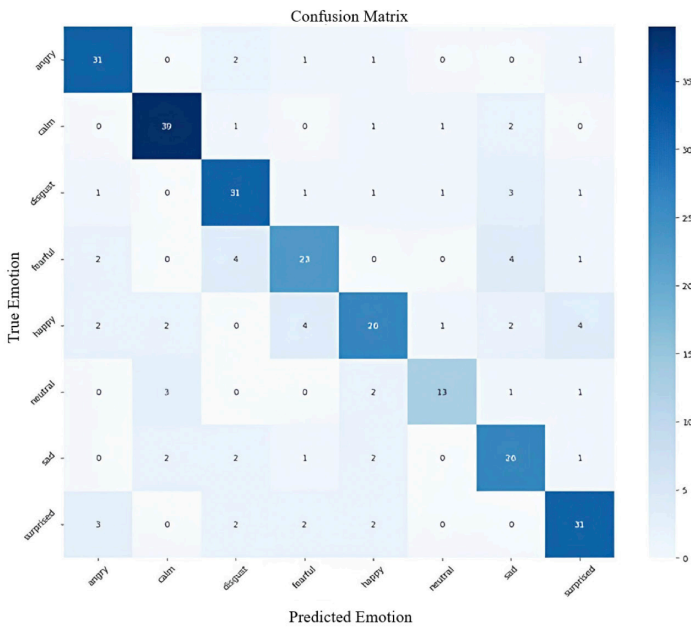


Figure 3. Confusion matrix of the DNN model

MFCCFusionnet hybrid model

The MFCCFusionNet model proposed in this study is a hybrid feature-fusion architecture developed by integrating MFCC-based representations learned by the CNN and DNN sub-models. In the first stage, the CNN and DNN architectures were trained separately on the same emotion recognition dataset in order to learn complementary acoustic representations from MFCC features. Subsequently, the trained layers of these sub-models were frozen and reused as fixed feature extractors within the hybrid architecture. In this sense, the model transfers task-specific representations learned by the individual sub-models into a unified classification structure. The proposed

model therefore does not rely on an external pre-trained network; rather, it reuses representations learned from the same dataset within an integrated feature-fusion framework. The 256-dimensional representation obtained from the dense layer of the CNN and the 256-dimensional representation obtained from the final hidden layer of the DNN were concatenated to form a 512-dimensional fused feature vector. The classification block was then constructed on this fused representation and consisted of two dense layers containing 128 and 64 neurons, respectively. Batch normalisation, ReLU activation, and dropout with a rate of 50% were applied in each dense layer to improve generalisation and reduce the risk of overfitting. This configuration enabled the complementary representations learned by the CNN and DNN sub-models to be integrated into a broader feature space. Thus, MFCCFusionNet was designed to improve emotion classification performance by combining local pattern extraction and abstract feature representation within a single architecture.

Table 5. Configuration and parameter specifications of the MFCCFusionNet model

Layer (Type)	Output Shape	Number of Parameters
Concatenate	(None, 512)	0
Dense	(None, 128)	65,664
BatchNormalization	(None, 128)	512
Activation	(None, 128)	0
Dropout	(None, 128)	0
Dense	(None, 64)	8,256
BatchNormalization	(None, 64)	256
Activation	(None, 64)	0
Dropout	(None, 64)	0
Dense	(None, 8)	520

The class-based performance metrics presented in Table 6 show that the MFCCFusionNet-based model achieved high accuracy and balanced classification performance in the speech-based emotion recognition task. The overall accuracy of the model on the test set was 83%. In particular, emotions such as disgust (88%), angry (87%), calm (87%), and surprised (87%) achieved high F1-score values, indicating that the model demonstrated strong discriminative capability for these classes. This success can be attributed to the combination of the CNN's ability to extract local patterns and the DNN's capacity to generate abstract representations.

A notable improvement was also observed for the happy (80%) and fearful (78%) emotions compared with the previous models. However, the F1-score values for neutral (72%) and sad (74%) remained lower, suggesting that these emotions tend to overlap more with other classes in acoustic terms. The macro-averaged and weighted-averaged F1-score values of the model, both at the level of 82–83%, indicate that generally balanced and strong classification performance was achieved across all classes. These results demonstrate that MFCCFusionNet can effectively learn features representing different emotion classes and has a generalisable structure.

Table 6. Class-based performance metrics of the MFCCFusionNet-based emotion recognition

	Precision	Recall	F1-score	Support
Angry	0.89	0.86	0.87	36
Calm	0.88	0.86	0.87	44
Disgust	0.85	0.90	0.88	39
Fearful	0.83	0.74	0.78	34
Happy	0.88	0.73	0.80	41
Neutral	0.74	0.70	0.72	20
Sad	0.69	0.79	0.74	34
Surprised	0.81	0.95	0.87	40
Accuracy			0.83	288
Macro avg	0.82	0.82	0.82	288
Weighted avg	0.83	0.83	0.83	288

The confusion matrix presented in Figure 4 reflects in detail the class-based discriminative capability of the MFCCFusionNet model. When the matrix is examined, it is observed that the model predicted the angry (31/36), calm (38/44), and disgust (35/39) emotions with high accuracy. The presence of distinct acoustic patterns in these classes reduced the risk of confusion with other emotions and made a positive contribution to the overall performance of the model. By contrast, a certain degree of confusion was observed in the fearful, happy, and neutral classes. For example, the happy emotion was occasionally confused with the surprised and neutral classes. This indicates that some emotions are more difficult to distinguish because of their acoustic similarities. Overall, the enriched representation structure generated through intra-dataset representation transfer and feature fusion enabled the model to effectively distinguish different emotional patterns. Thus, MFCCFusionNet provided a solution

with high accuracy and generalisability in the speech-based emotion recognition task.

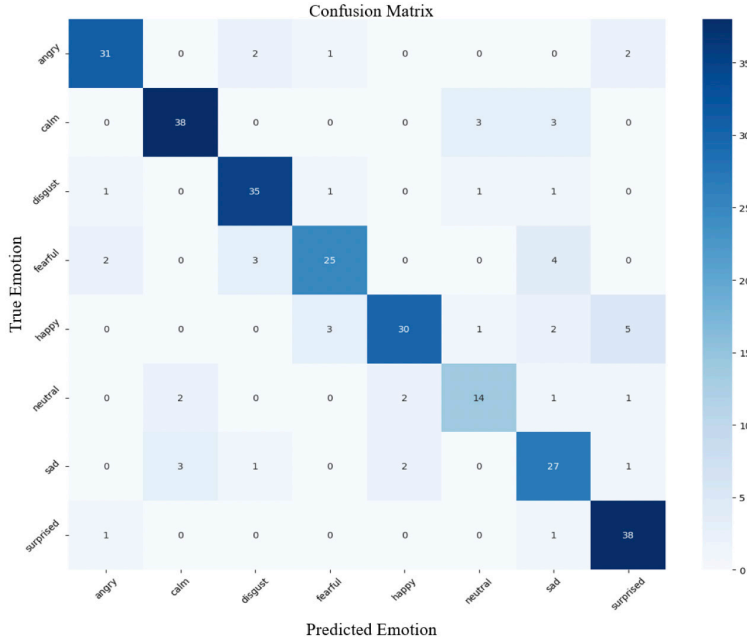


Figure 4. Confusion matrix of the MFCCFusionNet model

Discussion

In this study, three different deep learning models were developed and comparatively evaluated for the SER task using MFCC-based features extracted from the RAVDESS dataset. The findings indicate that CNN, DNN, and the proposed MFCCFusionNet model were all capable of learning discriminative representations from MFCC features. However, the hybrid feature-fusion strategy produced a more effective classification structure by integrating the complementary learning capacities of the CNN and DNN sub-models. The CNN architecture provided an effective solution for processing MFCC representations because of its ability to capture local acoustic patterns in the time–frequency domain. Since MFCC features contain compact information about the spectral and prosodic characteristics of speech, convolutional layers can identify emotion-related local variations more effectively than models based only on fully connected structures. This explains why the CNN model produced stable classification performance, particularly for emotions with more distinctive

acoustic patterns. Similar findings have also been reported in previous studies showing that CNN-based architectures can successfully process MFCC or spectrogram-based representations in SER tasks [18,19].

The confusion matrix results further suggest that emotions with clearer acoustic boundaries were classified more successfully, whereas acoustically overlapping categories were more difficult to distinguish. This is an expected outcome in SER studies because emotions such as neutral, sad, happy, and fearful may share similar prosodic cues depending on speaker characteristics, intensity level, and the acted nature of the dataset. Therefore, the classification errors observed between these categories should not be interpreted only as a limitation of the model architecture, but also as an indication of the intrinsic complexity of emotion recognition from speech. This issue has also been emphasised in previous studies that reported similar difficulties in distinguishing acoustically close emotion classes [20]. The DNN model also demonstrated a meaningful capacity to process MFCC-based input features. Its multilayered fully connected structure enabled the extraction of abstract representations from the acoustic feature vectors. However, unlike CNN architectures, DNNs do not explicitly model local spatial relationships within the MFCC representation. This may limit their ability to capture fine-grained time–frequency patterns that are relevant for emotion classification. Nevertheless, the findings indicate that a DNN architecture can still provide a useful baseline for SER when compact and information-rich acoustic features such as MFCCs are used. This supports previous studies showing that dense neural architectures may produce competitive results in speech-related classification problems when appropriate feature representations are provided [21,22]. The comparative findings show that the individual CNN and DNN models learned different types of information from the same MFCC input. While the CNN architecture was more effective in extracting local and structural patterns, the DNN architecture contributed to the formation of more abstract feature-level representations. This difference provides the main rationale for developing the proposed MFCCFusionNet model. By combining the representations learned by both sub-models, the hybrid architecture was able to construct a more comprehensive feature space for the final classification stage. MFCCFusionNet differed from the individual models by reusing the representations learned by the separately trained CNN and DNN sub-models within a unified feature-fusion structure. In this study, transfer learning was therefore applied in the sense of

transferring task-specific representations learned from the same dataset, rather than using an external pre-trained model. This point is important because the proposed model should be understood as a lightweight intra-dataset representation transfer and feature-fusion approach. Through this structure, the model benefited from both the local pattern extraction capacity of CNN and the abstract representation learning capability of DNN. The performance of the proposed hybrid model is consistent with the general direction of recent SER research, in which hybrid and feature-fusion-based architectures have increasingly been preferred to overcome the limitations of single-model approaches. Previous studies have shown that combining different neural components, such as CNN, BiLSTM, Transformer-based structures, ensemble learning, or transfer learning mechanisms, can improve the ability of SER systems to represent complex emotional patterns [23,24]. In this respect, the present study contributes to the literature by demonstrating that a relatively simple CNN–DNN fusion structure based only on MFCC features can produce a competitive and computationally efficient model. Compared with more complex hybrid or ensemble models, MFCCFusionNet has the advantage of relying on a single acoustic feature set and a relatively straightforward model integration strategy. Some previous approaches have used additional spectral images, temporal-context layers, dimensionality reduction procedures, or external pre-trained networks to improve classification performance [24,25]. Although such methods may achieve strong results, they may also increase computational complexity and reduce practical applicability, particularly in resource-constrained environments. By contrast, the proposed model offers a simpler and more interpretable structure while still benefiting from feature-level integration.

Another important implication of the findings is that MFCC features remain useful for SER when they are combined with appropriate deep learning architectures. Although recent studies have increasingly used complex acoustic descriptors, spectrogram images, or learned embeddings, MFCCs continue to provide a compact and computationally efficient representation of speech signals. The results of this study suggest that the effectiveness of MFCC features can be improved when they are processed through complementary neural architectures and then integrated at the representation level. Despite these contributions, several limitations should be acknowledged. First, the study was conducted using only the RAVDESS dataset, which consists of acted emotional speech.

Therefore, the generalisability of the findings to spontaneous speech, real-life conversations, multilingual contexts, or noisy environments remains limited. Second, although MFCC features provide an efficient acoustic representation, the exclusive use of a single feature type may restrict the model's ability to capture all emotional cues present in speech. Future studies may therefore integrate MFCCs with prosodic, spectral, or learned embedding-based features. Third, the proposed hybrid model was evaluated under experimental conditions, and further testing is required to determine its suitability for real-time or edge-device deployment. Overall, the findings indicate that feature-level integration is a promising strategy for improving speech emotion recognition performance. The proposed MFCCFusionNet model demonstrates that the complementary strengths of CNN and DNN architectures can be effectively combined within a unified classification framework. This provides both a methodological contribution to SER research and a practical direction for developing lightweight, efficient, and interpretable emotion recognition systems.

Conclusions

In this study, three deep learning architectures were compared for speech-based emotion recognition using MFCC features extracted from the RAVDESS dataset. The CNN, DNN, and MFCCFusionNet models were evaluated under the same experimental conditions. The results showed that all three models achieved acceptable classification performance; however, the hybrid MFCCFusionNet model achieved the highest accuracy among the evaluated architectures. This finding suggests that combining representations learned by CNN and DNN sub-models through feature-level fusion may improve the discriminative capacity of speech emotion recognition systems. The study indicates that MFCC features remain useful for emotion classification when they are processed through appropriate deep learning architectures. In particular, the proposed CNN–DNN fusion structure offers a relatively simple and computationally efficient approach compared with more complex hybrid models. Nevertheless, the study has several limitations. The experiments were conducted using only the RAVDESS dataset, which consists of acted emotional speech in English. Therefore, further validation is required using spontaneous speech data, multilingual datasets, different accents, and noisy real-world environments. Future studies may improve the proposed approach by incorporating additional acoustic features, applying data augmentation techniques, and testing the model in real-time or edge-device environments.

Such extensions may contribute to the development of more reliable and practically applicable speech emotion recognition systems for healthcare, education, customer service, and human–computer interaction.

Acknowledgement

This article was derived from the master’s thesis entitled “The Use of Deep Learning Approaches in Speech-Based Emotion Recognition”, prepared by Neslihan GÜNDOĞAN under the supervision of Assist. Prof. Dr. Buket İŞLER.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest.

Ethics Statement:

This study was conducted using the open-access RAVDESS dataset. No human or animal subjects were involved, and only existing audio recordings were analyzed. Therefore, ethical approval was not required.

References

- [1] Zhao, J., Mao, X., & Chen, L. (2019). Speech emotion recognition using deep 1D & 2D CNN LSTM networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 47, 312-323.
- [2] Makhmudov, F., Kutlimuratov, A., & Cho, Y. I. (2024). Hybrid LSTM–Attention and CNN Model for Enhanced Speech Emotion Recognition. *Applied Sciences*, 14(23), 11342.
- [3] Dinesh, P., Mishra, S. P., Warule, P., & Deb, S. (2024, December). Speech Emotion Recognition with DNN and Combination of CNN-LSTM. In *TENCON 2024-2024 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (pp. 1159-1162). IEEE.
- [4] Yang, Z., Li, Z., Zhou, S., Zhang, L., & Serikawa, S. (2024). Speech emotion recognition based on multi-feature speed rate and LSTM. *Neurocomputing*, 601, 128177.
- [5] Shetty, K. J., Shetty, S., & Shetty, M. (2024, April). Speech emotion recognition using lstm. In *2024 Third International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)* (pp. 1-6). IEEE.
- [6] Şeker, A., Diri, B., Balık, H. H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri

- ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47–64.
- [7] Ezz-Eldin, M., Khalaf, A. A. M., Hamed, H. F. A., & Hussein, A. I. (2021). Efficient feature-aware hybrid model of deep learning architectures for speech emotion recognition. *IEEE Access*, 9, 19999–20011.
- [8] Jakubec, M., Lieskovska, E., Jarina, R., Spisiak, M., & Kasak, P. (2024). Speech emotion recognition using transfer learning: Integration of advanced speaker embeddings and image recognition models. *Applied Sciences*, 14(21), 9981.
- [9] Rajapakshe, T., Rana, R., Khalifa, S., Sisman, B., Schuller, B. W., & Busso, C. (2024). emodarts: Joint optimisation of cnn & sequential neural network architectures for superior speech emotion recognition. *IEEE Access*.
- [10] Ulgen, I. R., Du, Z., Busso, C., Sisman, B. (2024). Revealing emotional clusters in speaker embeddings: A contrastive learning strategy for speech emotion recognition. *ICASSP 2024-2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 12081–12085.
- [11] Madan, P., Dixit, D., Shobana, J. (2024). Speech emotion recognition system using MLP Classifier Algorithm. *2024 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 1–6.
- [12] Şengül, F., Akkaya, S. (2024). A Modified MFCC-based deep Learning method for emotion classification from speech. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 8(1), 33–42.
- [13] Akinpelu, S., Viriri, S. (2024). Deep Learning Framework for Speech Emotion Classification: A Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Access*.
- [14] Chowdhury, J. H., Ramanna, S., & Kotecha, K. (2025). Speech emotion recognition with light weight deep neural ensemble model using hand crafted features. *Scientific Reports*, 15(1), 11824.
- [15] Donuk, K., Hanbay, D. (2022). Konuşma Duygu Tanıma için Akustik Özelliklere Dayalı LSTM Tabanlı Bir Yaklaşım. *Computer Science*, 7(2), 54–67.

- [16] Yetkin, A. K., Köse, H. (2023, July). Speech-Based Emotion Analysis Using Log-Mel Spectrograms and MFCC Features. In 2023 31st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [17] Kılıç, F. R. (2023). Modlar Arası Transfer Öğrenimi İle Ses Sinyallerinden Duygu Tanıma.
- [18] Mountzouris, K., Perikos, I., & Hatzilygeroudis, I. (2023). Speech emotion recognition using convolutional neural networks with attention mechanism. *Electronics*, 12(20), 4376.
- [19] Middya, A. I., Nag, B., Roy, S. (2024). Effective MLP and CNN based ensemble learning for speech emotion recognition. *Multimedia Tools and Applications*, 83(36), 83963-83990.
- [20] Kumar, C. A., Maharana, A. D., Krishnan, S. M., Hanuma, S. S. S., Lal, G. J., Ravi, V. (2022, December). Speech emotion recognition using cnn-lstm and vision transformer. In International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications (pp. 86-97). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [21] Zeng, Y., Mao, H., Peng, D. Yi, Z. Spectrogram based multi-task audio classification. *Multimed. Tools Appl.* 78, 3705–3722 (2019).
- [22] Issa, D., Demirci, M. F. & Yazici, A. Speech emotion recognition with deep convolutional neural networks. *Biomed. Signal Process. Control* 59, 101894 (2020).
- [23] Mustaqeem, M., Sajjad, M., & Kwon, S. (2020). Clustering-Based Speech Emotion Recognition by Incorporating Learned Features and Deep BiLSTM. *IEEE Access*, 8, 79861–79875.
- [24] Kim, S., Lee, S.-P. (2023). A BiLSTM–Transformer and 2D CNN Architecture for Emotion Recognition from Speech. *Electronics*, 12(19), 4034.
- [25] Akinpelu, S., Viriri, S., Adegun, A. (2023). Lightweight deep learning framework for speech emotion recognition. *IEEE Access*, 11, 77086-77098.

Yazar Kılavuzu

Aşağıda belirtilen yayın ilkeleri ve yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış yazılar, “makale sunum formu” ile birlikte e-posta yoluyla aşağıdaki adreslere gönderilebilir.

Çevirisi yapılmış makalelerin değerlendirmeye alınabilmesi için özgün metinlerin ve makale sahibinden (asıl yazar veya hak sahibi yayınevi) izin yazılarının da gönderilmesi zorunludur.

Ön inceleme ve hakem değerlendirmesi doğrultusunda geliştirilmek ve/veya düzeltilmek üzere yazarlarına geri gönderilen yazılar, gerekli düzeltmeler yapılarak en geç, bir ay içinde tekrar dergiye ulaştırılır.

Yapılan ön incelemede yazım kurallarına uyulmadığı tespit edilen makaleler düzeltilmesi için yazarına iade edilir ve yayım programına alınmaz.

Yayın İlkeleri

1. Dergide yayımlanan makaleler yazı işlerinin izni olmaksızın başka hiçbir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Makaledeki yazarlar isim sırası konusunda fikir birliğine sahip olmalıdır.
2. ABMYO Dergisi’ne gönderilen yazılar, referans sistemi, dipnot gösterme biçimi ve kaynakça düzenlenmesinde American Psychological Association (APA) stilinde hazırlanmalıdır. APA’nın 6. baskısı, yazarların dikkate alacağı versiyonu olmalıdır. Bununla birlikte kaynakça düzenlenirken Türkçe’ye uyarlanmış ve APA’nın istisnası olan hususlar da bulunmaktadır. Türkçede gün ve ay içeren tarihler önce gün, sonra ay şeklinde (örneğin 12 Şubat) yazılmalıdır.
3. ABMYO Dergisi’nde yayımlanan makaleler yayın tarihinden itibaren

derginin bir sonraki sayısına kadar tartışmaya açık olacaktır. Makaleler için yapılan eleştiriler dergide yayınlanacaktır.

4. Makaleler en fazla 12 sayfa olmalıdır. Makaleler en az Word 6.0/95 formatında diskette veya CD’de teslim edilmeli ya da ABMYO Dergisi elektronik posta adresine gönderilmelidir. Orijinal olarak hazırlanmış makaleler % 20 oranında küçültülerek basılacaktır, bu nedenle şekil ve tablolar bu durum göz önünde bulundurularak hazırlanmalıdır. ABMYO Dergisi siyah beyaz basıldığından gönderilen makaledeki resim, fotoğraf, şekil ya da grafikler renkli olmamalıdır.
5. Dergide yayımlanmak üzere gönderilen yazıların, daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış olması veya bir başka yayın organında değerlendirme aşamasında bulunmaması gerekmektedir.
6. Herhangi bir sempozyum, kongre, konferans vb. bilimsel etkinliklerde sunulmuş veya sunulacak olan bildiri metinleri, yayımlanmamış olması koşulu ile hakem değerlendirmesine gönderilir.
7. Dergi Yayın Kurulu, makaleleri,  hakem gönderir. Makaleler, en az iki hakemin olumlu görüşüyle yayımlanır.
8. Yayımlanması için düzeltilmesine karar verilen yazıların, yazarları tarafından en geç (posta süresi de dahil olmak üzere) 30 gün içerisinde, yeniden Yayın Kuruluna gönderilmesi gerekir. Belirlenen sürede gönderilen makaleler bir sonraki dönemde yayımlanmak üzere sıraya konulur. Metin, değişiklikleri isteyen hakemler tarafından yeniden incelenebilir.
9. Hakem onayı alan makaleler, raporların tamamlanma tarihlerine göre sıraya konularak yayımlanır.
10. Dergiye gönderilecek yazılar, iki kopya alınarak hazırlanmalıdır. Bunlardan bir kopya posta yolu ile gönderilmeli; bir kopya ise; elektronik posta aracılığıyla iletilmelidir. Elektronik posta olarak gönderilen nüshada, yazar/yazarların adı soyadı, makalelerin tam adı, bağlı bulundukları kurum ve ünvanları, iş-cep telefonları ve elektronik posta adreslerini içeren bir kapak sayfası bulunmalıdır. Kapak sayfası, posta yolu ile gönderilecek kopyaya da eklenmelidir.

11. Yazarlar, yayınlarını İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisine göndermekle, telif haklarını İstanbul Aydın Üniversitesine devretmiş sayılırlar.
12. Dergide yazısı yayımlanan yazarlara, iki adet dergi ücretsiz olarak gönderilir. Ayrıca telif hakkı ödenmez.
13. Ulusal ve uluslararası düzeyde akademik bilgi paylaşımının sağlanması amacıyla İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi'nde yayımlanmak üzere Hakem Kurulundan geçen yazılar Üniversitenin internet sitesine bağlı olarak da yayımlanabilir.
14. Dergiye gönderilen yazılar, yayımlanmasa dahi iade edilmez.

Yazım Kuralları

I. Makale Türleri

Dergiye gönderilen makaleler aşağıdaki özellikleri taşıyan çalışmalar olmalıdır:

- Özgün araştırmalarla ilgili çalışmalar,
- Uygulama örneklerini bilimsel bir yaklaşımla anlatan çalışmalar,
- Belirli bir konuda, önemli gelişmeleri değerlendirip eksiklikleri ortaya koyan derleme çalışmaları,
- Tez çalışmasından elde edilen sonuçların bilimsel tutarlılığı olan bir bölümünden ya da tümünden yararlanılarak hazırlanmış, doktora öğrencisinin ve tez danışmanının ortak yazar olarak yer aldığı bilimsel makaleler.

II. Sayfa Düzeni

Sayfa boyutu A4 kâğıt boyutunda olmalı, sayfa yapısında sağdan ve soldan 2 cm; üstten 2.5 cm; alttan da 3 cm boşluk bırakılmış olmalıdır. Metin, sağ ve sola dayalı (justify), özet ve abstract tek aralık olarak, ana metin 1,5 aralıkla yazılmalı, paragraflar arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır. Başlık, şekil adı, tablo adı gibi formatı belirtilmiş yazılar dışında kalan metin Times New Roman yazı karakterinde 12 punto ile yazılmalıdır.

III. Makale Başlığı

Makale başlığı metnin içeriğini yansıtmalı, 70 harfi geçmemeli ve gereksiz

uzatmalardan kaçınılmalı; Times New Roman yazı karakterinde 20 punto ile yazılmalı ve sadece başlığın ilk harfi büyük olmalıdır. Başlık sayfanın üst sınırından 6 cm boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.

IV. Yazar Adı

Yazar adı sayfanın üst sınırından 10 cm aşağıda olmalıdır. Yazar adının ilk harfi ve soyadı büyük harf olmak üzere Times New Roman, 12 punto, sağa yaslanmış şekilde ve **koyu** olarak yazılmalıdır. Yazar adı birden çok olması durumunda, isimlerin her birine üslû sayı şeklinde bir numara verilerek kurumları dipnotta belirtilecektir. Yazışmalara yapılacağı yazarın isminin yanına asteriks (*) işareti koyulacak ve kurumu, telefon numarası, elektronik posta adresi, yayının 1. Sayfasının altında dip not (footer) olarak alttan 2 cm yukarıda, bir çizgi çekilerek, 10 punto, Times New Roman ve italik formatıyla yazılmalıdır.

V. Kısaltmalar, ilgili bilim alanının standart kısaltmaları olmalı ve metin içinde ilk geçtiği yerde tanımlanmalıdır.

VI. Türkçe Öz

Öz; yazıya konu olan çalışmanın amaçlarını, kullanılan yöntemleri, ulaşılan sonuçları, değerlendirmeleri içermeli ve 200-250 kelime arasında olmalıdır. Bu haliyle özet, yapılan çalışma hakkında fikir verebilmelidir. Öz, Times New Roman yazı karakteri ile 12 punto, italik olarak sayfanın üst sınırından 13cm boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalı ve satırlar arasında tek aralık bırakılmalıdır. Öz kelimesi **koyu** olmalıdır. Öz kelimesi ile metin arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.

VII. Anahtar Kelimeler

Öz ve Abstract kısımlarından sonra, makalenin konu sınıflandırmasının yapılabilmesi için en az 3, en çok 6 adet anahtar kelime verilmelidir. Anahtar kelimeler önemlerine göre sıralanmış, Times New Roman yazı karakteri ile Türkçe anahtar kelimeler 12 punto, İngilizce keywords 11 punto ve italik yazılmalıdır. Sadece “anahtar kelimeler” ve “keywords” kelimeleri **koyu** ve *italik* olarak yazılmalıdır. Türkçe öz ile anahtar kelimeler arasında ve abstract ile keywords arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır. Özel isimler hariç anahtar kelimeler küçük harfle yazılacaktır.

VIII. Makalenin İngilizce Başlığı

Makalenin İngilizce başlığı sadece ilk harfi büyük olmak üzere Times New Roman yazı karakterinde 16 punto ile koyu olarak ve sola yanaşık yazılmalıdır.

IX. İngilizce Özet (Abstract)

İngilizce özet, yazıya konu olan çalışmanın amaçlarını, yazıda kullanılan yöntemleri, ulaşılan sonuçları ve değerlendirmeleri içeren, Türkçe özetle olduğu gibi bilgi vermek üzere, 200-250 kelime arasında olacak şekilde hazırlanmalıdır. Abstract, Times New Roman yazı karakteri ile 11 punto, italik ve satırlar arasında tek aralık olacak şekilde yazılmalı, sadece “abstract” kelimesi 12 punto ve **koyu** olmalıdır.

X. Başlıklar

- Ana Başlık

Giriş bölümü yazıyı doğrudan ilgilendiren, uzun tarihçeler içermeyen bir bölüm olmalıdır. Tüm ana başlıklar sola dayalı olarak Times New Roman formatında 14 punto, **koyu** ve başlığın sadece ilk kelimesinin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Hiçbir başlığın önüne numara veya herhangi bir işaret konulmamalıdır. Ana başlıklardan önce boşluk bırakılmamalı, ana başlıktan sonra boşluk bırakılmadan makale metni başlamalı, metin yazı karakteri Times New Roman ve 12 punto olmalıdır.

-Ara Başlık

Ana başlıktan sonra herhangi bir metin yazılmadan ara başlık yazılması gerektiğinde arada boşluk bırakılmayacaktır. Ara başlıklar sola dayalı olarak Times New Roman formatında, 12 punto, **koyu** yazılmalı ve başlığın sadece ilk kelimesinin ilk harfi büyük olmalıdır. Ara başlıktan sonra boşluk bırakılmadan makale metni başlamalıdır. Herhangi bir metin yazıldıktan sonra konulacak ara başlıklardan önce bir boşluk bırakılmalıdır.

-Alt Başlık

Alt başlıklar paragrafın başında ve metinden bir çizgi (-) işareti ile ayrılarak yazılmalı ve hemen yanından metin devam etmelidir. Alt başlık Times New Roman yazı tipinde italik, 12 punto ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak yazılmalıdır.

XI. Şekiller

Metin içinde yer alan şekiller metin sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Şekiller mutlaka net ve okunaklı olmalıdır. Baskı sırasında yayın %20 oranında küçültüleceği için şekil büyüklükleri bu durum göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da taranmış ise en az 300dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekil numaraları ve adları şeklin altında ortalanarak, tek aralıklı ve Times New Roman 12 punto ile *italik* yazılmalı ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olmalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra da birer satır boşluk bırakılmalıdır. Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır.

XII. Resim ve Fotoğraflar

Resim ve fotoğraflar taranmış ise en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalı, metin içinde mutlaka atıfta bulunulmalı, şekillerle beraber numaralandırılmalıdır.

XIII. Tablolar ve Denklemler

Metin içerisinde yer alan tablolar metin sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Tablo numaraları ve adları, tablonun üstünde tek aralık ve Times New Roman 12 punto ile sadece ilk kelimenin ilk harf büyük olacak şekilde ortalanarak ve *italik* yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra ise bir satır boşluk bırakılmalıdır. Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır.

Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 12 punto yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalman durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir. Tablodaki parametre ve isimlerin yer aldığı ilk satırın hem altı hem de üstü 1.5 punto kalınlıkta birer çizgi ile kapatılmalıdır. Daha sonraki satırlarda herhangi bir yatay ve dikey çizgi kullanılmadan son satırın altına bir çizgi daha ilave edilerek tablo sınırlandırılmalıdır.

Metin içerisine yazılacak denklemler, Microsoft Word yazım programındaki Equation Editör ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı

olarak parantez içerisinde numara verilmelidir.

XIV. Semboller

Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 11 punto ile italik yazılmalıdır. Makalede ondalık gösteriminde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül veya nokta kullanılmamalı gerekiyorsa tek boşluk kullanılmalıdır.

XV. Kaynaklar

Dergideki referans sistemi, American Psychologists Association (APA) versiyon 6' dır. APA sistemine göre yazılmış bir eserin sonunda muhakkak ki bir kaynakça bölümü olmalıdır. Sayfanın başına Kaynaklar (başlık 14 punto, küçük harfle, sadece ilk harf büyük olmalı) diye yazılmalıdır. Metin içinde gönderme yapılmış/anılmış her eser kaynakçada belirtilmelidir.

Makale metninin sonunda bulunan kaynaklar bölümü yazar soyadına göre A'dan Z'ye doğru, alfabetik bir şekilde sıralanmalı ve Kaynaklar içeriği Times New Roman 11 punto ile yazılmalı, sadece dergi, kitap ya da sempozyum adları italik olmalıdır.

Kaynaklarda, varsa cilt numarası koyu renkte, sayı numarası normal karakter ile yazılmalıdır. Kaynaklar kısmında yer alan ulusal-uluslararası makalelerin yer aldığı dergi adları kısaltılmış halleriyle değil, açık olarak yazılmalıdır.

» **Örnek:** Dergi adı Wat. Res. şeklinde değil, Water Resources şeklinde yazılmalıdır.

Yazı içinde atıfta bulunulan kaynaklar; ya ...Smith (1980)... şeklinde cümlelerin içinde, ya ...(Smitb, 1980; Adams, 1981) ya da (Smith vd., 1980) şeklinde cümlelerin sonunda yazar soyadı ve yayın yılı belirtilerek verilmelidir. İki yazarlı kaynaklarda iki yazarın da soyadı yazılmalı (Snell ve Ettre, 1971), ikiden fazla yazarlı kaynaklar parantez içinde gösterilecek ise vd. kısaltması kullanılmalı (Li vd., 1998), parantez dışında Li ve diğerleri (1998) kullanılmalıdır.

-Metin içinde kitap, dergi ve film, TV programı adları italik yazılır. Örneğin, Siyaset Meydanı Programı'nda (...).

-Ayrıca yeni veya teknik bir terim metin içinde ilk geçtiği anda italik

yazılabilir, sonrasında italik yazılmaz. Örneğin, 1990’lardan sonra alımlama çalışmaları Türkiye’de de artış göstermiştir.

-İngilizcede yaygın olan ifadeler ve kısaltmaları italik yazılmaz. Metinde bir ifadeyi daha çok vurgulamak amacıyla italik yazılmaz.

-Organizasyon kısaltmaları: İlk alıntıda adı açıkça yazılmalıdır; eğer okuyucu kısaltmayı yakından biliyorsa sonrakilerde kısaltma kullanılmalıdır.

» **Örnek:** İlk Alıntı: National Institute of Mental Health (NIMH),
Sonrakiler: (NIMH, 2015)

40 ya da daha fazla alıntı sözcük varsa, içeriden, tek veya sık satır aralığı vererek, ana metinden daha küçük bir puntoyla (10 veya 11 punto), italik olmadan, tırnaksız yazılır. Sonunda paragraf içinde sayfa numarası yazılır.

Dönüşüm Krishnamurti’ye göre (1998),

(...) zamanın bir sonucu değildir. Dönüşüm sessiz, sakin, pasif bir zihnin sonucudur. Zihin bir sonuca odaklandığında, artık pasif değildir. İnsan dönmek istedikçe, değişmek istedikçe, olanı değiştirmek istedikçe, bir sonuca odaklanacaktır, bir sonucu arayacaktır. Zihin basit bir şekilde olanı anlamağa niyet etmek zorundadır. O zaman sakinleşebilir. Bu sakinlik içinde, insan olanı anlayabilir. Dolayısıyla bir dönüşüm olabilir (s.83).

E-maile, telefonla, yüz yüze ya da başka biçimlerde yapılan kişisel görüşmelere dayalı bilgiler, metin içinde gösterilir, ancak kaynakçaya yazılmazlar. Örneğin:

Profesör Mark Post, “et üretimindeki temel sorunun verimsizlik olduğunu ve et üretimini bir tarım sürecinden fabrika sürecine dönüştürmek gerektiğini “ söyledi. (Mark Post kişisel görüşme, 24 Aralık 2011).

- Kanunların metin içinde ilk defa gösterimi:

Türkiye Cumhuriyeti Anayasası’na dayanılarak halkın mahalli müşterek ihtiyaçlarını karşılamak üzere belediyeler kurulmuştur (Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 1982:Madde 127).

Belli koşulları sağlayan ve nüfus yoğunluğu fazla olan belediyelerde hizmetin daha etkin ve verimli şekilde verilebilmesi amacıyla Yapı Kontrol

Müdürlükleri kurulmuştur (Belediye Kanunu [BK], 2005:Madde 48).

- Kanun metinde ikinci defa geçtiğinde:

Belediyeler 5393 sayılı yasanın kendilerine vermiş oldukları yetki çerçevesinde yapacakları işlerle ilgili olarak yönetmelikler çıkarırlar ([BK], 2005:Madde 48).

Kaynak gösterimleri aşağıdaki örnekler gibi yapılmalıdır.

Ulusal - Uluslararası Makaleler

- » Ishidate, M., Sofuni, T., Yoshikawa, K., Hayashi, M., Nohmi, T., Sawada, M., Matsuoka, A., (1984). Primary mutagenicity screening of food additives currently used in Japan. *Food and Chemical Toxicology*, 22(8), 623-636.
- » Pandey, A. K., Kumar, P., Singh, P., Tripathi, N. N., Bajpai, V. K., (2017). Essential oils: Sources of antimicrobials and food preservatives. *Microbiology*, 7: 2161. doi: 10.3389/fmicb.
- » Gezgin, S., (2009). Medyanın sorumluluğu (Türk Alman ilişkileri Örneğinde). İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. 1: 44-54.

Ulusal - Uluslararası Bildiriler

- » Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). *Magnetic fields*, Proceedings, 5tJl Conference, Electronics, 117-143, Sydney, A.

Ulusal - Uluslararası Kitap

- » Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). *Magnetic fields*, 295, Mc. Graw Press, London.

Kitap İçinde Bölüm

- » Sensoy, T., (1998). *Magnetic fields*, in Reinhardt, M, eds, Physics, Mc. Graw HM Press, 2-5, Oxford, UK.

Çeviri Kitap

- » Ong, W.J (1995). *Sözlü ve Yazılı Kültür*. Sema Postacıoğlu (Çev.). 136, Metis Yayınevi. İstanbul

Editörlü Kitap

» Çebi, M.(Ed).(2003). *Medya Etki Araştırmaları* 142, Alternatif Yayınevi. Ankara.

Editörlü Kitapta Bölüm

» Keeplinger. H,M(2003). *Etki Kavramının Sınırları*. Murat Çebi (Ed.), Medya Etki Araştırmaları 142, Alternatif Yayınevi. Ankara.

Dergiden Makale

» Gezgın, S. (2009). Medyanın Sorumluluğu (Türk Alman ilişkileri Örneğinde). İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 1, 44-54

Basılmamış Tezler, Bildiriler

» Arvas, İ.S (2010). *Cumhuriyet Döneminde Basında Etik Bağlamda Ortaya Konulan Uygulamalar ve Bir Meslek Örgütü: Basın Konseyi*. (Yayınlanmamış doktora tezi.) İstanbul Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Kanun ve Yönetmelikler

» *Türkiye Cumhuriyeti Anayasası* (1982), Kanun No:2709, Resmi Gazete: 09.11.1982/17863.

» *Yapı Denetimi Hakkında Kanun* (2001), Kanun No:4708, Resmi Gazete: 13.07.2001/24461.

» *Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği* (2008), Kanun No:4708, Resmi Gazete: 05.02.2008/26778.

İnternette Makale

» Koloğlu, O. (1999). *Medya, Devlet ve Sermaye*.
<http://dorduncukuvvetmedya.com>

Basılmış Bilimsel Rapor

» Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., eds. (1998). Magnetic fields, J., Technical Report, ICTP TRIL Programme, 12, Trieste.

Mesleki Teknik Rapor

» Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., eds. (1998). *Manyetik Alan Teorisi*,

Teknik Rapor 5, CEV Vakfı, İstanbul.

Doktora, Y. Lisans Tezi

» Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). *Manyetik Alan Teorisi*, Doktora tezi, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Standartlar

» TS920, (1990). *Binalarda rüzgar yükü kuralları, Türk Standartları*, Ankara. ix) Güncel Yazı,

» Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). Manyetik Alan Teorisi, Bilim ve Teknik, 63, 7, 3-5

Web Adresleri

Kaynakların A'dan Z'ye sıralanması bittikten sonra 1 punto kalınlıkta bir çizgi çekilerek, çizginin altından itibaren, internet kaynakları, siteden yararlanılan tarihle beraber yazılmalıdır.

» Yılmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). *Manyetik Alan Teorisi*, <http://www.server.com/final/paper1.html>, (21.12.2005)

Broşür (Tarihsiz ve yazarsız):

» *Inside these doors: A guidebook of Elfreth's Alley homes* [Brochure]. (t.y.).Philadelphia: Elfreth's Alley Association.

Film

» Yönetmenin Soyadı, Yönetmenin Adının Baş Harfleri. (Yönetmen). (Yıl). *Filmin adı italik şekilde*. Prodüksiyon şehri: Prodüksiyon şirketi ismi.

» Huston, J. (Yönetmen/Senaryo Yazarı). (1941). *Malta Şahini* [Film]. U.S.: Warner.

» Metin içindeyse: (*Malta Şahini*, 1941) şeklinde gösterilir.

Fotoğraf

» Adams, Ansel. (1927). Monolith, the face of Half Dome, Yosemite National Park [Fotoğraf]. Art Institute, Chicago.

Metin içindeyse: (Adams, 1927) şeklinde gösterilir.

Görüşme

» Arroyo, Gloria Macapagal. (2003). A time for Prayer. Michael Schuman ile söyleşi. *Time*. 28 Temmuz 2003. Erişim Tarihi 13 Ocak 2004, <http://www.times.com/time/nation/article/0,8599,471205,00.html>

Rapor ve teknik makaleler

» Gencel Bek, M. (1998). Mediscape Turkey 2000 (Report No. 2). Ankara: BAYAUM.

Televizyon programı

» Long, T. (Yazar), ve Moore, S. D. (Yönetmen). (2002). Bart vs. Lisa vs. 3. Sınıf [Televizyon Dizisi]. B. Oakley ve J. Weinstein (Yapımcı), *Simpsonlar* içinde. Bölüm: 1403 F55079. Fox.

Metin içindeyse: (Simpsonlar, 2002) şeklinde gösterilir.

İletişim Bilgileri:

Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi
Yayın Koordinatörlüğü

İstanbul Aydın Üniversitesi

Beşyol Mahallesi, İnönü Caddesi, Nu: 38
Sefaköy, Küçükçekmece/İstanbul

Tel: +90 533 368 40 60

Web Sayfası: <http://abmyod.aydin.edu.tr/>

E-posta: aylaalcay@aydin.edu.tr

Author's Guide

Author's may send their articles which are prepared in accordance with the below stated publishing and editorial principles, together with the "article presentation form" via e-mail to the provided addresses.

Providing the permissions of the authors (the main author or the rightful publishing house) is obligatory for the translated texts and articles as well.

The articles which are sent to their authors for further improvement and/or proofreading following the preliminary reviews and referee evaluations, must be edited accordingly and delivered back to the journal in one month at the latest.

On the other hand, the articles which are found to be conflicting with this guideline, will be returned to their authors for further proofreading and will not be issued.

Publishing Principles

1. The articles to be published in the journal cannot be published or presented elsewhere without the permission of the Editorial Board. The articles that are published, partially or as a whole, cannot be used elsewhere without citation. The journal only accepts original manuscripts which are not published, being reviewed for publication or accepted to be published previously. The authors of the related articles must build a consensus upon the name order.
2. The articles delivered to the journal are expected to be arranged according to American Psychological Association (APA) style regarding the references, footnotes and bibliography. The authors must consult the 6th edition of APA.
3. The articles that are published in the journal will be open for discussion from the date of publication till the next issue of the journal. The criticisms made for the articles will be published in the journal as well. The articles must not exceed 12 pages and they must be handed

as a disc or delivered via e-mail to the given addresses. The originally prepared manuscripts will be scaled down by 20 % while printing, thus the sizes of the figures and tables must be arranged accordingly. Also, the journal is printed black and white, therefore the photographs, images, figures or graphics within the text must not be colored.

4. The journal only accepts manuscripts which are not published, being reviewed for publication or accepted to be published previously.
5. The papers that are presented or to be presented in a scientific gathering such as symposium, congress or conference can be accepted for referee evaluation provided that they are not published.
6. The Editorial Board of the Journal delivers the article to three different referees. The articles are published at least with two positive referee reviews.
7. The manuscripts that are expected to be revised must be completed and resent to the Editorial Board within 30 days (including the posting time). Manuscripts that are sent within the specified period will be queued to be published in the next issue. Manuscript revision may also be evaluated by the referees who demanded the changes.
8. The approved articles are published one after another regarding the completion dates of their referee reports.
9. The manuscripts to be sent to the journal must be prepared as two copies. One of the two copies must be posted as a hard copy and the other must be delivered via e-mail. Both of the delivered copies (digital and hardcopy) must include a cover page which contains the names and the surnames of the author(s), the full title of their articles, their titles and the workplaces, work and mobile phones as well as e-mails.
10. The copyrights of the manuscripts which are accepted to be published following the evaluation process, are considered as transferred to Istanbul Aydin University.
11. Following the publication of the article, two copies of the related issue of

the journal is delivered to the author. No royalty is paid to the authors.

12. The manuscripts which pass Referee Board and to be published with the purpose of sharing knowledge on a national and international basis, may be published depending on the website of the university.
13. The manuscripts sent to the journal are not be returned even if not to be published.

Editorial Principles

I. Types of Articles

The articles to be published in the journal are expected to be as follows;

- » Works related to original studies,
- » Works which explain application examples in a scientific way,
- » Works of collection presenting the deficiencies and evaluating the developments on a specific subject,
- » Scientific articles that are prepared using the results obtained from a thesis, where there is a scientific consistency partially or as a whole and in which the doctorate student and the advisor have worked together as collective authors.

II. Page Layout

A4 page size with 2 cm margins on left and right; 2.5 cm on up and 3 cm on the bottom of the page. The text must be justified and written with 1,5 space whereas the Turkish and English abstracts must be written with single space leaving an empty line between the paragraphs. The text, excluding the title, name of the figure or table for which the format is specified, must be written using Times New Roman font type in 12-point size in general.

III. Article Titles

The title of the article must reflect its content, must not exceed 70 characters. Authors must avoid redundancy; the title must be typed using Times New Roman font type in 20-point size with only the initial letter of the title

capitalized. The title must be 6 cm below the upper page limit.

» **The English Title of the Article**

12-point size, **bold**, Times New Roman font type with only the initial letter of the first word capitalized.

IV. Author's name(s) and Address(es)

10 cm below the upper page limit, only the initials of the name and surname capitalized, Times New Roman in 12-point size, aligned to right and **bold**. In case there are more than one author name to be mentioned, each author's institution must be indicated as a footnote. The author responsible for correspondence must be indicated with an asterisk (*) and his/ her contact information such as institution, phone number and e-mail address must be given on the first page of the article as a footnote with 2 cm above the bottom page limit using 10-point size Times New Roman font type.

V. Scientifically standardized abbreviations should be preferred and explained where it is first mentioned.

VI. Abstract

The abstract must contain the purpose(s), methods, results and evaluations regarding the subject of the work and consist between 200-250 words. In this respect, the abstract must be able to give an idea about the work to the reader. Starting from 13 cm below the upper page limit, the abstract must be typed with single space using 12-point size Times New Roman font type in italics. The title of the abstract (Abstract) must be typed in bold leaving an empty line before the text.

VII. Keywords

Following the abstract part, at least 3 and at most 6 keywords must be given in order for the article subject to be classified. The keywords must be prioritized with 12-point size Times New Roman font type for Turkish and 11-point size and italics for English with only the "**Keywords**" typed in **bold**. There must be a blank space between the abstract and the keywords. Keywords must be typed in lower-case letters unless indicating a proper name.

VIII. Titles

» ***English Title of the Article***

Only the initial letter capitalized; Times New Roman, 16-point size, bold and aligned to the left.

» ***Main Title***

The introduction section must be directly related to the text itself without long background information. All main titles must be aligned to the left using 14-point size, bold, Times New Roman font type with only the initial letter of the title capitalized. Titles must not start with numbers or any kind of signs. Main titles must not have space before or after them and the main title must immediately be followed by the text (12-point size, Times New Roman) without an empty line.

Section Titles

No empty space is required when main titles are to be followed by the section titles without a text. The section titles must be aligned to the left and written in 12-point size, Times New Roman font type in bold with only the initial letter of the first word capitalized. Section titles must be followed by the text without an empty line in between. However, any section title following a text must have an empty line before.

» ***Sub-titles***

Sub-titles must be typed at the beginning of the text and separated from the text using a hyphen (-) after which must follow the text without a space. Sub-titles must be written in 12-point size italics using Times New Roman font type with only the initial letter of the first word capitalized.

IX. Figures

The figures included in the text must be centered on the page aligned with the text. The figures must be clear and understandable. The manuscripts will be scaled down by 20 % while printing thus the sizes of the figures must be arranged accordingly. The drawings must either be prepared in a digital drawing software or if scanned the file must at least have 300dpi definition. The texts found in graphics, images and text boxes must not be smaller than a text written with 9-point size in Times New Roman font-type. The numbers and the names of the figures must be centered on the page, typed under the figure itself, following a single space with 12-point size italics

in Times New Roman font-type with only the initial letter of the first word capitalized. There must be a single space before the figure, its title and after its title. The figures must be referred to within the text prior to the figure.

X. Images and Photographs

The images, photographs or special drawings included within the text must be scanned in 300 ppi (300 pixels per inch) with a 10 cm short edge in JPEG format, cited within the text and numbered together with figures.

XI. Tables and Equations

The tables included in the text must be centered on the page aligned with the text. The numbers and the names of the table must be typed above the table leaving a single space before and after as well as below the table using italics, 12-point size, Times New Roman font type; the title and the number must be centered with only the initial letter of the first word capitalized. Tables must certainly be referred to within the text beforehand. The contents of the tables lines and columns must be typed with Times New Roman font-type and in 12-point size. In case necessary the font size can be decreased down to 9-point size not exceeding text limits. The first line of the table, where the parameters and the names are found, must be closed by a 1.5-point size thick line from above and under. The table must be limited by adding an additional line under the last line of the table without using horizontal or vertical lines.

The equations to be written within the text must be typed using Microsoft Word Equation Editor and aligned to left with equals numbered within parentheses and aligned to the right.

XII. Symbols

In case the article contains a lot of symbols or they are required to be explained, symbols should be written in 11-point size italics with Times New Roman font type before the bibliography in accordance with international standards. Decimal demonstrations must be done with full stop“.” with no comma separating thousands. If required use space.

IIIX. Bibliography

The reference system for the journal is American Psychologist Association (APA) 6th Edition. A work prepared in APA system must have a references section at the end. The page must begin with a title named "References" written in 14-point size Times New Roman with only the initial letter capitalized. Any work referred or quoted within the text must be cited in the references section.

The references content must be placed at the end of the text, aligned in an alphabetical order with Times New Roman, 11-point size with only the names of journals, books or symposiums written in *Italics* as shown in the following examples.

In case there is, the volume numbers must be typed in **bold** and issue numbers in regular characters. The names of the journals where national or international articles are taken must not be abbreviated and must be given in full.

» **Example:** Name of the journal should be written as *Water Resources*, not as *Wat. Res.*

Citation must be as follows within the text in a sentence...Smith (1980)... or ...(Smith, 1980; Adams, 1981) as well as (Smith et al., 1980) at the end of a sentence indicating the surname and publishing year of the work. For citing the works with two authors, the surnames of both authors must be mentioned as follows (Snell and Ettre, 1971). In case there are more than two authors to be indicated in the citation then "et al." abbreviation must be used, in parentheses (Li et al. 1998) or within a sentence ... Li et al. (1998)...

- The names of books, magazines or journals, films or TV programs must be written in italics.

- A new or technical term may be written in italics when it is mentioned for the first time in the text and with regular characters later on.

- The common expressions and abbreviations in English must be written in regular characters. Italics must not be used for emphasizing an expression more.

-Organization abbreviations: the first reference must include the full name clearly; the abbreviations can be used later on in case the reader is familiar with the concept.

Example: First reference: National Institute of Mental Health (NIMH),
Later on: (NIMH, 2015)

Place direct quotations that are 40 words, or longer, in a free-standing block of typewritten lines, and omit quotation marks. Use a smaller point size than the text itself (10 or 11) and add page number in parenthesis at the end of the quote.

Example:

According to Krishnamurti (1998),
(...) zamanın bir sonucu değildir. Dönüşüm sessiz, sakin, pasif bir zihnin sonucudur. Zihin bir sonuca odaklandığında, artık pasif değildir. İnsan dönüşmek istedikçe, değişmek istedikçe, olanı değiştirmek istedikçe, bir sonuca odaklanacaktır, bir sonucu arayacaktır. Zihin basit bir şekilde olanı anlamağa niyet etmek zorundadır. O zaman sakinleşebilir. Bu sakinlik içinde, insan olanı anlayabilir. Dolayısıyla bir dönüşüm olabilir (s.83).

Information based on personal conversations that are realized through e-mail, telephone, face to face communication and in other ways are cited within the text but not in references section.

Initial use of laws within a text:

For laws (statutes), the preferred form includes the name of the law and the year – e.g. (Child Abuse Prevention and Treatment Act of 1974). APA style requires anything cited briefly in the text (e.g. in parentheses) should also have a complete listing in the References list. Belli koşulları sağlayan ve nüfus yoğunluğu fazla olan belediyelerde hizmetin daha etkin ve verimli şekilde verilebilmesi amacıyla Yapı Kontrol Müdürlükleri kurulmuştur (Belediye Kanunu [BK], 2005:Madde 48).

Repeated use of laws in a text:

Belediyeler 5393 sayılı yasanın kendilerine vermiş oldukları yetki çerçevesinde yapacakları işlerle ilgili olarak yönetmelikler çıkarırlar ([BK], 2005:Madde 48).

Bibliography should be prepared as follows:

National – International Articles

- » Ishidate, M., Sofuni, T., Yoshikawa, K., Hayashi, M., Nohmi, T., Sawada, M., Matsuoka, A., (1984). Primary mutagenicity screening of food additives currently used in Japan. *Food and Chemical Toxicology*, 22(8), 623-636.
- » Pandey, A. K., Kumar, P., Singh, P., Tripathi, N. N., Bajpai, V. K., (2017). Essential oils: Sources of antimicrobials and food preservatives. *Microbiology*, 7: 2161. doi: 10.3389/fmicb.
- » Gezgin, S., (2009). Medyanın sorumluluğu (Türk Alman ilişkileri Örneğinde). İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. 1: 44-54.

» National – International Papers

- » Yilmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., (1998). *Magnetic fields*, Proceedings, 5th Conference, Electronics, 117-143, Sydney, A.

National – International Books

- » Yilmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., (1998). *Magnetic fields*, 295, Mc. Graw Press, London.

Sections from Books

- » Sensoy, T., (1998). *Magnetic fields*, in Reinhardt, M, eds, Physics, Mc. Graw HM Press, 2-5, Oxford, UK.

Translated Books

- » Ong, W.J (1995). *Sözlü ve Yazılı Kültür. Sema Postacıoğlu* (Çev.). 136, Metis Yayınevi. İstanbul

Edited Books

» Çebi, M.(Ed).(2003). *Medya Etki Araştırmaları* 142, Alternatif Yayınevi. Ankara.

Sections from Edited Books

» Keeplinger. H,M(2003). *Etki Kavramının Sınırları*. Murat Çebi (Ed.), Medya Etki Araştırmaları 142, Alternatif Yayınevi. Ankara.

Journal Articles

» Gezgın, S. (2009). Medyanın Sorumluluğu (Türk Alman ilişkileri Örneğinde). İstanbul Aydın Üniversitesi / Sosyal Bilimler Dergisi, 1, 44-54

Unpublished Theses, Papers

Arvas, İ.S (2010). *Cumhuriyet Döneminde Basında Etik Bağlamda Ortaya Konulan Uygulamalar ve Bir Meslek Örgütü: Basın Konseyi*. (Unpublished Doctorate thesis) İstanbul Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Law and Regulations

» *Türkiye Cumhuriyeti Anayasası* (1982), Kanun No:2709, Resmi Gazete: 09.11.1982/17863.

» *Yapı Denetimi Hakkında Kanun* (2001), Kanun No:4708, Resmi Gazete: 13.07.2001/24461.

» *Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği* (2008), Kanun No:4708, Resmi Gazete: 05.02.2008/26778.

Online Articles

» Koloğlu, O. (1999). *Medya, Devlet ve Sermaye*. <http://dorduncukuvvetmedya.com>

Printed Scientific Reports

» Yılmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., eds. (1998). Magnetic fields, J., Technical Report, ICTP TRIL Programme, 12, Trieste.

Vocational, Technical Reports

» Yılmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., eds. (1998). *Manyetik Alan*

Teorisi, Teknik Rapor 5, CEV Vakfı, İstanbul.

Theses

» Yilmaz, A., Brown, O. ve Nelson, H., (1998). *Manyetik Alan Teorisi*, Doktora tezi, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Standards

» TS920, (1990). *Binalarda rüzgar yükü kuralları*, Türk Standartları, Ankara. ix) Güncel Yazı

» Yilmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., (1998). *Manyetik Alan Teorisi*, Bilim ve Teknik, 63, 7, 3-5

Online Sources

Following the alphabetical order of the sources, online sources must be indicated below a 1-point size line together with the date the source was used.

» Yilmaz, A., Brown, O. and Nelson, H., (1998). *Manyetik Alan Teorisi*, <http://www.server.com/final/paper1.html>, (21.12.2005)

Booklets (no date, no author):

» *Inside these doors: A guidebook of Elfreh's Alley homes* [Brochure]. (t.y.). Philadelphia: Elfreh's Alley Association.

Film

» Director's Surname, Director's Initials. (Director). (Year). *Name of the film in italics*. Production city: Production company name.

» Huston, J. (Director/Scriptwriter). (1941). *Malta Şahini* [Film]. U.S.: Warner.

Within the text: ...(Malta Şahini, 1941)...

Photograph

» Adams, Ansel. (1927). *Monolith, the face of Half Dome*, Yosemite National Park [Fotoğraf]. Art Institute, Chicago.

» Within the text: ...(Adams, 1927)...

Dialogue

» Arroyo, Gloria Macapagal. (2003). A time for Prayer. Michael Schuman ile söyleşi. *Time*. 28 Temmuz 2003. Erişim Tarihi 13 Ocak 2004, <http://www.times.com/time/nation/article/0,8599,471205,00.html>

Report and technical articles

» Gencil Bek, M. (1998). Mediscape Turkey 2000 (Report No. 2). Ankara: BAYAUM.

TV Show

» Long, T. (Author), and Moore, S. D. (Director). (2002). Bart vs. Lisa vs. 3 Grade [TV Series]. B. Oakley and J. Weinstein (Producer), *Simpsons*. Episode: 1403 F55079. Fox.

Within the text: ...(Simpsons, 2002)...

Contact Information:

Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi Editorial Board

Istanbul Aydın University
Beşyol Mahallesi, İnönü Caddesi, No: 38
Sefaköy, Küçükçekmece/Istanbul

Tel: +90 533 368 40 60

Web: <http://abmyod.aydin.edu.tr/>

E-mail: aylaalcay@aydin.edu.tr