



YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi



YUZUNCU YIL UNIVERSITY

Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>

ISSN: 1300 - 5413 / e-ISSN: 2667-467X

Yıl / Year : 2024

Cilt / Volume : 29

Sayı / Issue : 3

**YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ /
YUZUNCU YIL UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND
APPLIED SCIENCES**

SAHİBİ / OWNER

Prof. Dr. Hamdullah ŞEVLİ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörü
/ Rector of Van Yuzuncu Yil University

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. Harun AKKUŞ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
/ Director of Van Yuzuncu Yil University the Institute of Natural and Applied Sciences

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Doç. Dr. Dilara ÖZTÜRK
Doç. Dr. Ferda KARAKUŞ
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÖZDEMİR

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Burak DİKİCİ, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Burak ORDİN, Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Cemil TUNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Csaba SZABO, Debrecen University
Prof. Dr. Çağdaş Hakan ALADAĞ, Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Elvan OCAK, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Emre ÇOMAK, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Feyyaz DURAP, Dicle Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan BULUT, Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin KARAKUŞ, Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin MERDAN, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Hüsnü KOÇ, Siirt Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail KASAP, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Kenan SÖĞÜT, Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK, Kafkas Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Sait TAYLAN, Hakkari Üniversitesi
Prof. Dr. Mubariz KARAEV, King Saud University
Prof. Dr. Naci GENÇ, Yalova Üniversitesi
Prof. Dr. Onur ŞATIR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Özdemir ADİZEL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem SELÇUK ZORER, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Reza ABDİ-GHALEH, University of Bonab
Prof. Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Sabri GÜL, Mustafa Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Sedat YAYLA, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Semra DEMİR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Alper HAMZADAYI, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Baran YOĞURTÇUOĞLU, Hacettepe Üniversitesi

Doç. Dr. Barış ERDİL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Duygu YAŞAR ŞİRİN, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Doç. Dr. Ekrem MUTLU, Kastamonu Üniversitesi
Doç. Dr. Emel ÖZ, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Erdal AĞLAR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Ferhat KIZILGEÇİ, Mardin Artuklu Üniversitesi
Doç. Dr. Harun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mohammed J. K. BASHİR, University of Tunku Abdul Rahman
Doç. Dr. Memduh KARALAR, Bülent Ecevit Üniversitesi
Doç. Dr. Müge ÜNAL ÇİLEK, Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Nergiz YILDIZ YORGUN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Özal YILDIRIM, Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Zehra Funda AKBULUT, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Atabak ELMİ, Deakin University
Dr. Danielle RODRIGUES MAGALHAES, Zaragoza University
Dr. Madhumita MUKHOPADHYAY, Maulana Abul Kalam Azad University of Technology

İSTATİSTİK EDİTÖRÜ / STATISTICS EDITOR

Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA

DİL EDİTÖRLERİ / LANGUAGE EDITORS

Doç. Dr. Mustafa TEKPİNAR
Doç. Dr. Selçuk TOPAL
Dr. Öğr. Üyesi Gül ŞEN
Arş. Gör. Murat TURAN

MİZANPAJ EDİTÖRÜ / LAYOUT EDITOR

Doç. Dr. Fikriye Şeyma KAYA

SEKRETER / SECRETARY

Dr. Öğr. Üyesi Ogün Ozan VAROL

YAZI İŞLERİ / EDITORIAL AFFAIRS

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR
Arş. Gör. Ayşenur KALMER İPEK
Arş. Gör. Dr. Bahar KALKAN
Arş. Gör. Fadime KARADAŞ
Arş. Gör. Kübra GÖLELİ
Arş. Gör. Murat TURAN
Arş. Gör. Muhammed Coşkun IRMAK
Arş. Gör. Mehmet ERZEN
Zilan KAYA

YAZIŖMA ADRESİ / CORRESPONDENCE ADDRESS

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 65080 Tuşba/VAN
Van Yuzuncu Yil University the Institute of Natural and Applied Sciences, 65080
Tuşba/VAN

Telefon / Telephone: +90 432 225 10 97

Belgegeçer / Fax: +90 432 225 11 23

E-posta / E-mail: fbdergi@yyu.edu.tr

Cilt / Volume: 29

Sayı / Issue: 3

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>

Basım Yeri ve Tarih / Published in: Van, 2024

DERGİ BİLGİLERİ / INFORMATION

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Yuzuncu Yil University Journal of the Institute of Natural and Applied Sciences

ISSN 1300-5413 | **e-ISSN** 2667-467X | **Yayın Aralığı** Yılda 3 Sayı / 3 Issues Per Year

İçindekiler / Contents

Fen Bilimleri ve Matematik / Natural Sciences and Mathematics

- Comparison of Rotary and Cryostat Microtomes in the Skeletochronology
♦ on Green Turtle Humerus Bones 823-829
Emre SANDIK, Bektaş SÖNMEZ, Şükran YALÇIN ÖZDİLEK
- Comparison of DNA Methylation and Changes in the Expression of Certain
♦ Cadmium-induced Genes in Bread Wheat Exposed to Cadmium (Cd) 830-841
Accumulation in Soil
İlknur COLAK, Gokce KARADAYI
- Kars (Türkiye) Polifloral Arı Poleninin Botanik Kökeni, Antibakteriyel ve
♦ Antioksidan Özellikleri: Analitik Bir Çalışma 842-853
Neslihan MUTLU, Gül Esmâ AKDOĞAN KARADAĞ, Salih AKPINAR
- Spectroscopic Characterizations and DFT Calculations of Olanzapine:
♦ Thermochemistry, HOMO-LUMO, FT-IR, MEP, and Hirshfeld Surface 854-867
(HS) Analyses
Fermin AK, Mehmet Hanifi KEBİROĞLU
- Güneş Spektrumun Türkiye'deki Farklı Bölgeler için Spektral Etkilerin
♦ İncelenmesi 868-881
Gencer SARIOĞLU, Rüştü EKE
- A Computation Method for a Projection of a Projective Variety
♦ Uğur USTAOĞLU, Erol YILMAZ 882-889
-

Mühendislik ve Mimarlık / Engineering and Architecture

- ChatGPT'nin Programlama Kodu Hata Ayıklama Performansının PyCharm
♦ Geleneksel Hata Ayıklama Aracı Performansı ile Karşılaştırılması 890-895
Fırat KAPAR, Halit Eray ÇELİK, Serbest ZİYANAK

- Development of a Cost-Effective Novel CNN Model for Breast Cancer
♦ Classification in Histopathological Images 896-912
Karwan JAF, Özkan İNİK
- Machine Learning Approach for Emotion Identification and Classification in
♦ Bitcoin Sentiment Analysis 913-926
Erol KINA, Emre BİÇEK
- Enhancing Network Security: A Comprehensive Analysis of Intrusion
♦ Detection Systems 927-938
Murat KOCA, İsa AVCI
- Biogenic Synthesis, Characterization and Degradation of Methylene Blue
♦ Dye of Zinc Oxide Nanoparticles from Different Zinc Salts Using
Cinnamomum verum Extract 939-954
Burcu AYDOĞDU, İlkay ÜNAL
- Yalıtım Malzemesi Poliüretan Köpüğün Alev Direncini Arttıracak Reçine
♦ Katkılı Poliüretan Kompozit Sentezi 955-966
Sinem KARAMAHMUTOĞLU, Merve KOZAN, Sefa ARAS, Derya ÜNLÜ
- Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Çaldıran
♦ (Van) İlçe Merkezi Deprem Risk Haritasının Oluşturulması 967-984
Sacit MUTLU, Ufuk GÜNDAY
- Başakşehir Millet Bahçesi'nin Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı Kriterleri
♦ Bağlamında Değerlendirilmesi 985-997
Seda SUBAŞI, Bahar FERAH
- Bingöl Kent Merkezinde Açık ve Yeşil Alanlar Konusunda Halkın
♦ Yaklaşımlarının Belirlenmesi 998-1011
Sibel MANSUROĞLU, Veysel DAĞ, Selma KÖSA
-

Zirai Bilimler / Agriculture

-
- Determination of Pesticide Exposures of Some Nozzle Types in Almond
- ◆ Trees Sprayed with Knapsack Sprayer 1012-1022
Ali BOLAT, Hasret GÜNEŞ

 - Biyokömür ve Çiftlik Gübresi Uygulamalarının Ispanakta Bazı Büyüme ve
 - ◆ Gelişme Parametreleri Üzerine Etkileri 1023-1035
Aynur SADAK TURHAN, Suat SENSOY, Esra KINA
-

Derleme / Review

-
- Katı-Sıvı Ekstraksiyonunda Matematiksel Modelleme ve Termodinamik
- ◆ Değerlendirme 1036-1051
Ümran CANSU, Gökhan BORAN

 - Psikobiyotikler ve Süt Ürünlerindeki Potansiyel Uygulamaları
 - ◆ Çiğdem KONAK GÖKTEPE 1052-1063

 - Fonksiyonel Gıda Üretiminde Yeni Yaklaşımlar
 - ◆ Osman Onur KARA 1064-1081
-



Research Article

Comparison of Rotary and Cryostat Microtomes in the Skeletochronology on Green Turtle Humerus Bones

Emre SANDIK^{1,3}, Bektaş SÖNMEZ^{2*}, Şükran YALÇIN ÖZDİLEK^{1,4}

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Sea Turtle Research and Application Center, Çanakkale, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet University, Suşehri Timur Karabal Vocational School, 58600, Suşehri/Sivas, Türkiye

³Çanakkale Onsekiz Mart University, Graduate School of Education, Terzioğlu Campus, 17100, Çanakkale, Türkiye

⁴Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Science, Department of Biology, Terzioğlu Campus, 17100, Çanakkale, Türkiye

Emre SANDIK, ORCID No: 0009-0009-9180-0698, Bektaş SÖNMEZ, ORCID No: 0000-0002-8190-409X, Şükran YALÇIN ÖZDİLEK, ORCID No: 0000-0001-8264-7606

*Corresponding author e-mail: bektass@gmail.com, bsonmez@cumhuriyet.edu.tr

Article Info

Received: 13.05.2024

Accepted: 19.09.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1483061

Keywords

Age determination,
Cryostat,
Green turtle,
Microtome,
Samandağ

Abstract: Skeletochronology is a powerful tool that provides information on the age of sea turtles. Digital images of histologically prepared humerus bone sections are commonly used for age determination. The quality of digital images, which is critical for robust age estimation, varies depending on the type and histological technique associated with microtome. This study aimed to compare the quality of digital image sections of humerus bones prepared by rotary and cryostat microtomes. The humerus bones of 11 juvenile stranded (dead) green turtles (mean CCL 292.1 mm) on Samandağ beach during the 2021 nesting season were used for the study. Three readers scored the quality of histologic sections prepared with two different microtomes and associated protocols, as well as the readability of the lines of arrested growth (LAGs), which they saw from 0 to 5. The Wilcoxon-signed rank-paired test was used to ascertain the disparities between the quality scores of the two protocols. In addition, the compatibility of readers was evaluated by determining the proportion of specimens with at least two identical scores for each protocol. The scores obtained from the cryostat microtome protocol had a wider variation compared to the rotary microtome protocol. The rotary microtome protocol has higher median score values (4) than the cryostat microtome protocol (3) ($p < 0.001$). The compatibility of three cryostat microtome readers was lower than that of the rotary microtome. Although the cryostat microtome is less time-consuming and less costly, the results of this study showed that the rotary microtome protocol was preferable to the cryostat microtome protocol. Future studies may test techniques like various staining protocols to gain valuable insights into skeletochronology.

Yeşil Kaplumbağa Humerus Kemiklerinde İskeletkronolojisi Yönteminde Döner ve Kriyostat Mikrotomun Karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Geliş: 13.05.2024

Kabul: 19.09.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1483061

Öz: İskeletkronolojisi, deniz kaplumbağalarının yaşı hakkında bilgi sağlamak için kullanılan güçlü bir araçtır. Histolojik olarak hazırlanmış humerus kemiklerinin enine kesitlerinin dijital görüntüleri yaş tayini için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağlıklı yaş tahmini için kritik öneme sahip olan dijital görüntülerin kalitesi, mikrotomla ilişkili histoloji tekniğine ve türüne bağlı olarak değişir. Bu çalışmanın amacı, döner ve kriyostat mikrotomlarla hazırlanan

Anahtar Kelimeler

Kriyostat,
Mikrotom,
Samandağ,
Yaş belirleme,
Yeşil kaplumbağa

humerus kemiklerinin kesitlerinin dijital görüntülerinin kalitesini karşılaştırmaktır. Çalışma için 2021 yuvalama sezonu Samandağ kumsalında karaya ölü olarak vurmuş 11 juvenil yeşil kaplumbağanın (ortalama CCL 292.1 mm) humerus kemikleri kullanıldı. Üç okuyucu, iki farklı mikrotom ve ilgili protokollerle yapılan histolojik kesitlerin kalitesini ve gördükleri LAG'lerin okunabilirliğini 0 ile 5 arasında puanladı. İki protokolün kalite puanları arasındaki farklılıkları belirlemek için Wilcoxon işaretli eşleştirilmiş sıralama testi kullanılmıştır. Buna ek olarak, okuyucuların uyumluluğu, her protokol için en az iki aynı puana sahip numunelerin oranı belirlenerek değerlendirilmiştir. Kriyostat mikrotom protokolünden elde edilen skorlar döner mikrotom protokolüne kıyasla daha geniş bir varyasyona sahipti. Döner mikrotom protokolü kriyostat mikrotom protokolünden daha yüksek medyan skor değerlerine sahiptir ($p<0.001$). Üç kriyostat okuyucusunun uyumluluğu (0.73) döner mikrotomunkinden (0.91) daha düşüktür. Kriyostat mikrotom tekniği daha az zaman alıcı ve daha az maliyetli olmasına rağmen, bu çalışmanın sonuçları rotary mikrotom protokolünün kriyostat mikrotom protokolüne tercih edildiğini göstermiştir. Gelecekteki çalışmalar, iskelet kronolojisi hakkında değerli bilgiler edinmek için çeşitli boyama protokolleri gibi diğer teknikleri test edebilir.

1. Introduction

Skeletochronology relies on the yearly formation of bone growth marks, which provide evidence of growth cycles (Zug et al., 1986; Snover et al., 2007; Avens et al., 2009; Goshe et al., 2009). Castanet (1994) states that it is a very effective instrument for obtaining data on the age of both living and extinct reptiles, growth rates, the age at which sexual maturity is reached, sexual differences, and variations between different populations. Skeletochronology may also provide insights into an individual's life history by examining changes in bone structure over time. This approach is unsuitable for studying live individuals since it often necessitates obtaining samples from the humerus, femur, or phalanges. However, it is extensively used to determine the age of sea turtles.

The skeletochronology method requires laboratory processes, including cutting sections from intact bone, fixation and decalcification, thin sectioning, and staining (Goshe et al., 2020). Among these laboratory processes, some authors use a cryostat microtome in the cross-sectioned stage, while others use a rotary microtome. For example, Guarino et al. (2004) estimated the age of phalanx in Mediterranean loggerhead turtle populations using a cryostat microtome. Similarly, Lenz et al. (2016) used a cryostat microtome to estimate the age and growth of loggerhead turtles in the South Atlantic Ocean. Usategui-Martín et al. (2023) estimated the growth rates of loggerhead turtles in the Canary Islands using the same method. In addition, many studies have used rotary microtome to determine the age and growth rates of various sea turtles (Zug et al., 1986; Zug et al., 2002; Snover and Hohn, 2004; Goshe et al., 2010; Şirin & Başkale, 2021).

A study that compared the rotary microtome and cryostat microtome methods for preparing dolphin teeth for age determination discovered that the rotary microtome method is both possible and inexpensive, making it an excellent alternative to the cryostat microtome (Luque et al., 2009). Although studies have been conducted on using both procedures (i.e., cryostat and rotary microtome) for determining the age of sea turtles, there is currently no research comparing both procedures to estimate the age and growth rates. The reasons for the choice between the two procedures are still unknown. Hence, this research aimed to investigate the potential of the cryostat microtome as a feasible substitute for the rotary microtome approach in assessing the age and development rate of the green turtle (*Chelonia mydas*).

2. Material and Methods

The investigation was conducted during the 2021 nesting season as a component of the sea turtle conservation and monitoring research on Samandağ Beach in the eastern Mediterranean. As part of this conservation and monitoring program, stranded dead green turtles (*C. mydas*) were gathered. The dead

green turtles that were stranded were categorized by their species, and their curved carapace length and width (CCL and CCW) were determined using a flexible tape measure with an accuracy of one mm (Sönmez, 2019). During the conservation and monitoring investigations, researchers encountered green turtles at various life cycle phases. The $CCL \leq 31.5$ cm was considered to be the oceanic stage, and the $CCL \geq 85$ cm was considered to be the adult stage (Türkozan et al., 2013). As a result of potential variations in growth rates across adult, juvenile, and oceanic stage green turtles, only humerus samples were obtained from the oceanic stage and juvenile individuals. A total of 11 stranded green turtles were necropsied in situ, and the humerus was dissected and collected (Zug et al., 1986; Lenz et al., 2016). The humeri were macerated in water to remove the soft tissues, then dried and stored in the collection (Zug et al., 1986; Lenz et al., 2016).

A bandsaw was used to cut the humerus across the middle, just below the deltopectoral ridge, and at the diaphysis's thinnest point (about 5–7 mm diameter) (Zug et al., 1986; Şirin & Başkale, 2021). The section was stored in at least 10% neutral buffered formalin for 48 hours prior to decalcification (Snover & Hohn, 2004). The fixed specimens were washed in distilled water and placed in a decalcification solution (Bio-Optica, Biodec R, 05-03009Q).

The decalcifying solution was later removed by several rinses with distilled water. Bone sections were cut through a SLEE mnt cryostat at minus 25 °C. The sections (7 µm diameter) were stained with Harris haematoxylin and eosin (Zug et al., 1986; Usategui-Martín et al., 2023) using the free-floating technique (120 second haematoxylin-water wash and then 30 second eosin-water wash). The same bone sections were placed on a microscope slide and observed under a Stereo Binocular microscope (Olympus SZ51).

The remaining portion of the same sample was washed with distilled water and used for preparation. Each bone was prepared using the methods described in Zug et al. (1986) and Goshe et al. (2020). Briefly, the tissue was subjected to a series of alcohol rinses (dehydration), transparency with xylene (transparency), paraffin embedding with Leica HistoCore Arcadia H (paraffinization), sectioning with the microtome (Leica RM 2145 RTS) (sectioning), and routine haematoxylin and eosin staining (staining) and observed under a microscopic examination with the stereo microscope (Olympus SZ51).

Three independent readers assessed the location and number of lines of arrested growth (LAGs), which define the outer edges of skeletal growth marks in each humeral section (Goshe et al., 2010). Each reader assigned a quality score between 0 and 5 to the cryostat and rotary microtome sections taken from the same sample based on the LAGs' tissue integrity and readability. The Wilcoxon-signed rank-paired test was used to determine the factors contributing to the discrepancies in quality scores between the two protocols. In addition, the compatibility of readers was evaluated by determining the proportion of specimens with at least two identical scores for each protocol. Statistics were analyzed using R Studio 2023 (R Core Team, 2023).

3. Results

The mean CCL of these turtles was measured at $292.1 \text{ mm} \pm 57.8$ (150 mm–360 mm), and the CCW was $275 \text{ mm} \pm 58.1$ (140 mm–345 mm). The CCL frequency distribution and boxplot graph of stranded green turtle individuals are shown in Figure 1.

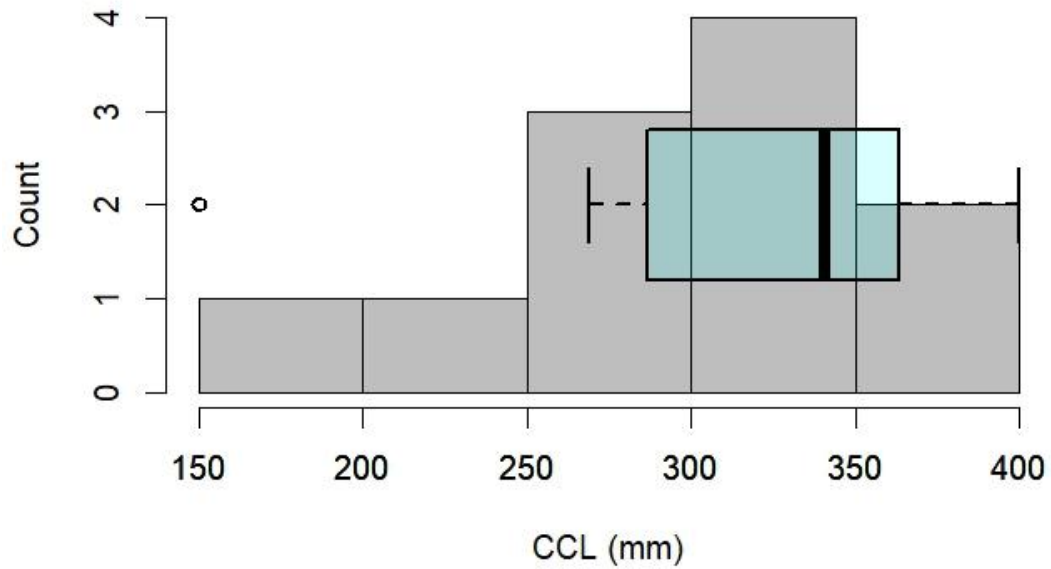


Figure 1. The CCL frequency distribution and boxplot graph of stranded green turtle.

The distribution of the quality scores given by each of the readers to each of the samples for the two different methods is shown in Figure 2. None of the readers rated any preparation a five. For four out of eleven samples, all three readers awarded the same and high marks to preparations generated using both techniques (Figure 2). The first reader's cryostat scores varied greatly, as Figure 2 illustrates. The quality of preparations produced by rotary and cryostat procedures differs depending on the sample (Figure 3).

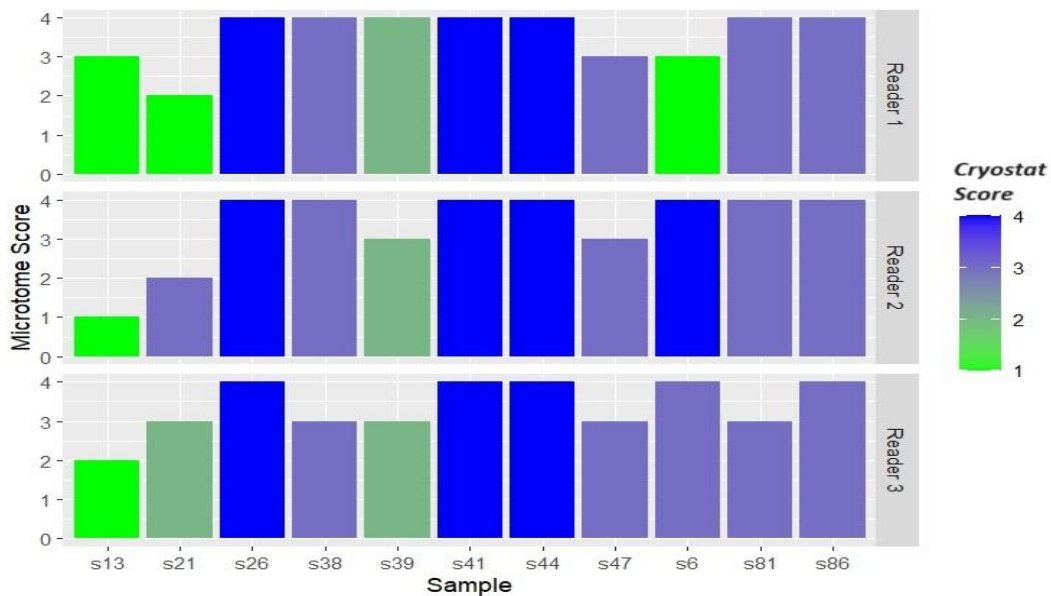


Figure 2. Distribution of quality scores given by readers to each sample for both methods (Cryostat microtome quality scores are indicated in the graph by color assignment from lowest (green) to highest (blue)).

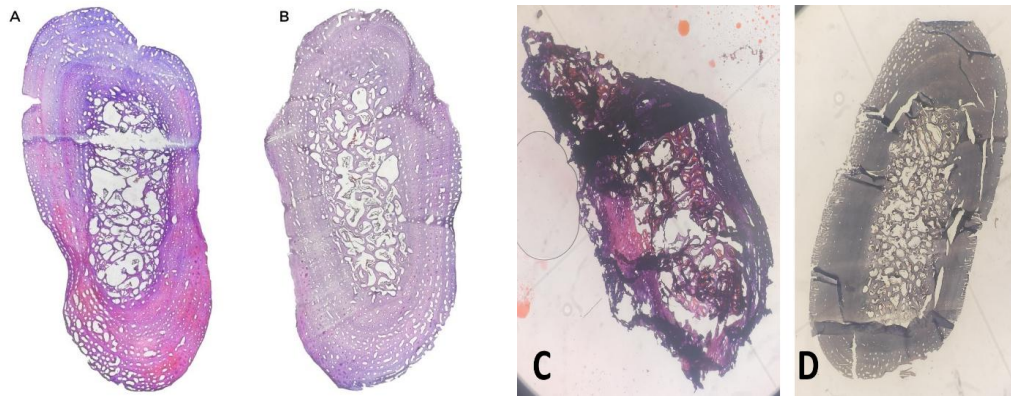


Figure 3. Three readers gave identical scores to preparations (S44: A and B) or different scores (S39: C and D). Preparations A and C were made using the cryostat microtome protocol, and preparations B and D were made using the rotary microtome protocol.

Moreover, the mean quality scores given by three different readers according to tissue integrity and readability of LAGs are also given in Figure 4. The median values of cryostat and rotary microtome preparation were 3 and 4, respectively. There were statistically significant differences favoring rotary preparation between the score values of the two preparations (Wilcoxon = 7.5, $p < 0.001$).

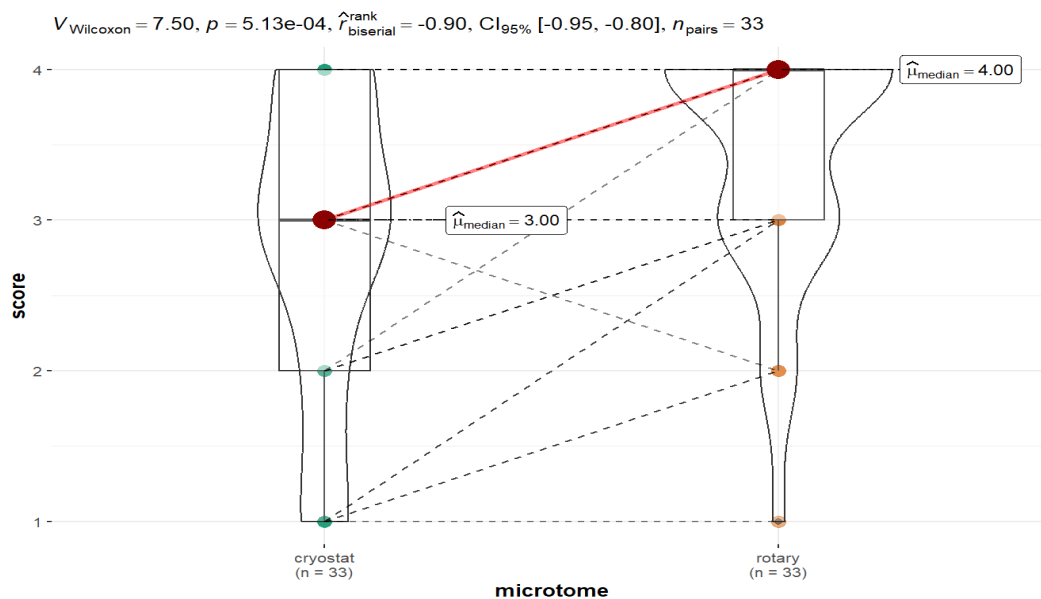


Figure 4. The boxplot (median, range and whiskers) of scores given for cryostat and rotary microtome preparations. The Wilcoxon test results are also given at the top of the plot.

4. Discussion and Conclusion

Various authors have done research to assess age and growth rates, and they have found both techniques to be valuable (Zug et al., 1986; Snover & Hohn, 2004; Guarino et al., 2004; Goshe et al., 2010; Lenz et al., 2016; Şirin & Başkale, 2021; Usategui-Martín et al., 2023). Nevertheless, these investigations are unable to provide a comparison between the two methodologies. This research observed a statistically significant disparity in the quality of preparations when comparing the two methods. Our results align with the discoveries made by Luque et al. (2009). It is important to note that the quality of both age determination approaches might be affected by the processes used after the sectioning process, such as staining. Similarly, the sectioning methods themselves can also affect the quality.

Cryostat and rotary microtomes have both benefits and drawbacks. Cryostat microtome enable the utilization of tissues from living organisms for enzyme histo-chemistry research. By freezing the tissues, cryostat microtome prevents the influence of ambient temperature, leading to reduced chemical expenses (Lojda et al., 2012). On the other hand, only a microtome can analyze tissue samples from deceased organisms, which requires a more intricate and expensive process (Read et al., 2018). Alternatively, preserving the collected samples for an extended period is possible by embedding them in paraffin and then cutting them into sections using microtomes (Grillo et al., 2017). After evaluating the pros and cons of both procedures, it can be concluded that the rotary microtome approach is appropriate for preparing cross-sections of bone tissue from stranded turtles.

According to Luque et al. (2009), Mayer's hematoxylin-stained sections yielded more "excellent quality" preparations when using the conventional microtome method. The purpose of this study was not to investigate the differences in staining. Nevertheless, the staining technique will unavoidably influence the determination of the position and quantity of LAGs. In future sea turtle investigations, comparing the two procedures using various staining methods is advisable.

The appearance of growth layers on histological preparation is contingent upon the manner of sample preparation (Goshe et al., 2009). Prior research on the visibility of growth layers in preparation has emphasized the significance of staining (Sinsch et al., 2007; Klevezal, 1996; Rossell et al., 1998) and the thickness of the cross-section (Woodward et al., 2014; Sinsch, 2015).

In conclusion, in our research, we primarily focused on the types of microtomes rather than characteristics like staining and thickness, which might affect the quality of the preparation, and we concluded that the visibility of growth layers is also sensitive to the type of microtome.

Acknowledgements

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Grant numbers 122Z247. We would like to thank Op. Dr. Hasan Keser from Çanakkale Mehmet Akif Ersoy State Hospital, Dr. Ali Fuat Çiçek in Pathology Laboratory, and technicians Hilal Köksal Elagöz and Gönül Cömert Özkan, Op. Dr. Gökhan BAŞTÜRK from Çanakkale Provincial Health Director, 7th Regional Directorate of Nature Conservation and National Parks and Samandağ Environmental Protection and Tourism Association for their contributions.

References

- Avens, L., Taylor, J. C., Goshe, L. R., Jones, T. T., & Hastings, M. (2009). Use of skeletochronological analysis to estimate the age of leatherback sea turtles *Dermochelys coriacea* in the western North Atlantic. *Endangered Species Research*, 8(3), 165-177. <https://doi.org/10.3354/esr00202>
- Castanet, J. (1994). Age estimation and longevity in reptiles. *Gerontology*, 40, 174-192. <https://doi.org/10.1159/000213586>
- Goshe, L. R., Avens, L., Bybee, J., & Hohn, A. A. (2009). An evaluation of histological techniques used in skeletochronological age estimation of sea turtles. *Chelonian Conservation and Biology*, 8, 217-222. <https://doi.org/10.2744/CCB-0777.1>
- Goshe, L. R., Avens, L., Scharf, F. S., & Southwood, A. L. (2010). Estimation of age at maturation and growth of Atlantic green turtles (*Chelonia mydas*) using skeletochronology. *Marine Biology*, 157(8), 1725-1740. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1446-0>
- Goshe, L. R., Avens, L., Snover, M. L., & Hohn, A. A. (2020). *Protocol for processing sea turtle bones for age estimation*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-746. <https://doi.org/10.25923/gqva-9y22>
- Goshe, Lisa R. et al. (2020). Protocol for processing sea turtle bones for age estimation. <https://doi.org/10.25923/gqva-9y22>
- Grillo, F., Bruzzone, M., Pigozzi, S., Prosapio, S., Migliora, P., Fiocca, R., & Mastracci, L. (2017). Immunohistochemistry on old archival paraffin blocks: is there an expiry date? *Journal of Clinical Pathology*, 70(11), 988-993. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2017-204387>
- Guarino, F. M., Di Maio, A., & Caputo, V. (2004). Age estimation by phalangeal skeletochronology of *Caretta caretta* from the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*, 71(S2), 175-179. <https://doi.org/10.1080/11250000409356630>

- Klevezal, G. (1996). *Recording structures of mammals. Determination of age and reconstruction of life history*. Rotterdam, The Netherlands: Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203741146>
- Lenz, A. J., Avens, L., Campos Trigo, C., & Borges-Martins, M. (2016). Skeletochronological estimation of age and growth of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the western South Atlantic Ocean. *Austral Ecology*, 41(5), 580-590. <https://doi.org/10.1111/aec.12347>
- Lojda, Z., Gossrau, R., & Schiebler, T. H. (2012). *Enzyme histochemistry: a laboratory manual*. Springer Science & Business Media.
- Luque, P. L., Learmonth, J. A., Santos, M. B., Ieno, E., & Pierce, G. J. (2009). Comparison of two histological techniques for age determination in small cetaceans. *Marine Mammal Science*, 25(4), 902-919. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00304.x>
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Read, F. L., Hohn, A. A., & Lockyer, C. H. (2018). A review of age estimation methods in marine mammals with special reference to monodontids. NAMMCO Scientific Publications. <https://doi.org/10.7557/3.4474>
- Rossell, C. & R, Sheehan, J. L. (1998). Comparison of histological staining procedures for skeletochronological studies. *Herpetological Review*, 29, 95.
- Sinsch U., Leskovar C., Drobig, A., König, A., & Grosse, W. R. (2007). Life-history traits in green toad (*Bufo viridis*) populations: indicators of habitat quality. *Canadian Journal of Zoology*, 85, 665-673. <https://doi.org/10.1139/Z07-046>
- Sinsch, U. (2015). Skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. *The Herpetological Journal*, 25, 5-13.
- Snover, M. L., & Hohn, A. A. (2004). Validation and interpretation of annual skeletal marks in loggerhead (*Caretta caretta*) and Kemp's ridley (*Lepidochelys kempii*) sea turtles. *Fishery Bulletin*, 102, 682-692.
- Snover, M. L., Avens, L., & Hohn, A. A. (2007). Back-calculating length from skeletal growth marks in loggerhead sea turtles *Caretta caretta*. *Endangered Species Research*, 3(1), 95-104. <https://doi.org/10.3354/esr003095>
- Sönmez, B. (2019). Morphological variations in the green turtle (*Chelonia mydas*): A field study on an eastern Mediterranean nesting population. *Zoological Studies*, 58. <https://doi.org/10.6620/ZS.2019.58-16>
- Şirin, A., & Başkale, E. (2021). Age structure of stranded Loggerhead Turtles (*Caretta caretta*) in Turkey. *Zoology in the Middle East*, 67(4), 302-308. <https://doi.org/10.1080/09397140.2021.1992836>
- Türkozan, O., Özdilek, Ş. Y., Ergene, S., Uçar, A. H., Sönmez, B., Yılmaz, C., Kaçar, Y., & Aymak, C. (2013). Strandings of loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles along the eastern Mediterranean coast of Turkey. *The Herpetological Journal*, 23(1), 11-15.
- Usategui-Martín, A., Valverde, R. A., Ostiategui-Francia, P., Fariñas-Bermejo, A., Paz-Sánchez, Y., & Liria-Loza, A. (2023). First skeletochronological analysis on loggerhead yearlings (*Caretta caretta*) in the Canary Islands. *Marine Biology*, 170(8), 95. <https://doi.org/10.1007/s00227-023-04239-8>
- Woodward, H. N, Horner, J. R., Farlow, J. O. (2014). Quantification of intraskeletal histovariability in *Alligator mississippiensis* and implications for vertebrate osteohistology. *PeerJ Life Environment*, e422. <https://doi.org/10.7717/peerj.422>
- Zug, G. R., Balazs, G. H., Wetherall, J. A., Parker, D. M., & Murakawa, S. K. (2002). Age and growth of Hawaiian seaturtles (*Chelonia mydas*): an analysis based on skeletochronology. *Fishery Bulletin*, 100, 117-127.
- Zug, G. R., Wynn, A. H. & Ruckdeschel, C. (1986). Age determination of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, by incremental growth marks in the skeleton. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 427, 1-34. <https://doi.org/10.5479/si.00810282.427>



Research Article

Comparison of DNA Methylation and Changes in the Expression of Certain Cadmium-induced Genes in Bread Wheat Exposed to Cadmium (Cd) Accumulation in Soil[†]

İlknur COLAK, Gokce KARADAYI*

Ataturk University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetic, 25240, Erzurum, Türkiye
İlknur COLAK, ORCID No: 0000-0002-3500-260X, Gokce KARADAYI, ORCID No: 0000-0003-2044-9609

*Corresponding author e-mail: gokce.karadayi@atauni.edu.tr

Article Info

Received: 08.06.2024
Accepted: 23.09.2024
Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1497910

Keywords

Abiotic stress,
Cadmium,
Epigenetics,
qAMP,
Triticum aestivum

Abstract: As a result of natural phenomena and anthropogenic activities, cadmium (Cd) accumulation in the soil has been increasing in recent years, and plants are directly exposed to this heavy metal, which is not essential for their life. In our study, UGT-3 (UDP-Glycosyltransferase-3), LTP-4 (Lipid Transfer Protein-4), Plasma Membrane PIP-1 (Plasma Membrane Protein-1) genes were investigated in *Triticum aestivum* L. plants exposed to Cd stress. It was aimed to determine the changes in expression levels in these genes and their methylation percentages for the first time using Real-Time PCR-based quantitative DNA methylation analysis (qAMP). In this context, DNA and RNA were isolated from the roots and stems of wheat grown by exposure to control, 100, 250 and 500 µM CdCl₂ doses. Then, gene expression levels were determined by gene expression analysis with cDNAs obtained from RNA samples. DNA methylation percentages were determined by applying the qAMP technique. As a result, it was observed that the highest methylation percentage in the UGT-3, LTP-4 and PIP-1 genes was at 250 µM concentration in both the stem and the root. While the expression level of the UGT-3 gene was highest at a concentration of 250 µM in the stem, overexpression of the LTP-4 gene was observed at a concentration of 250 µM in the root changes in the methylation rates of UGT-3, LTP-4 and PIP-1 genes were investigated for the first time with qAMP, a new technique used in plants. A significant relationship was found out between the expression levels and methylation status of genes.

Topraktaki Kadmiyum (Cd) Birikimine Maruz Kalan Ekmeklik Buğdayda Kadmiyumun İndüklediği Bazı Genlerin DNA Metilasyonu ve İfadesindeki Değişikliklerin Karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Geliş: 08.06.2024
Kabul: 23.09.2024
Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1497910

Anahtar Kelimeler

Abiyotik stres,
Epigenetik,
Kadmiyum,
qAMP,
Triticum aestivum

Öz: Doğal fenomenler ve antropojenik olaylar sonucunda toprakta kadmiyum (Cd) birikimi son yıllarda giderek artmakta ve bitkiler, yaşamları için gerekli olmayan bu ağır metale doğrudan maruz kalmaktadır. Çalışmamızda Cd stresine maruz bırakılan *Triticum aestivum* L. bitkisinde UGT-3 (UDP-Glikosiltransferaz-3), LTP-4 (Lipit Transfer Protein-4), Plazma Membran PIP-1 (Plazma Membran Protein-1) genleri çalışılmıştır. Bu genlerde meydana gelen ekspresyon seviyelerindeki değişimlerin ve Real-Time PCR temelli kantitatif DNA metilasyon analizi (qAMP) kullanılarak ilk kez metilasyon yüzdelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda kontrol, 100, 250 ve 500 µM CdCl₂ dozlarına maruz bırakılarak geliştirilen buğdayların kök ve gövdelerinden DNA ile RNA izolasyonu yapılmıştır. Daha sonra RNA örneklerinden elde edilen cDNA'lar ile gen ekspresyon analizi yapılarak gen ekspresyon düzeyleri belirlenmiştir. DNA metilasyon yüzdeleri qAMP tekniği uygulanarak saptanmıştır. Sonuç olarak UGT-3, LTP-4 ve PIP-1 genlerinde en yüksek

[†] This study was produced from İlknur COLAK's master's thesis, which was carried out under the supervision of Dr. Gokce KARADAYI

metilasyon yüzdesinin hem gövdede hem de kökte 250 μM konsantrasyonda olduğu gözlenmiştir. UGT-3 geninde ekspresyon seviyesi gövdede 250 μM konsantrasyonda en yüksek oranı verirken, LTP-4 geninde kökte 250 μM konsantrasyonda aşırı ekspresyon gözlenmiştir. UGT-3, LTP-4 ve PIP-1 genlerinin metilasyon oranlarındaki değişimler bitkilerde kullanımı yeni bir teknik olan qAMP ile ilk kez araştırılmıştır. Genlerin ekspresyon seviyeleri ile metilasyon durumları arasında anlamlı bir ilişki olduğu bulunmuştur.

1. Introduction

According to the United Nations (UN) organization reports, the world population, which is currently 7 billion 924 million people, is expected to increase to 9.7 billion in 2050, and this figure is expected to rise to approximately 11 billion around 2100 (United Nations, 2022). Such a rapid increase in the world population; it also brings with it current environmental problems such as rapid industrialization, unplanned urbanization, destruction of agricultural lands, and unconscious and excessive use of natural resources. When the outcomes of these problems are reduced to specific ones, they cause air, water, radioactive and soil pollution, while these events also cause the destruction of the natural habitats of animals, plants and other microorganisms (Ramakrishnan et al., 2010; Wasi et al., 2013; Pal et al., 2015; Salbu et al., 2019; Li et al., 2021; Liu, 2021; Luo et al., 2022).

Soil is the natural living element for living things and the most basic resource that enables global food production. In addition, it is an indispensable part of the ecosystem that determines the direction and amount of water flow, regulates the climate, and ensures the continuity of biodiversity. However, according to the 2021 Global Assessment of Soil Pollution report of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), 33% of our soils are degraded due to various pollutants, and heavy metals are among these pollutants (FAO, 2021). This ratio creates a rather terrible balance sheet, considering the comprehensive roles of soil.

Cadmium (Cd) is among the most important heavy metals. It occurs naturally at low concentrations, typically in soil. Wagner (1993) is reported that the Cd concentration contains 0.04-0.32 μM in uncontaminated soils, while moderately polluted soils contain 0.32–1.00 μM Cd. Cd, whose concentration has been increasing in agricultural lands in recent years, changes the structure and productivity of the soil. In addition, it seriously threatens the ecological balance of the soil and the biodiversity in the soil (Zou et al., 2021). Cd, which is not essential for plants, changes the functioning of the plant's biochemical, physiological and molecular processes after it is taken into the plant through the roots (Sun et al., 2008). In the study carried out to determine the toxicity induced by Cd in shoot and root growth, it was determined that the expression of paralog WOX genes changed in the *Arabidopsis thaliana* plant through cytokinin accumulation, causing a decrease in shoot and root size and affecting the shapes of these organs (Leonardo et al., 2021).

Cd triggers the formation of reactive oxygen species (ROS) in plants, causing changes in the activities of antioxidative enzymes and specific gene expression levels (Alshegaihi et al., 2023). Increasing the Cd concentration to which the *Vigna angularis* L. plant is exposed also increases the DNA damage levels in the plant. Moreover, increased expression levels of genes involved in DNA damage repair have been reported. Thus, it reduced the cell division rate by slowing down the G1/S phase in stem cells (Ai-Jun et al., 2007).

Being able to determine the mechanisms by which changes in the expression of genes involved in Cd stress occur contributes greatly to the explanation of stress response mechanisms. DNA methylation appears to be one of the most important of these mechanisms. In a study conducted on *drm1 drm2 cmt3* mutant (ddc) and WT plants of *Arabidopsis thaliana*, which are defective in DNA methylation, the molecular and cellular mechanisms modulated by DNA methylation in response to Cd stress factor were investigated. As a result, this study determined by transcriptomic analysis that the methylation status of the plant under Cd stress plays a role in plant hormone genetic pathways (Pacenza et al., 2021). In the study conducted by Galati et al. (2023) Cd hyperaccumulator *Noccaea caerulescens* Ganges and *Arabidopsis thaliana* plants that do not accumulate Cd were used to determine the DNA damage caused by Cd and its causes. It was reported that Cd caused high DNA damage in *A. thaliana* plants, while increasing CpG DNA methylation depending on the dose and causing an increase in the expression of the MET1 gene encoding DNA-methyltransferase. Research on the effect of Cd on gene

expression and DNA methylation was conducted in *Nicotiana benthamiana*. In the Cd-stressed plant, the methylated portions of the NbMORC3, NbMUT, and NbBG genes were both CG and CHG regions, while the NbHGSNAT gene had a CHH region and this situation has been indicated that different enzymes were active in methylation. It was determined that the expression levels of the same genes were not directly proportional to the methylation levels (Xin et al., 2019).

Another study, the effects of Cd stress were investigated on DNA methylation level and chromatin reorganization in *Posidonia oceanica*. The PoMT2k gene whose significant metal tolerance gene was induced in transcription by the Cd stress itself. Apical and leaf tissue samples were analyzed by the MSAP technique and DNA methylation levels were observed to increase rapidly (Greco et al., 2012).

The increasing accumulation of Cd in soil in recent years and the fact that its effect mechanisms have not yet been fully elucidated have made Cd a focal point of scientific studies. In our study, we aimed to determine the expression levels of genes related to stress in the plant after Cd stress applied at different concentrations to bread wheat (*Triticum aestivum* L.), an important agricultural product, and to determine their methylation levels for the first time using Real-Time PCR-based quantitative DNA methylation analysis (qAMP). In this context, gene expression levels and changes in region-specific DNA methylation levels in UGT-3, PIP-1 and LTP-4 genes, which we determined to play a role in Cd stress, were determined.

2. Material and Methods

2.1. Plant material and postharvest treatments

Triticum aestivum (Gerek 79 variety, which has a wide range of adaptation ability, was used.) was obtained from the Agricultural Faculty of Ataturk University. Twenty-five seeds selected in equal size from each of them were sterilized in 1% sodium hypochlorite (NaOCl) for 3 minutes and taken for germination in a pot. They were watered with the prepared Hoagland solution (Hoagland & Arnon, 1950) and sterilized water. These were kept in pots at 25°C and 16/8 hours per day/night for 10 days. At the end of this period, each group of Cd (100, 250 and 500 µM CdCl₂) was performed and left at rest for an additional 10 days. After a total of 20 days, both roots and stems of each experimental group were harvested separately for the next studies.

2.2. RNA isolation and gene expression analysis

Total RNA was isolated with the RNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, UK) according to the manufacturer's instructions (Billet et al., 2018). The concentration and qualities of the obtained RNAs were determined using the Qiaxpert Nanodrop (Qiagen, Germany) and the concentrations of all samples were adjusted to be 5 µg/µl. Primers for the UGT-3, PIP-1 and LTP-4 genes (Table 1) were developed using the Primer 3 program available at <http://www.primer3.ut.ee>. The cDNA was synthesized using the Thermo Scientific RevertAid First Strand (Thermo Scientific) and the protocol was established according to the manufacturer's instructions. It has been prepared in a final 20 µl volume. The cDNA synthesis blend contained a 4 µl Reaction buffer (5X), 1 µl RiboLock RNase Inhibitor, 1 µl Random Hexamer, 4 µl dNTP mix (20 U/µl), 1 µl RevertAid M-MuLV RT (200 U/µl), and 5 µg RNA for a total volume of 20 µl. The reverse transcription reaction took place in a thermocycler programmed to 5 min at 25°C, 60 min at 42°C, 5 min at 70°C. Subsequently, qRT-PCR was carried out using the Thermo Scientific Maxima SYBR Green/ROX qPCR kit. For each primer, the mixture was prepared as per the protocol proposed by the manufacturer's instructions in all groups. This mix is subjected to 95°C for 10 min, then 95°C for 15 sec, at a primer specific temperature of 30 sec, 72°C for 30 sec for 40 cycles.

Table 1. Base sequences of primers used in the gene expression and qAMP analysis

Gene Region	Forward Primer	Reverse Primer
UGT-3 (1st Primer)	5'-CCTATCAAAGGGTGGGGTGG-3'	5'-TAAAAACTTACGTGGCGCAGT-3'
UGT-3 (2nd Primer)	5'-GATGGCTACGACGAAGGAGG-3'	5'-AGCATCTTACGAGACTGTTTGT-3'
LTP-4 (1st Primer)	5'-ACTGCGCCACGTAAGTTTTT-3'	5'-AGTGC GTTGGCGGAAAGATA-3'
LTP-4 (2nd Primer)	5'-CCTATCAAAGGGTGGGGTGG-3'	5'-TAAAAACTTACGTGGCGCAGT-3'
Aquaporin PIP-1 (1st Primer)	5'-TGTTCTTAGCCCCGAAGCTG-3'	5'-GGGAAAAATGCTCGAAACCGA-3'
Aquaporin PIP-1 (2nd Primer)	5'-GGATGACCACGTGAGTTTCCA-3'	5'-GGACAAGGCCAGAAACCAGA-3'
UGT-3	5'-TGAATGGCTCTGGTGTTCCT-3'	5'-TTCGGATTCCCGTACAACCC-3'
LTP-4	5'-GCGGTGTTAGCATCCCCTAT-3'	5'-TATGAGTGCGTTGGCGGAA-3'
Aquaporin PIP-1	5'-TCTGTTCTTAGCCCCGAAGC-3'	5'-TTGGGATGGTTGCCAAGTGA-3'
β-actin	5'-GTGTGCGACCAGAGGATCAT-3'	5'-CGCTGGCATAACAAGGACAGA-3'
GAPDH	5'-GAGGTTGCTGTGTTTGCTG-3'	5'-GGAGCAAGGCAGTTAGTGCT-3'

2.3. DNA isolation and quantification of DNA methylation ratio by qAMP

Both roots and shoots were randomly collected from 10 plants per treatment. Isolation and purification of genomic DNA were conducted as described by [Erturk et al. \(2014\)](#). The concentration and qualities of the obtained DNA were determined through Qiaxpert Nanodrop. Quantitative analysis of DNA methylation using the real-time PCR (qAMP) has been used to define methylation rates in the identified gene regions. Methylation regions of these genomic DNA were determined using Methylation-Sensitive Restriction Enzymes (MSREs) with a Methylation-Dependent Restriction Enzyme (MDRE). MSRE enzymes (Hpa II, Not I, Hha I) cleaved unmethylated regions whereas the MDRE enzyme (McrBC) cleaved only when methylation occurred. The primer was then designed to detect flanked sites within these restriction regions for each gene (LTP-4, PIP-1 and UGT-3) (Table 1). The design of the primer was developed through the Primer 3 program. The quantitative real-time PCR (qRT-PCR) was done using the 2X Magic SYBR kit (Procomcure, Austria). For each primer, the mixture was prepared in the manner suggested by the manufacturer's instructions in all groups. This mix is subjected to 95°C for 5 min followed by 95°C for 10 sec, primer specific temperature 15 sec, 72°C for 20 sec for 40 cycles and 72°C for 2 min. The qPCR cycle threshold values were calculated using the data analysis spreadsheet supplied by the manufacturer (Qiagen, Rotor-gene Q).

2.4. Statistical analysis

The thresholds for all samples were determined based on gene expression analysis. The samples are evaluated over three replicates. The β-actin and GAPDH genes served as reference genes. The gene expression rate for wheat varieties was determined by the proportional calculation algorithm $\Delta\Delta C_t$ according to [Livak & Schmittgen \(2001\)](#). The RT-qPCR threshold values have been analyzed in the Qiagen GeneGlobe Data Analysis Center.

The methylation rates obtained as a result of the qAMP technique were calculated using formula $100(e^{-0.7(\Delta C_t)})$ for MSREs and formula $100(1 - e^{-0.7(\Delta C_t)})$ for MDRE. Welch's and Brown-Forsythe's test statistics were used to verify the homogeneity of the variances ([Brown & Forsythe, 1974](#)). Tamhane's post hoc T2 tests were used for analysis of variance and showed a significant difference between the groups. ($p < 0.05$). The analysis of these data was performed by the IBM SPSS Statistics 26 program.

3. Results

3.1. Expression variations of target genes in shoot and root

Changes in expression levels of the UGT-3, LTP-4 and PIP-1 genes associated with CdCl₂ were applied to *T. aestivum* at four concentrations (0, 100, 250 and 500 µM). These genes were compared with the β-actin and GAPDH housekeeping genes to establish expression levels. Changes in expression of the UGT-3 gene were determined to be 0.77, 31.05, 16.64 in the shoot and 0.04, 2.85, 6.33 in the root at doses of 100, 250, 500 µM Cd, respectively. This gene was observed to increase as a function of dose, but its expression decreased excessively at a concentration of 500 µM Cd in the shoot (Table 2). The plant root had no significant increase, though the expression of the UGT-3 gene increased with dose (Table 3). The LTP-4 gene expression changes were determined to be 60.69, 21.81, 3.7 in shoot and 0.03, 5928, 14.77 in root at doses of 100, 250, 500 µM Cd, respectively. It was reported that the expression level of the LTP-4 gene decreased with increased Cd stress in the shoot. In addition, the greatest expression of this gene was ascertained at a concentration of 250 µM Cd in the plant root, and this ratio was significant. Expression changes for the PIP-1 gene were determined to be 0.04, 0.48, 0.2 in the shoot and 0.03, 6.29, 14.91 in the root at 100, 250, 500 µM Cd doses, respectively (Table 2 and Table 3.). As a consequence, plant tissues exposure, expression rates of this gene had occurred an increase of the root as a dose-dependent way. Furthermore, the level of expression increased in proportion to the increase in doses of Cd in the shoot, but no significant increase was noted.

Table 2. The variation rates in expression level of UGT-3, LTP-4, and PIP-1 genes in the shoot

	100 mM CdCl ₂			250 mM CdCl ₂			500 mM CdCl ₂		
	Fold Change	p-Value	Comments	Fold Change	p-Value	Comments	Fold Change	p-Value	Comments
PIP	0.04	0.005229		0.48	0.052987		0.20	0.009885	
GAPDH	1.72	0.011854	A	19.61	0.000280	A	29.11	0.001933	A
UGT	0.77	0.342313	A	31.05	0.000111	A	16.64	0.005445	A
LPT	60.69	0.000003	A	21.81	0.000356	A	3.70	0.001490	A
ACT	0.58	0.010356		0.05	0.000209		0.03	0.000196	

Table 3. The variation rates in expression level of UGT-3, LTP-4, and PIP-1 genes in the root

	100 mM CdCl ₂			250 mM CdCl ₂			500 mM CdCl ₂		
	Fold Change	p-Value	Comments	Fold Change	p-Value	Comments	Fold Change	p-Value	Comments
PIP	0.03	0.001148	C	6.29	0.002014	A	14.91	0.000008	A
GAPDH	0.03	0.019834		0.44	0.086393		0.33	0.055005	
UGT	0.04	0.013726		2.85	0.002158	A	6.33	0.001157	A
LPT	0.03	0.001148		5928.01	0.000000	A	14.77	0.000004	A
ACT	29.82	0.006092	C	2.25	0.011900		3.04	0.002321	

3.2. Methylation rates of candidate genes in wheat tissue

The results of a One-Way Analysis of Variance (ANOVA) analysis applied to the comparison of the related genes at defined doses are presented in Table 4. As well, methylation rates were calculated at all concentrations of Cd (0, 100, 250, 500 µM) for root and shoot tissues. This statistical analysis carried out with the ANOVA test is paralleled in the graphs created using the GraphPad Prism 9 application. It was determined that the dose-related differences in the MSREs of the UGT-3 gene ($F(3,47)=10.698$; $p<0.05$) (Table 4 and Figure 1). The percent methylation was significantly higher at 250 µM CdCl₂ dose than at 500 µM Cd dose for stem and root. Moreover, methylation rates were determined to be significantly higher than the 250 µM Cd concentration compared with the control group (Figure 1). Taking into account the percentages of MDRE in the UGT-3 gene, no statistically

significant differences were observed between Cd concentrations ($p > .05$). The methylation percentage of the UGT-3 gene is greater than 100% at a 250 μM dose of Cd in the root, resulting in MSRE rates (Figure 1). Analysis of the LTP-4 gene determined that the MSREs data were significantly different between applied doses Cd ($F(3,47) = 10.752$; $p < .05$). The percent methylation was found to be above 250 μM Cd concentration than 100 μM Cd concentration. The MDRE data for the LTP-4 gene were also showed dose-dependent differences ($F(3,47) = 4.572$; $p < .05$). However, the methylation percentage in the plant root was decreased to 60% at a dose of 250 μM Cd. The MSREs data of the PIP-1 gene was significantly figured out differences ($F(3,47) = 25.678$; $p < .05$). The methylation rate was ascertained to be highest at the 250 μM Cd dose (Table 4 and Figure 1). Additionally, there was no statistically significant difference between doses of MDRE in the PIP-1 gene ($p > .05$). When MDRE methylation levels were examined, they were demonstrated to decrease at a dose of 250 μM Cd in the shoot and were increased significantly at a 250 μM concentration in the root (Table 4 and Figure 2).

Table 4. The DNA methylation rates of UGT-3, LTP-4, and PIP-1 genes

	Doses	N	Mean	Standard Deviation	F	p	Significant Difference
UGT-3 MSRE	Control	12	0.37	0.39	10.698	0.000*	3>1
	100 μM CdCl ₂	12	26.58	35.39			3>4
	250 μM CdCl ₂	12	88.33	67.48			
	500 μM CdCl ₂	12	21.87	24.54			
UGT-3 MDRE	Control	12	99.95	0.03	2.178	0.104	-
	100 μM CdCl ₂	12	92.47	11.49			
	250 μM CdCl ₂	12	89.38	11.92			
	500 μM CdCl ₂	12	77.63	40.31			
LTP-4 MSRE	Control	12	0.48	0.55	10.752	0.000*	3>1
	100 μM CdCl ₂	12	2.12	2.75			3>2
	250 μM CdCl ₂	12	24.58	23.29			
	500 μM CdCl ₂	12	3.35	5.05			
LTP-4 MDRE	Control	12	99.91	0.06	4.572	0.007*	
	100 μM CdCl ₂	12	99.21	1.34			
	250 μM CdCl ₂	12	78.85	33.41			
	500 μM CdCl ₂	12	99.36	0.91			
PIP-1 MSRE	Control	12	3.44	6.05	25.678	0.000*	3>1
	100 μM CdCl ₂	12	16.47	22.86			3>2
	250 μM CdCl ₂	12	65.86	15.46			3>4
	500 μM CdCl ₂	12	17.09	24.79			
PIP-1 MDRE	Control	12	98.85	2.11	1.783	0.164	-
	100 μM CdCl ₂	12	83.44	27.67			
	250 μM CdCl ₂	12	84.86	23.64			
	500 μM CdCl ₂	12	92.60	7.50			

* $p < .05$ One-Way ANOVA1: Control; 2: 100 μM CdCl₂; 3: 250 μM CdCl₂; 4: 500 μM CdCl₂

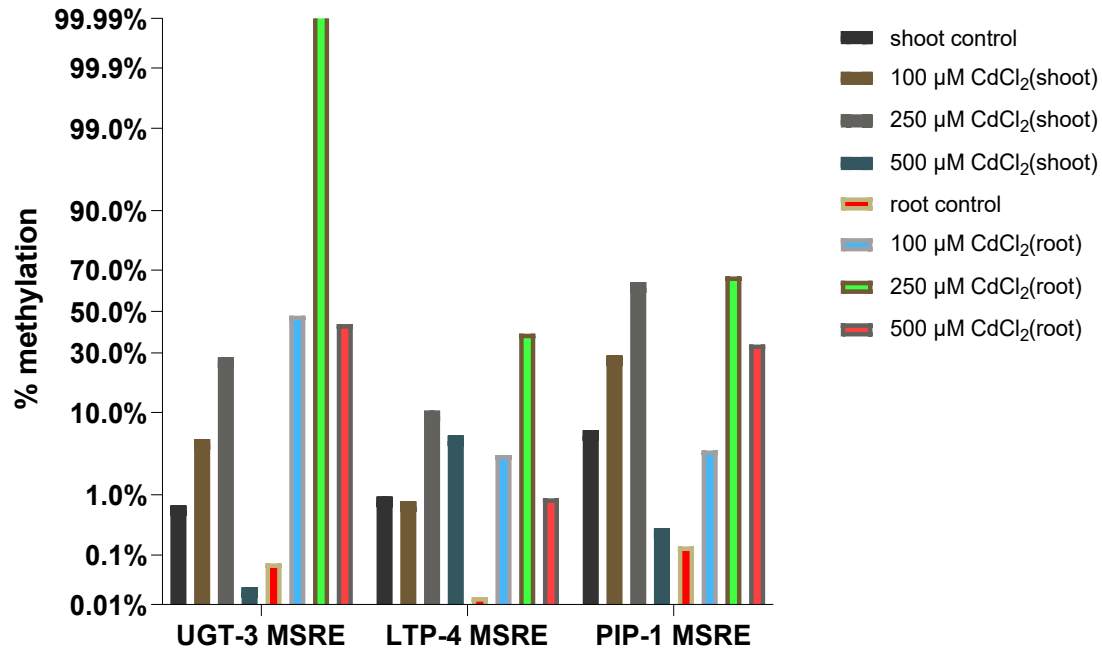


Figure 1. The methylation rates in MSREs regions of UGT-3, LTP-4, and PIP-1 genes.

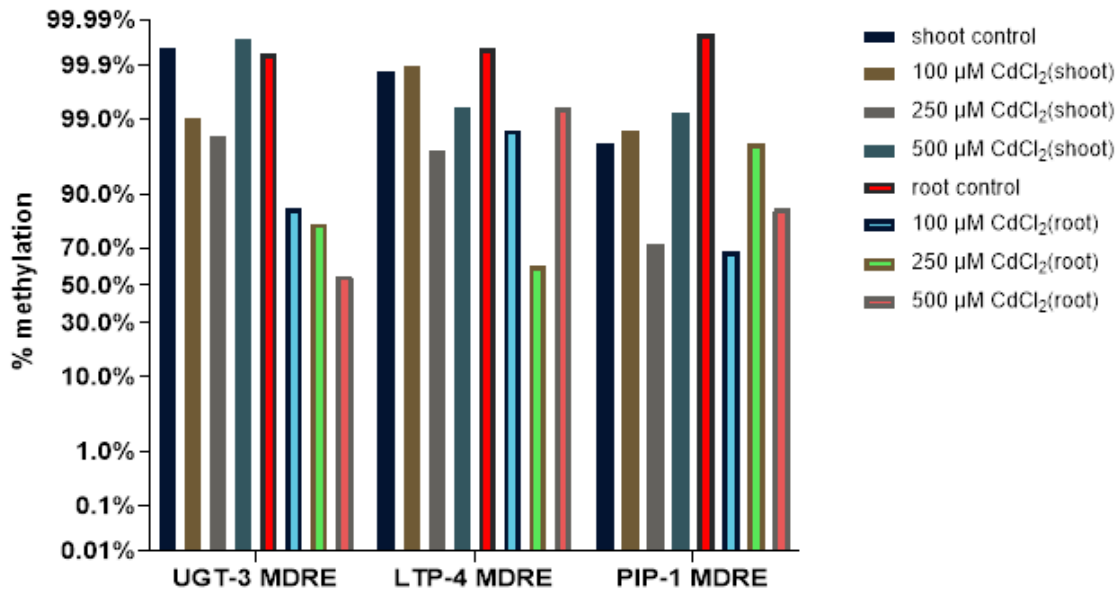


Figure 2. The methylation rates in MDRE regions of UGT-3, LTP-4, and PIP-1 genes.

4. Discussion and Conclusion

Rapid urbanization and industrialization caused by the industrial revolution along with the increasing population have significantly triggered environmental pollution, which is one of the environmental problems (Briffa et al., 2020; Fu & Xi, 2020; Mishra et al., 2021). Nowadays, heavy metals are among the main factors that cause environmental pollution. In recent years, the worldwide increase in pollution caused by the accumulation of Cd, which is among the heavy metals, poses a potential threat to food safety and human health (Zhou et al., 2018; Vareda et al., 2019). In order to elucidate the changes caused by Cd in plants, it is very important to elucidate the molecular mechanisms of the changes it causes in their vital functions and defense mechanisms. In our study, bread wheat plants grown at 100, 250 and 500 μM concentrations of Cd stress were observed to shorten of root and stem tissues and grow weaker when compared to the control group.

Plants sense changes in their environment and create responses to prevent damage (Kosová et al., 2007). Thus, the appearance of changes in gene expression, which plays a role in this complex mechanism, has been shown to be induced by stressors (Sofia Duque et al., 2013). One of the most important regulatory mechanisms for gene expression is epigenetic mechanisms. DNA methylation is an important mechanism in plant epigenetics, particularly in the regulation of gene expression. Specific methylation of DNA leads to the regulation of gene expression with activities such as the occurrence, preservation and removal of its region. The DNA methylation associated with the gene may occur in the promoter or region of the gene copied into plants. It was reported that DNA methylation in the promoter region typically inhibits gene transcription. However, it has sometimes been noted that *A. thaliana* can promote gene transcription, as in the ROS1 gene and hundreds of genes that inhibit fruit ripening in tomatoes (Zhang & Zhu, 2012; Lei et al., 2015; Williams et al., 2015). In this study, it was determined that the expression levels of the PIP-1, UGT-3 and LTP-4 genes changed both in the shoot and in the root (Table 2 and Table 3), while the methylation levels thought to be related to the expression were shown in Table 4.

Nonspecific plant lipid transfer proteins (nsLTPs), which are small and basic proteins, are known to facilitate the in vitro transfer of lipid molecules between membranes (Wang et al., 2008). LTPs in plants are thought to play a key role in many biological processes such as cuticle formation, defensive response to pathogen attacks, and plant signaling (Gomès et al., 2003).

Our study found that LTP-4 gene expression decreased in the plant stem as Cd stress concentrations increased, and it was upregulated with a sudden rise in the concentration of 250 μ M in the root. The over-upregulation of this gene has been thought to occur in roots whose tissues directly exposed to Cd stress because of defensive proteins are more active (Baetz & Martinoia, 2014; Khan et al., 2021). When the methylation levels were investigated at 250 μ M dose, the highest levels of methylation were observed in MSRE regions. However, these rates were reported during the onset of hypomethylation. Hence, the expression rate was highest at a concentration of 100 μ M, where the lowest methylation occurred in the shoot. In addition, an excessive reduction of upregulation at a dose of 500 μ M Cd was interpreted as abiotic stress that overexpressed defense genes up to the limit, and decreased the expression of defensive genes to the boundaries where the plant is approaching death (Sorrentino et al., 2017). It was also observed that this gene was methylated at a rate of 98% at a dose of 500 μ M Cd. Expression and methylation rates of genes related to the vegetative growth of parental lines and the newly obtained generation were studied in the *Brassica oleracea* plant. Research using the MSAP technique, the regions increased methylation rates were determined in new generations and sequence analysis of these regions was conducted. It was observed while increasing the methylation rate of LTP-1 gene one of the genes identified and the percent expression decreased its (Salmon et al., 2009). Safi et al. (2015) applied various abiotic stress to tolerant and susceptible genotypes under abiotic stress conditions and were examined at LTP-4 expression levels. The LTP-4 gene was declared to be expressed in the more tolerant genotype than the susceptible genotype in the available data. Over-expression of the LTP-4 gene has also been reported in support of plant growth (Safi et al., 2015). This situation showed its effectiveness in the abiotic stress tolerance mechanisms of the LTP-4 gene.

Glycosyltransferases, including the UGT-3 gene also, are defined as enzymes that act as catalysts for the addition of various sugars found in prokaryotes and eukaryotes. Plant UGTs catalyze a wide range of substrates for glycosylation reactions involving plant hormones and secondary plant metabolites. In this study, the UGT-3 gene upregulated at both root and shoot. The concentration of 250 μ M Cd in the shoot was the highest expression for the UGT-3 gene. Given the levels of methylation, MSREs were determined at the highest 250 μ M concentration in the stem and the root. The methylation rate for the MSRE areas of the shoot was observed to be the highest (27%). When the methylation percentages of MDREs were examined, it was observed that there was no significant change between doses in the shoot, and hypermethylation took place in the regions where the enzyme severs. In addition, the expression level increased in direct proportion to the increase in Cd stress in the root of bread wheat. The highest methylation percentage (85%) of MDREs in the root was shown at 100 μ M concentration. The percentage of methylation was observed to decrease to 55% at a concentration of 500 μ M. Therefore, the expression of the UGT-3 gene was determined to decrease with the increase in methylation. Moreover, the higher the methylation ratio of the root compared to that the shoot, the lower the level of expression. The expression rate which was 31-fold in the plant shoot decreased to 6-fold in the root. In the study conducted, the effects of UGTs which play an important role in plant defense were

studied on *Chinese cauliflower*. This study revealed that the expression level of UGTJB1 was increased two-fold in plants with high glycosylate accumulation (Zheng et al., 2021). Additionally, the upregulation of UGT-3 has reported that salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) have increased in the apex regions of the root and have positively regulated to defense responses (Xing et al., 2018). In another study on the UGT gene family, cold stress (+4°C and -4°C) was applied to the *Chorispora bungeana* plant. Methylation levels and gene expression ratios of the genes CbADH1, CbUGT and CbPGIP were compared to these plants. It has been reported that the methylation levels of these genes diminish in +4°C and -4°C. It was stated that there was a small change in the methylation level of CbUGT, but an increase of approximately 8-fold the level of expression (Song et al., 2017).

Transmembrane transport of water occurs through diffusion across the double lipid stratum, with increased membrane permeability as a result of water channel proteins called aquaporins (Preston et al., 1992). One of the most important plants aquaporins is PIP. They have been proven in different plants to participate in abiotic stress response mechanisms like salt, drought, cold, water stress, light and phytohormones (Yang et al., 2003). Based on the results of our study, while the PIP-1 gene was downregulated in a non-significantly from the control group in the wheat plant roots, it has been upregulated approximately 6 times because of the increased stress of Cd in the shoot. In the research carried out, it was published that if the PIP-1 and PIP-2 genes were active in the roots, only PIP-2 was expressed in the shoot. Consequently, it has been reported that PIP-2 is the most important gene that ensures the absorption and transport of water in the roots (Guo et al., 2006). The highest methylation rate of the MSRE regions of the PIP-1 gene was detected in both the shoot and root at 250 µM dose, and we determined that hypermethylation had occurred at this dose. On the other hand, the level of expression was observed to be downregulated in the shoots of the plant and that the results of methylation and expression of the gene were consistent with each other. The upregulation in the plant root had recorded at 250 and 500 µM concentrations, 6 and 14-fold, respectively. When this event was investigated, methylation levels were declining the MDRE region. Research in the literature, the PIP genes were investigated *T. aestivum* plant exposed to salt stress. This study was revealed that the methylation rate of the PIP-2 gene increased under the effect of salinity stress (Xu et al., 2013). Furthermore, it has been reported that this gene is downregulated with the rise in salt stress doses. The results from our study seem to be supported by this research.

Consequently, we examined the effect of DNA methylation on the expression of genes associated with Cd stress (UGT-3, LTP-4 and PIP-1) in bread wheat plants. Stress response mechanisms were found to be activated following the accumulation of Cd heavy metal in the plant, and there are increases and/or decreases in the expression levels of the UGT-3, LTP-4 and PIP-1 genes, which play a major role in these mechanisms. In addition, it was revealed that changes are also occurring in the DNA methylation rates of related genes due to Cd stress.

Furthermore, our study was first studied on changes in the methylation rates of the genes UGT-3, LTP-4 and PIP-1 under Cd stress. Additionally, the qAMP technique, which is generally used in mammalian cells, was used for the first time in the application of Cd stress in plant cells and has been successfully concluded. As expected, a significant correlation was observed between gene expression levels and their methylation status. On the other hand, the fact that the rates of gene expression and DNA methylation observed at certain levels of the genes are not inversely proportional, it has revealed the need to explain the results further by studying other mechanisms involved in the regulation of gene function.

Acknowledgements

This work was supported by Research Fund of the Ataturk University. Project Number: FYL-2020-8329.

Conflict of interest

All authors declare that there is no conflict of interest to disclose.

References

- Ai-Jun, L., Xu-Hong, Z., Mei-Mei, C., & Qing, C. (2007). Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 596-602. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60099-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60099-0)
- Alshegaihi, R. M., Mfarrej, M. F. B., Saleem, M. H., Parveen, A., Ahmad, K. S., Ali, B., Abeed, A. H. A., Alshehri, D., Alghamdi, S. A., Alghanem, S. M. S., Lone, J. A., Soliman, T. M. A., & Soudy, F. A. (2023). Effective citric acid and EDTA treatments in cadmium stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings by regulating specific gene expression. *South African Journal of Botany*, 159, 367-380. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.024>
- Baetz, U., & Martinoia, E. (2014). Root exudates: The hidden part of plant defense. *Trends in Plant Science*, 19(2), 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.006>
- Billet, K., Houillé, B., Besseau, S., Mélin, C., Oudin, A., Papon, N., Courdavault, V., Clastre, M., Giglioli-Guivarc'h, N., & Lanoue, A. (2018). Mechanical stress rapidly induces E-resveratrol and E-piceatannol biosynthesis in grape canes stored as a freshly-pruned byproduct. *Food Chemistry*, 240, 1022-1027. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.105>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). The Small sample behavior of some statistics which test the equality of several means. *Technometrics*, 16(1), 129-132. <https://doi.org/10.1080/00401706.1974.10489158>
- Erturk, F. A., Agar, G., Arslan, E., Nardemir, G., Aydin, M., & Taspinar, M. S. (2014). Effects of lead sulfate on genetic and epigenetic changes, and endogenous hormone levels in corn (*Zea mays* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(6), 1925-1932. <https://doi.org/10.15244/pjoes/26109>
- FAO. (2021). Global assessment of soil pollution: Report. In *Global assessment of soil pollution: Report*. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- Fu, Z., & Xi, S. (2020). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30(3), 167-176. <https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594>
- Galati, S., DalCorso, G., Furini, A., Fragni, R., Maccari, C., Mozzoni, P., Giannelli, G., Buschini, A., & Visioli, G. (2023). DNA methylation is enhanced during Cd hyperaccumulation in *Noccaea caerulea* ecotype Ganges. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 26178-26190. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23983-w>
- Gomès, E., Sagot, E., Gaillard, C., Laquitaine, L., Poinssot, B., Sanejouand, Y. H., Delrot, S., & Coutos-Thévenot, P. (2003). Nonspecific lipid-transfer protein genes expression in grape (*Vitis* sp.) Cells in response to fungal elicitor treatments. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 16(5), 456-464. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2003.16.5.456>
- Greco, M., Chiappetta, A., Bruno, L., & Bitonti, M. B. (2012). In *Posidonia oceanica* cadmium induces changes in DNA methylation and chromatin patterning. *Journal of Experimental Botany*, 63(2), 695-709. <https://doi.org/10.1093/jxb/err313>
- Guo, L., Zi, Y. W., Lin, H., Wei, E. C., Chen, J., Liu, M., Zhang, L. C., Li, J. Q., & Gu, H. (2006). Expression and functional analysis of the rice plasma-membrane intrinsic protein gene family. *Cell Research*, 16(3), 277-286. <https://doi.org/10.1038/sj.cr.7310035>
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil*. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA. Circular No. 347, 32p.
- Khan, M. I. R., Chopra, P., Chhillar, H., Ahanger, M. A., Hussain, S. J., & Maheshwari, C. (2021). Regulatory hubs and strategies for improving heavy metal tolerance in plants: Chemical messengers, omics and genetic engineering. *Plant Physiology and Biochemistry*, 164, 260-278. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.006>
- Kosová, K., Vítámvás, P., & Prášil, I. T. (2007). The role of dehydrins in plant response to cold. *Biologia Plantarum*, 51(4), 601-617. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0133-6>
- Lei, M., Zhang, H., Julian, R., Tang, K., Xie, S., & Zhu, J. K. (2015). Regulatory link between DNA methylation and active demethylation in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences of the United States of America*, 112(11), 3553-3557. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502279112>
- Leonardo, B., Emanuela, T., Letizia, M. M., Antonella, M., Marco, M., Fabrizio, A., Beatrice, B. M., & Adriana, C. (2021). Cadmium affects cell niches maintenance in *Arabidopsis thaliana* post-embryonic shoot and root apical meristem by altering the expression of WUS/WOX homolog genes and cytokinin accumulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 785-794. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.014>
- Li, Y., Bi, Y., Mi, W., Xie, S., & Ji, L. (2021). Land-use change caused by anthropogenic activities increase fluoride and arsenic pollution in groundwater and human health risk. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124337>
- Liu, D. (2021). Value evaluation system of ecological environment damage compensation caused by air pollution. *Environmental Technology and Innovation*, 22, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101473>
- Livak, K. J., & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method. *Methods*, 25(4), 402-408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
- Luo, M., Zhou, C., Ma, T., Guo, W., Percival, L., Baeyens, W., & Gao, Y. (2022). Anthropogenic activities influence the mobilization of trace metals and oxyanions in coastal sediment porewaters. *Science of the Total Environment*, 839, 156353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156353>
- Mishra, S., Lin, Z., Pang, S., Zhang, Y., Bhatt, P., & Chen, S. (2021). Biosurfactant is a powerful tool for the bioremediation of heavy metals from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126253. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126253>
- Pacenza, M., Muto, A., Chiappetta, A., Mariotti, L., Talarico, E., Picciarelli, P., Picardi, E., Bruno, L., & Bitonti, M. B. (2021). In *Arabidopsis thaliana* Cd differentially impacts on hormone genetic pathways in the methylation defective ddc mutant compared to wild type. *Scientific Reports*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90528-5>
- Pal, M., Yirgalem, M., Anberber, M., Giro, B., & Dasgupta, R. (2015). Impact of environmental pollution on animal health. *Journal of Natural History*, 11, 4-21.
- Preston, G. M., Carroll, T. P., Guggino, W. B., & Agre, P. (1992). Appearance of Water Channels in *Xenopus* Oocytes Expressing Red Cell CH IP28 Protein. *Science*, 256, 385-387. <https://doi.org/10.1126/science.256.5055.385>
- Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Naidu, R., & Sethunathan, N. (2010). The impacts of environmental pollutants on microalgae and cyanobacteria. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(8), 699-821. <https://doi.org/10.1080/10643380802471068>
- Safi, H., Saibi, W., Alaoui, M. M., Hmyene, A., Masmoudi, K., Hanin, M., & Brini, F. (2015). A wheat lipid transfer protein (TdLTP4) promotes tolerance to abiotic and biotic stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 89, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.02.008>
- Salbu, B., Fesenko, S., & Ulanowski, A. (2019). Radioactive particle characteristics, environmental behaviour and potential biological impact. *Journal of Environmental Radioactivity*, 201, 56-57. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.01.019>
- Salmon, A., Bellis, H., Chable, V., & Manzanares-Dauleux, M. J. (2009). Identification of differentially expressed genes related to aberrant phenotypes in *Brassica oleracea* var. botrytis. *Plant Breeding*, 128(6), 631-639. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01602.x>
- Sofia Duque, A., de Almeida, A. M., da Silva, A. B., da Silva, J. M., Paula, A., Santos, D., Fevereiro, P., & Sousa Araujo, S. de. (2013). Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive. In *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture* (pp. 49-101). InTech. <https://doi.org/10.5772/52779>
- Song, J., Feng, S. J., Chen, J., Zhao, W. T., & Yang, Z. M. (2017). A cadmium stress-responsive gene AtFC1 confers plant tolerance to cadmium toxicity. *BMC Plant Biology*, 17(1), 187. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1141-0>
- Sorrentino, M. C., Capozzi, F., Giordano, S., & Spagnuolo, V. (2017). Genotoxic effect of Pb and Cd on in vitro cultures of *Sphagnum palustre*: An evaluation by ISSR markers. *Chemosphere*, 181,

- 208-215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.065>
- Sun, Y., Zhou, Q., & Diao, C. (2008). Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*, 99(5), 1103-1110. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.035>
- United Nations. (2022). *World Population Prospects 2022*. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- Vareda, J. P., Valente, A. J. M., & Durães, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *Journal of Environmental Management*, 246, 101-118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.126>
- Wagner, G. J. (1993). Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advances in Agronomy*, 51, 173-212. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60593-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60593-3)
- Wang, C., Xie, W., Chi, F., Hu, W., Mao, G., Sun, D., Li, C., & Sun, Y. (2008). BcLTP, a novel lipid transfer protein in *Brassica chinensis*, may secrete and combine extracellular CaM. *Plant Cell Reports*, 27(1), 159-169. <https://doi.org/10.1007/s00299-007-0434-4>
- Wasi, S., Tabrez, S., & Ahmad, M. (2013). Toxicological effects of major environmental pollutants: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(3), 2585-2593. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2732-8>
- Williams, B. P., Pignatta, D., Henikoff, S., & Gehring, M. (2015). Methylation-Sensitive Expression of a DNA Demethylase Gene Serves As an Epigenetic Rheostat. *PLoS Genetics*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005142>
- Xin, C., Chi, J., Zhao, Y., He, Y., & Guo, J. (2019). Cadmium stress alters cytosine methylation status and expression of a select set of genes in *Nicotiana benthamiana*. *Plant Science*, 284, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.021>
- Xing, L., Gao, L., Chen, Q., Pei, H., Di, Z., Xiao, J., Wang, H., Ma, L., Chen, P., Cao, A., & Wang, X. (2018). Over-expressing a UDP-glucosyltransferase gene (Ta-UGT3) enhances Fusarium Head Blight resistance of wheat. *Plant Growth Regulation*, 84(3), 561-571. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0361-5>
- Xu, C., Wang, M., Zhou, L., Quan, T., & Xia, G. (2013). Heterologous expression of the wheat aquaporin gene TaTIP2;2 compromises the abiotic stress tolerance of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS ONE*, 8(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079618>
- Yang, L., Zheng, B., Mao, C., Yi, K., Liu, F., Wu, Y., Tao, Q., & Wu, P. (2003). cDNA-AFLP analysis of inducible gene expression in rice seminal root tips under a water deficit. *Gene*, 314(1-2), 141-148. [https://doi.org/10.1016/S0378-1119\(03\)00713-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1119(03)00713-3)
- Zhang, H., & Zhu, J. K. (2012). Active DNA demethylation in plants and animals. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 77, 161-173. <https://doi.org/10.1101/sqb.2012.77.014936>
- Zheng, H., Zhang, C., Wang, Y., Zhou, W., Chen, J., Yan, X., Li, Z., Huang, S., Li, M., Tang, Y., Li, H., Wang, Q., Zhang, F., & Sun, B. (2021). Overexpression of the glucosyltransferase gene BoaUGT74B1 enhances the accumulation of indole glucosinolates in Chinese kale. *Scientia Horticulturae*, 288, 110302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110302>
- Zhou, G., Guo, J., Yang, J., & Yang, J. (2018). Effect of fertilizers on Cd accumulation and subcellular distribution of two cosmos species (*Cosmos sulphureus* and *Cosmos bipinnata*). *International Journal of Phytoremediation*, 20(9), 930-938. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1448362>
- Zou, M., Zhou, S., Zhou, Y., Jia, Z., Guo, T., & Wang, J. (2021). Cadmium pollution of soil-rice ecosystems in rice cultivation dominated regions in China: A review. *Environmental Pollution*, 280, 116965. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116965>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Kars (Türkiye) Polifloral Arı Poleninin Botanik Kökeni, Antibakteriyel ve Antioksidan Özellikleri: Analitik Bir Çalışma

Neslihan MUTLU¹, Gül Esmâ AKDOĞAN KARADAĞ^{*2}, Salih AKPINAR¹

¹Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 36100, Kars, Türkiye

²Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 36100, Kars, Türkiye
Neslihan MUTLU, [ORCID No: 0000-0002-1339-3267](https://orcid.org/0000-0002-1339-3267), Gül Esmâ AKDOĞAN KARADAĞ, [ORCID No: 0000-0001-7959-2130](https://orcid.org/0000-0001-7959-2130), Salih AKPINAR, [ORCID No: 0000-0003-2435-7373](https://orcid.org/0000-0003-2435-7373)

*Sorumlu yazar e-posta: gulesmaakdogan@kafkas.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 04.04.2024

Kabul: 27.09.2024

Online Aralık 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1465191](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1465191)

Anahtar Kelimeler

Antibakteriyel aktivite,
Antioksidan aktivite,
Arı poleni,
GC/MS,
Yağ asidi

Öz: Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin kuzey-doğusunda yer alan Kars'ta bulunan polifloral arı poleninin otantik kökeni, antibakteriyel ve antioksidan aktivitelerinin yanı sıra toplam fenolik içeriği ve toplam flavonoid içeriğini araştırmaktır. Polenin, Cistaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fabaceae, Papaveraceae, Asteraceae, Polygonaceae, Rosaceae, Lamiaceae ve Plantaginaceae dahil olmak üzere on takson içerdiği bulundu. Test edilen mikroorganizmalara karşı minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri 2.5 ile 5 mg/mL arasında değişmektedir. Toplam fenolik içeriğin belirlenmesinde Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmış ve bu miktarın 23.65 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g olduğu belirlenmiştir. Arı poleni etanolik ekstraktındaki toplam flavonoid içerik değeri 14.56 mg kuersetin eşdeğeri (QE)/g olarak belirlenmiştir. Arı poleni etanolik ekstraktının antioksidan kapasitesi, 1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), bakır iyon azaltıcı antioksidan kapasitesi (CUPRAC) ve 2,2'-Azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit (ABTS) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiş, sırasıyla 16.18 mg Trolox eşdeğeri (TE)/g, 54. mg TE/g ve 91.9 mg TE/g sonuçları elde edilmiştir. Yağ asidi bileşimleri, gaz kromatografisi/kütle spektrometrisi (GC/MS) kullanılarak belirlenmiştir. Baskın yağ asidinin α -linolenik asit (%20.46) olduğu, bunu sırasıyla linoleik asit (%16.68), palmitik asit (%12.94) ve araşidonik asitin (%9.65) takip ettiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, Kars'tan temin edilen polifloral arı poleninin botanik çeşitliliği, antibakteriyel ve antioksidan özellikleri ile kimyasal içeriği hakkında kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

Botanical Origin, Antibacterial, and Antioxidant Properties of Polyfloral Bee Pollen from Kars (Türkiye): An Analytical Study

Article Info

Received: 04.04.2024

Accepted: 27.09.2024

Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1465191](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1465191)

Keywords

Antibacterial activity,
Antioxidant activity,
Bee pollen,
Fatty acid,
GC/MS

Abstract: The aim of the present study is to investigate the botanical origin, antibacterial and antioxidant activities, as well as the total phenolic content and total flavonoid content of polyfloral bee pollen from Kars in the north-eastern region of Türkiye. The pollen load was found to contain ten taxa, including Cistaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fabaceae, Papaveraceae, Asteraceae, Polygonaceae, Rosaceae, Lamiaceae, and Plantaginaceae. The minimal inhibitory concentration (MIC) values against tested microorganisms ranged from 2.5 to 5 mg mL⁻¹. The Folin-Ciocalteu method was used to determine the total phenolic content, which was found to be 23.65 mg gallic acid equivalent (GAE) g⁻¹. The TFC value in the bee pollen ethanolic extract was determined to be 14.56 mg quercetin equivalent (QE) g⁻¹. The antioxidant capacity of the bee pollen ethanolic extract was evaluated using the 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), cupric ion reducing antioxidant capacity (CUPRAC), and 2,2'-Azino-bis-3-

ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) methods, which yielded results of 16.18 mg Trolox equivalent (TE) g⁻¹, 54.23 mg TE g⁻¹, and 91.9 mg TE g⁻¹, respectively. The fatty acid compositions were identified using gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). The predominant fatty acid was found to be α -linolenic acid (20.46 %), followed sequentially by linoleic acid (16.68 %), palmitic acid (12.94 %), and arachidonic acid (9.65 %). This study provides a comprehensive assessment of the botanical diversity, antibacterial and antioxidant properties, and chemical composition of polyfloral bee pollen from Kars.

1. Giriş

Çiçek poleni olarak da bilinen arı poleni, besleyici, iyileştirici ve tedavi edici özelliklere sahip, kompleks bir bitkisel arı ürünüdür (Mischenko ve ark., 2020). Proteinler, karbonhidratlar, lipitler, fenolik bileşikler, biyoelementler ve vitaminler gibi değerli biyoaktif maddeler içerir (Mosić ve ark., 2023). Güçlü antioksidan aktiviteye sahip olan arı polenin, antibakteriyel, antifungal ve antitümör gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sergilediği rapor edilmiştir (Keskin & Özkök, 2020).

Coğrafi konum ve botanik köken, arı polenin kimyasal bileşimini belirlemede kritik bir rol oynar. Farklı bölgelerdeki bitki türleri ve arıların tercih ettiği çiçekler, polenin fitokimyasal profilini etkiler. Rajs ve ark. (2022) çalışması, fenolik içerik ve antioksidan kapasitenin bitki türlerine ve coğrafi konuma bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Ayrıca, işleme teknikleri ve saklama koşulları da polenin besleyici ve biyoaktif bileşenlerini etkileyebilir. Prdun ve ark. (2021) araştırması, bu faktörlerin polenin kalitesini korumada ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Yine Aličić ve ark. (2020), yaptıkları çalışma ile floristik kompozisyonun, coğrafi bölgenin, arı türlerinin, hazırlama koşullarının ve depolama süresinin arı polenin kimyasal bileşimi ve biyoaktif özellikleri üzerindeki etkisini vurgulamışlardır. El Ghouizi ve ark. (2023) ise, arı poleninde bulunan besleyici elementlerin ve biyoaktif mikro besinlerin, onun çeşitli kompozisyonunu ve tedavi edici özelliklerini nasıl belirlediğine dikkat çekmişlerdir.

Kars ili Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan, 1500-2000 metre rakımlı, uzun kış mevsimi ve kısa, yağışlı yaz mevsimi olan bir bölgedir. Türkiye'nin bal üretiminin %0.8'ini karşılayan Kars balı (Ozenirler ve ark., 2018), 2018 yılında Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından coğrafi işaret olarak tescillenmiştir (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2018). Ancak yapılan literatür taraması doğrultusunda, Kars arı polenin kimyasal içeriği, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile palinolojik özelliklerinin birlikte değerlendirildiği detaylı bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Kars bölgesinden elde edilen bir arı poleni örneğinin kimyasal bileşimi, antioksidan kapasitesi ve antimikrobiyal etkilerini analitik yöntemlerle ayrıntılı olarak inceleyerek, bu bölgedeki polenin potansiyel biyolojik özelliklerini belirlemek ve ileride yapılacak kapsamlı çalışmalara bir referans noktası oluşturmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Arı poleni örneği

Arı poleni örneği, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Kars'ın Arpaçay ilçesinden (40°50'54"K 43°19'54"D) 2020 yılının ağustos ayında bal üreticisinden temin edilip analizler başlayana kadar -20 °C'de saklanmıştır.

2.2. Arı polenin botanik kökeni

Arı poleni örneklerinin çiçek kaynağı, Barth ve arkadaşları ile Wodehouse'un yönteminin modifiye edilmesiyle mikroskopik analiz yoluyla tanımlanmıştır (Wodehouse, 1936; Barth ve ark., 2010). Öğütülmüş arı poleni örneğinden 2 gram alınarak, 13 mL %70 etanol ile 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışım 10 dakika vortekslenmiş ve ardından 3500 rpm'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Üstte kalan sıvı dökülmüş, altta kalan tortu ise bazik fuksinli gliserin jelatin boyası ile karıştırılmıştır. Bu karışım lam üzerine alınarak polen preparatı hazırlanmıştır. Hazırlanan preparat,

Leica DM500 ışık mikroskobu altında 400X büyütmede incelenmiştir. Toplam 1000 polen tanesi sayılarak, polen taksonları ve bu taksonların yüzdeleri hesaplanmıştır. Polen tanelerinin sıklığı, dominant (>45), sekonder (%15-45), minor (%3-15) ve eser polen (%1-3) olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır (Özkök ve ark., 2021). Polen fotoğrafları, 400X büyütmede Bestscope (BLM-280) mikroskobu kullanılarak çekilmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.3. Arı poleni ekstraktı

Ultrasonik ekstraksiyon işlemi, Zhou ve ark. (2015) yönteminde bazı değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, arı poleni numuneleri ev tipi bir öğütücü ile toz haline getirilmiştir. Ardından, 1.5 gramlık numune tartılarak 100 mL %95 etanol (Sigma-Aldrich, ABD) içinde, 40 °C'de ve 60 dakika boyunca ultrasonik banyo (Bandelin Electronic RK 255H, Almanya) kullanılarak çözündürülmüştür. Elde edilen karışım, 3500 rpm'de 30 dakika boyunca santrifüj edildikten sonra süpernatant toplanmıştır. Bu ekstraksiyon işlemi üç kez tekrarlanmıştır. Toplanan süpernatant, 0.22 µm'lik bir membran filtreden süzülerek -20 °C'de stok çözelti olarak saklanmıştır.

2.4. Toplam fenolik içerik ve toplam flavonoid içerik

Toplam fenolik içerik Folin–Ciocalteu reaktanı kullanılarak belirlenmiştir. 100 µL polen ekstraktı, 900 µL deiyonize su ve 5 mL Folin–Ciocalteu reaktifi (0.2 N) bir tüpte karıştırılmış ve 8 dakika bekletilmiştir. 5 mL sodyum karbonat eklenip 30 saniye vortekslenmiştir. Karışım, oda sıcaklığında 2 saat karanlıkta bekletilmiş ve ardından absorbansı 765 nm'de UV-vis spektrofotometre ile ölçülmüştür. Sonuçlar, mg galik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir (Capanoglu ve ark., 2013). Toplam flavonoid içerik, Zhishen ve ark. (1999) tarafından protokolde küçük değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. Kuersetin (KE) standart olarak kullanılmıştır. Yönteme göre, 20 µl standart ve örnek, 80 µl dH₂O içeren mikrolaka kuyucuklarına eklenmiştir. Daha sonra 5 dakika sonra 6 µl %5 NaNO₂ eklenmiştir. 5 dakikadan sonra, 6 µl %10 alüminyum klorür (AlCl₃) eklenmiş ve 6 dakika sonra 40 µl NaOH (1 M) eklenmiştir. Toplam hacim distile su ile 200 µl'ye tamamlanmıştır. Absorbans 510 nm'de mikrolaka okuyucu kullanılarak okunmuştur. Sonuçlar KE eşdeğeri olarak ifade edilmiştir. Toplam fenolik ve flavonoid içeriklerin belirlenmesi için tüm testler üç kez tekrar edilmiş olup, değerler ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur.

2.5. Antioksidan aktivite

Arı poleni numunesinin antioksidan aktivitesi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), 3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit (ABTS) ve Cu(II)'nin oksidan olarak kullanıldığı toplam antioksidan potansiyel yöntemi (CUPRAC) ile belirlenmiştir.

DPPH radikal temizleme kapasitesi, Bersuder ve ark. (1998) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Her bir süpernatant (50 µL) 2 mL DPPH çözeltisine eklenmiş ve karışım karanlık bir su banyosunda 30 dakika boyunca çalkalanarak bekletilmiştir. Absorbans, 517 nm'de ölçülmüştür.

ABTS radikal katyon çözeltisi hazırlamak için, 2,2'-Azino-bis-3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit, su içinde 7 mM konsantrasyonda çözölmüştür. ABTS çözeltisi, 2.45 mM potasyum persülfat ile reaksiyona sokulmuş ve kullanılmadan önce oda sıcaklığında karanlıkta 12-16 saat bekletilmiştir. Arı poleni örneklerinin incelenmesi için, ABTS çözeltisi etanol ile 734 nm'de 0.70 absorbansa ulaşana kadar seyreltilmiş ve 30 °C'de dengelenmiştir. Arı poleni ekstresi, 1 mL etanol veya PBS içinde seyreltildikten sonra, 1 mL ABTS çözeltisi ile karıştırılmıştır. Tüpler, karıştırıldıktan sonra 1 dakika bekletilmiş ve ardından 30 °C'de 6 dakika boyunca kapalı tutulmuştur. Örneklerin absorbansları 734 nm'de ölçülmüş ve sonuçlar mg TE/g cinsinden ifade edilmiştir (Makhlouf-Gafsi ve ark., 2018; Mayda ve ark., 2020).

CUPRAC yönteminde, arı poleni ekstresi sırasıyla 0.1 mL, 1.0×10^{-2} M Cu(II) klorür çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışıma ardından 7.5×10^{-3} M neokuproin çözeltisi ve 1 M amonyum asetat tamponu (pH 7.0) eklenmiştir. Karışımın toplam hacmi damıtılmış su eklenerek 4 mL'ye tamamlanmış, oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiş ve ardından absorbans değeri 450 nm'de ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri, bir antioksidan çözeltisi olmadan yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak, sonuçlar mg Trolox Eşdeğeri/g (mg TE/g) olarak ifade edilmiştir (Apak ve ark., 2004).

Antioksidan aktivitenin belirlenmesi için tüm testler üç kez tekrar edilmiş olup, sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak sunulmuştur.

2.6. Gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi (GC/MS) analizi

Örneklerin yağ asidi bileşimi, AOAC 920.39 (2000)'da tanımlanan yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Yağ ekstraksiyonu, bir Soxhlet cihazında çözücü olarak hekzan kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen lipitler, GC (Thermo Scientific Trace 1310, ABD) analizi için yağ asidi metil esterlerine (FAME'ler) dönüştürülmüştür. Bu işlem için çıkarılan yağ heptan içinde çözülmüş ve 2N KOH eklenmiştir. Karışım vorteksenerek 5000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası oluşan berrak heptan fazı, GC/MS analizi için cam deney tüplerine transfer edilmiştir. Örnek, otomatik bir örnekleme cihazı (Autosampler AI 1310, Thermo Fisher Scientific, ABD) kullanılarak cihaza enjekte edilmiştir (1 μ L). Numune, Thermo Scientific (ABD) ISQ LT modeli GC/MS kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz için Thermo Scientific'ten Trace Gold TG-WaxMS kılcal kolonu (60 m uzunluğunda, iç çapı 0.25 mm, film kalınlığı 0.25 μ m) kullanılmıştır. Enjeksiyon sıcaklığı 240 °C'ye ayarlanmış ve fırın sıcaklığı 3 dakika boyunca 100 °C'de tutulmuş, ardından 4 °C/dakika hızla 240 °C'ye yükseltilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak 1 mL/dakika akış hızı ve 1:20 bölünme oranı ile helyum kullanılmıştır. Kütle spektrometresi ünitesi (ISQ LT, Thermo Fisher Scientific, ABD), elektron iyonizasyon modunda (70 eV) çalıştırılmıştır. Yağ asitleri, 37 bileşenli standart bir FAME karışımıyla (CHEM-LAB n.v.-CL40.13093, Belçika) tutma süreleri karşılaştırılarak tanımlanmıştır.

2.7. Antimikrobiyal etkinlik

Antimikrobiyal deneylerde toplam 18 insan patojenik mikrobiyal suş kullanılmıştır (Tablo 3). Antimikrobiyal etkinin test edildiği ATCC suşları, Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarından, diğer suşlar ise Refik Saydam Ulusal Tıp Kültür Koleksiyonu (RSKK) Laboratuvarından temin edilmiştir. Bakteri suşları, Tryptic Soy Agar'a (Oxoid, UK) ekilerek 37 °C'de 18 saat boyunca inkübe edilmiştir. Daha sonra %0.9 steril salin tamponunda McFarland Standardı 0.5'e ($1-1.5 \times 10^8$ CFU/mL) ayarlanmıştır. Arı poleninin stok çözeltisinin sıvı kısmı, döner buharlaştırıcı ile buharlaştırılmıştır. Kurutulan 0.02 g polen örneği tartılmış ve antimikrobiyal aktivite testleri için 1 mL dimetil sülfoksit (DMSO) içinde çözülmüştür.

2.7.1. Disk difüzyon yöntemi

Arı poleni örneğinin antibakteriyel etkisini belirlemek için disk difüzyon yöntemi uygulanmıştır. Çapı 6 mm olan boş diskler, 20 mg/mL konsantrasyondaki arı poleni örneği çözeltileri ile emdirilmiştir. Negatif kontrol olarak DMSO, standart antibiyotik olarak ise 10 μ g/disk konsantrasyonunda siprofloksasin kullanılmıştır. İnkübasyonun ardından (18-24 saat boyunca, 37 °C'de) inhibisyon bölgelerinin boyutları ölçülmüştür. Sonuçların doğruluğunu sağlamak amacıyla test üç kez tekrarlanmıştır.

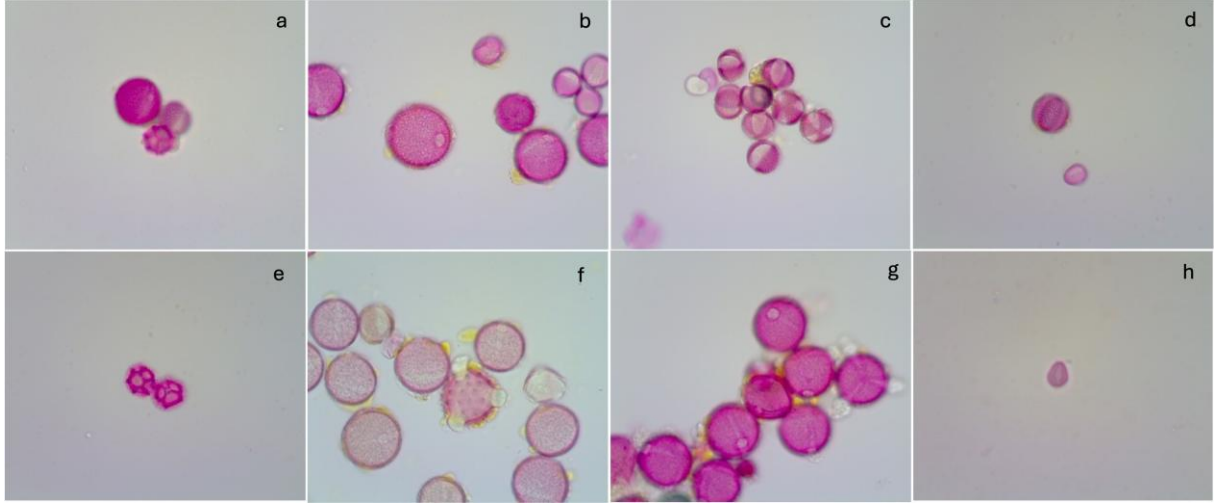
2.7.2. Minimum inhibitör konsantrasyon (MIC) testi

Arı poleni ekstresinin farklı konsantrasyonlarını elde etmek için iki katlı seri seyreltmeler, doğrudan Mueller Hinton besiyeri içeren bir mikrotitre plağında hazırlanmıştır (20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.62 ve 0.31 mg/mL). Her bir kuyuya, nihai olarak 5×10^5 CFU/mL konsantrasyonuna ulaşacak şekilde 20 μ L bakteriyel inokulum eklenmiştir. Standart ilaç olarak ampisilin kullanılmıştır. Plaka, steril bir kapakla kapatılarak 37 °C'de 24 saat boyunca inkübe edilmiştir. Optik yoğunluk, 600 nm'de bir mikropalak okuyucu (Bio-Tek, Eon, ABD) kullanılarak ölçülmüştür. Minimum inhibitör konsantrasyon (MIC), gözle görülür mikrobiyal büyümeyi engelleyen en düşük konsantrasyon olarak kaydedilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Botanik kökeni

Bu çalışmada, Kars bölgesinden toplanan bir adet arı poleni örneği incelenmiş ve Cistaceae (%27.8), Boraginaceae (%19.9), Brassicaceae (%19.6), Fabaceae (%16.4), Asteraceae (%8.7), Papaveraceae (%4.2), Polygonaceae (%2.0), Rosaceae (%1.0), Lamiaceae (%0.2) ve Plantaginaceae (%0.2) olmak üzere 10 farklı polen taksonu tespit edilmiştir. Kars'tan temin edilen arı poleni örneğinin polifloral olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Bazı polen taksonlarının mikroskopik görüntüleri. a) Karışık polen (Cistaceae, Asteraceae, Brassicaceae); b) Karışık polen (Cistaceae, Rosaceae); c) Brassicaceae; d) Karışık polen (Brassicaceae, Boraginaceae); e) Asteraceae; f) Karışık polen (Cistaceae, Asteraceae, Brassicaceae); g) Cistaceae; h)Boraginaceae.

3.2. Toplam fenolik-flavonoid içeriği ve antioksidan kapasitesi

Toplam fenolik içerik, Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir ve sonuçlar mg GAE/g polen olarak ifade edilmiştir. Arı poleni etanol ekstraktındaki Toplam fenolik içerik 23.65 mg GAE/g olarak bulunurken, toplam flavonoid içerik ise 14.56 mg KE/g olarak saptanmıştır.

Bu çalışmada, arı poleni etanol ekstresinin antioksidan kapasitesini belirlemek için DPPH, CUPRAC ve ABTS yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla 16.18 mg TE/g, 54.23 mg TE/g ve 91.9 mg TE/g olarak bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Polen örneğinin toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içerik ve antioksidan aktiviteleri

Toplam fenolik içerik (mg GAE/g)	Toplam flavonoid içerik (mg KE/g)	CUPRAC (mg TE/g)	DPPH (mg TE/g)	ABTS (mg TE/g)
23.65 ± 0.21	14.56 ± 0.22	54.23 ± 0.44	16.18 ± 0.18	91.9 ± 0.75

Not: Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3.3. Gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi (GC/MS) analizi

Arı poleni yağ ekstraktının GC-MS analizi sonucunda, toplamda 33 yağ asidi tanımlanmıştır; bunların 15'i doymuş, 8'i tekli doymamış ve 10'u çoklu doymamış yağ asididir. Bu yağ asitlerinin miktarları, toplam yağ asitlerinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Çizelge 2). En baskın yağ asidi olarak %20.46 oranında α -linolenik asit belirlenmiş, bunu sırasıyla %16.68 linoleik asit, %12.94 palmitik asit ve %9.65 araşidonik asit izlemiştir.

Kantitatif analiz, test örneğinde palmitik asidin (%12.94) baskın doymuş yağ asidi olduğunu ortaya koymuştur. Diğer baskın doymuş yağ asitleri ise sırasıyla stearik asit (%3.00), behenik asit (%2.61), heneikosanoik asit (%2.51), araşidonik asit (%1.45) ve miristik asit (%1.42) olarak %1'in üzerinde seviyelerde tespit edilmiştir. Tekli doymamış yağ asitleri arasında, oleik asit (%8.01), eikosenoik (cis-11) asit (%4.99), erusik asit (%4.11), nervonik asit (%2.01) ve elaidik asit (%1.62) en fazla bulunanlar olarak belirlenmiştir. En fazla bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin ise sırasıyla α -linolenik asit (%20.46), linoleik asit (%16.68), araşidonik asit (%9.65), eikosatrienoik (cis-8_11_14) asit (%3.25) ve eikosadienoik (cis-11_14) asit (%1.46) olduğu tespit edilmiştir. Test örneğinin, doymuş yağ asitlerine kıyasla daha yüksek oranda doymamış yağ asitleri (Doymuş yağ asitlerinin / Doymamış yağ asitlerinin 2.76) içerdiği ve n-6/n-3 yağ asitleri oranının %4'ten düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 2. Arı polenin yağ asit içeriği

No	t _R *	Yağ Asitleri	Kimyasal İsimlendirme	% Toplam
Doymuş yağ asitler				
1	24.43	Palimitik	C16:0	12.94 ± 0.20
2	27.93	Stearik	C18:0	3.00 ± 0.25
3	34.17	Behenik	C22:0	2.61 ± 0.14
4	33.57	Heneikosanoik	C21:0	2.51 ± 0.23
5	31.17	Araşidik	C20:0	1.45 ± 0.15
6	20.45	Miristik	C14:0	1.42 ± 0.02
7	36.93	Lignoserik	C24:0	0.76 ± 0.03
8	16.24	Laurik	C12:0	0.49 ± 0.09
9	11.96	Kaprik	C10:0	0.38 ± 0.06
10	5.89	Kaproik	C6:0	0.32 ± 0.05
11	35.94	Trikosanoik	C23:0	0.25 ± 0.06
12	26.17	Heptadekanoik	C17:0	0.17 ± 0.03
13	8.27	Kaprilik	C8:0	0.12 ± 0.02
14	22.36	Pentadekanoik	C15:0	0.09 ± 0.03
15	4.87	Buirik	C4:0	0.01
Tekli doymamış yağ asitleri				
16	28.57	Oleik	C19:1n9c	8.01 ± 0.36
17	31.79	Eikosenoik (cis-11)	C20:1	4.99 ± 0.18
18	34.79	Erusik	C22:1n9	4.11 ± 0.10
19	37.55	Nervonik	C24:1	2.01 ± 0.13
20	28.7	Elaidik	C19:1n9t	1.62 ± 0.06
21	26.71	Heptadekanoik (cis-10)	C17:1	0.38 ± 0.21
22	23.43	Pentadekanoik (cis -10)	C15:1	0.03
23	25.38	Palmitoleik	C16:1	0.03 ± 0.01
Çoklu doymamış yağ asitleri				
24	30.98	α -Linolenik	C18:3n3	20.46 ± 0.46
25	29.71	Linoleik	C18:2n6c	16.68 ± 0.30
26	33.94	Araşidonik	C20:4n6	9.65 ± 0.62
27	33.57	Eikosatrienoik (cis-8_11_14)	C20:3n6	3.25 ± 0.28
28	32.83	Eikosadienoik (cis-11_14)	C20:2	1.46 ± 0.09
29	30.44	γ -Linolenik	C18:3n6	0.25 ± 0.03
30	38.48	Dokosaheksaenoik (cis-4_7_10_13_16_19)	C22:6n3	0.17 ± 0.01
31	35.57	Dokosadienoik (cis-13_16)	C22:2	0.14 ± 0.02
32	30.17	Linoelaidik	C18:2n6t	0.13 ± 0.01
33	35.2	Eikosapentaenoik (cis-5_8_11_14_17)	C20:5n3	0.08 ± 0.02
% Doymuş yağ asitlerinin				26.52
% Doymamış yağ asitlerinin				73.45
% Toplam				99.97
Doymuş yağ asitlerinin / Doymamış yağ asitlerinin				2.76

*t_R: tutunma zamanı

Not: Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3.4. Antimikrobiyal etkinlik

Arı polenin etanolik ekstraktının antimikrobiyal profilini belirlemek amacıyla toplam 18 Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteri seçilmiştir. Ancak ekstraktın, test edilen tüm Gram-pozitif bakterilere ve bazı Gram-negatif bakterilere karşı zayıf bir antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Arı polenin etanolik ekstraktının farklı Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı in vitro antimikrobiyal aktivitesine ait sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Arı poleni ekstraktının (20 mg/mL) inhibisyon zonları (mm $\pm$ standart sapma) ve MİK değerleri

	Mikroorganizma	Arı polenin inhibisyon zonları (400µg/disk)	Siprofloksasinin inhibisyon zonları (10µg/disk)	MİK değerleri (20mg/mL)
Gram-pozitif	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	10.0 $\pm$ 1.73	28 $\pm$ 1.15	2.5
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	7.0 $\pm$ 1.0	29.3 $\pm$ 1.53	5
	<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29219	9.5 $\pm$ 0.5	25.0	5
Gram-negatif	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 1/Klinik	9.6 $\pm$ 1.15	14.3 $\pm$ 1.15	5
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 2/Klinik	TE	15.3 $\pm$ 0.58	TE
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	9.1 $\pm$ 0.76	38.0 $\pm$ 1.0	5
	<i>Klebsiella pneumonia</i> ATCC 700603	8.6 $\pm$ 1.15	25.0 $\pm$ 1.0	5
	<i>Escherichia coli</i> 1/Klinik	TE	45.0 $\pm$ 2.89	TE
	<i>Escherichia coli</i> 2/Klinik	TE	13.6 $\pm$ 2.89	TE
	<i>Escherichia coli</i> ATCC 35218	TE	39.3 $\pm$ 2.08	TE
	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	TE	38.6 $\pm$ 1.53	TE
	<i>Escherichia coli</i> O:124 RSKK 318	TE	45.0	TE
	<i>Escherichia coli</i> O:152 RSKK 323	8.3 $\pm$ 0.58	35.6 $\pm$ 0.58	5
	<i>Escherichia coli</i> O:157 H:7 RSKK 09007	8.5 $\pm$ 0.50	47.0 $\pm$ 1.0	5
	<i>Escherichia coli</i> O:143 RSKK 322	8.1 $\pm$ 0.20	27.3 $\pm$ 0.58	2.5
	<i>Escherichia coli</i> O:28 RSKK 314	TE	30.3 $\pm$ 0.58	TE
	<i>Escherichia coli</i> O:164 RSKK 324	7.5 $\pm$ 1.32	36.3 $\pm$ 1.15	5
	<i>Acinetobacter baumannii</i> /Klinik	TE	TE	TE

TE: Tespit edilmedi

Not: Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak ifade edilmiştir.

Antimikrobiyal duyarlılık testinde 7.0 mm ile 10 mm arasında değişen zon çapları gözlenmiştir. Arı polenin etanolik ekstraktı, *S. aureus* suşlarına, *E. faecalis*'e, *P. aeruginosa* suşlarına (siprofloksasine dirençli klinik izolat hariç), *K. pneumonia*'ya, *E. coli*'nin ATCC suşlarına ve bazı gıda kaynaklı *E. Coli* suşlarına karşı zayıf etki göstermiştir (*E. coli* O:152, *E. coli* O:157 H:7, *E. coli* O:143,

E. coli O:164). Test edilen mikroorganizmalara karşı MİK değerleri Çizelge 3'te gösterildiği gibi 2.5 ile 5 mg/mL arasında değişmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Botanik kökeni

Arı poleni örneklerinin botanik kökeni, bitki kaynağı, coğrafi köken, mevsimsel koşullar ve arı faaliyetleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Gardana ve ark., 2018). Feás ve ark. (2012), Portekiz'de arıların genellikle Cistaceae ve Boraginaceae familyalarından polen topladığını belirtmiştir. Bu çalışmada da arılar tarafından en çok tercih edilen polen taksonu olarak Cistaceae belirlenmiştir. Özkök ve ark. (2021), Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan 7 arı poleni örneğinin botanik kökenini mikroskopik analiz ile incelemişlerdir. Bu çalışma, incelenen bölgeler arasında Sivas'ın arı poleni içeriğinin, polen çeşitliliği açısından Kars'a en yakın örnek olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, Mayda ve ark. (2020), Türkiye'nin Beytepe-Ankara, Kahramankazan-Ankara, Bursa, Kırklareli ve Rize bölgelerinden arı poleni örneklerini incelemiş ve 33 farklı polen taksonu tanımlamıştır. Ankara'dan toplanan polen örneklerinin bitki familyaları açısından Kars örneğine en yakın olduğu belirlenmiştir.

4.2. Toplam fenolik-flavonoid içeriği ve antioksidan kapasitesi

Arı polenin antioksidan etkisinin türlere özgü olduğu ve bitki kaynakları arasında büyük farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir (Denisow & Denisow-Pietrzyk, 2016). Çalışmalar, coğrafi farklılıklar, çevresel faktörler ve polenin toplandığı bitki türlerine bağlı olarak arı polenin antioksidan kapasitesindeki çeşitliliği vurgulamaktadır (Dulger Altın ve ark., 2020). Arı polenin antioksidan aktivitelerine ve oksidatif strese karşı koruyucu etkilerine fenolaminler ve flavonoidler de katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2020).

Arı polenin toplam fenolik içeriği, bitki kaynakları ve coğrafi konumlara göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, Türkiye'de yapılan bir çalışmada, polenin toplam fenolik içerik değerlerinin 6.40 ile 16.4 mg GAE/g arasında değiştiği, en yüksek toplam fenolik ve antioksidan aktivitenin ise *Salix* taksonu polenlerinde bulunduğu rapor edilmiştir (Yıldız ve ark., 2013). Toplam fenolik içerik değerlerindeki bu değişkenlik, İtalya'da yapılan ve farklı yıllarda toplanan arı polenleri için 4.20 ile 29.60 mg GAE/g arasında olduğunu rapor edildiği çalışmalarda da açıkça görülmektedir (Sawicki ve ark., 2022). Ayrıca, arı polenin etanolik veya metanolik ekstraktlarının yüksek antioksidan kapasitesi ile başta flavonoidler ve fenolik asitler olmak üzere yüksek miktarda polifenoller arasındaki korelasyon, bu bileşiklerin arı polenin antioksidan özelliklerine olan katkısını daha da vurgulamaktadır (Bleha ve ark., 2019). Ancak, çalışmamızda Kars polenin toplam fenolik içeriği bu değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlarımızın, Türkiye'deki polenler için bildirilen aralıkta (16.19 mg GAE/g ve 38.82 mg GAE/g) olduğu tespit edilmiştir (Karkar ve ark., 2020).

Arı polenin toplam flavonoid içeriği de çeşitli çalışmalarda incelenmiş ve farklı botanik kökenler arasında önemli farklılıklar ortaya konmuştur. Örneğin, Brezilya'da yapılan bir araştırma, arı polenin yüksek antioksidan aktivite sergilediğini ve bunun potansiyel olarak flavonoidleri de içerebilen yüksek fenolik bileşik içeriğine atfedilebileceğini bildirmiştir (Carpes ve ark., 2009). Ayrıca, farklı botanik kökenlerden elde edilen arı polenleri üzerinde yapılan bir çalışma, toplam fenolik içerik değerlerinde 4.2 (*Magnolia*) ile 29.6 mg/g GAE (*Lamium*) arasında değişen belirgin farklılıklar göstermiştir; bu da bitki kaynaklarına bağlı olarak flavonoid içeriğindeki değişiklikleri ortaya koymaktadır (Rocchetti ve ark., 2018).

Arı polenin antioksidan kapasitesi, DPPH, ABTS, FRAP ve CUPRAC gibi çeşitli yöntemlerle kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bitki ekstraktlarındaki antioksidan kapasite ile toplam fenolik içerik arasında anlamlı bir ilişki bulunmuş, bu da fenolik bileşiklerin bu bitkilerin antioksidan özelliklerine önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Dudonné ve ark., 2009). Bu bulgular, arı polenin antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde fenolik bileşikler ve flavonoidlerin önemini vurgulamaktadır. Çalışmamızda, Türkiye'de yapılan bazı çalışmalara (Yesiltas ve ark., 2014; Çeksterye ve ark., 2016; Mayda ve ark., 2020) kıyasla daha yüksek bir antioksidan kapasite tespit edilmiştir.

4.3. Gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi (GC/MS) analizi

Arı poleninin yağ asidi bileşimi, besinsel önemi nedeniyle ilgi çekmektedir. Çalışmamıza benzer şekilde, [Mayda ve ark. \(2020\)](#), Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan polen örneklerinde yüksek düzeyde α -linolenik asit, linoleik asit, palmitik asit, araşidonik asit ve oleik asit rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, çalışmamızda [Mayda ve ark. \(2020\)](#) çalışmasında bildirilmeyen pentadekanoik asit ve elaidik asit de tespit edilmiştir. Ayrıca, [Mayda ve ark. \(2020\)](#) çalışmasında belirlenen behenik asit, heneikosanoik asit, erusik asit ve nervonik asit bu çalışmada daha yüksek düzeylerde bulunmuştur.

Erusik asit, yenilebilir bir omega-9 yağ asidi olarak bilinir ve Lorenzo yağı olarak bilinen tedavi edici bir bileşenin parçasıdır. Bu asit, adrenolökodistrofi tedavisinde kullanılmakta ve nöral hücre ölümünü bloke ederek multipl skleroz ve Alzheimer hastalığında terapötik roller oynadığı bilinmektedir. Aynı zamanda erusik asit, miyelinin önemli bir bileşeni olan nervonik aside dönüşebilmektedir ([Altınöz & Özpınar, 2019](#)).

Çalışmamızdan farklı olarak, [Özcan ve ark. \(2019\)](#) Türkiye ve Rusya'nın altı farklı bölgesinden (Konya-Karapınar, Rusya-Altay Dağları, Rusya-Perm Bölgesi, Hatay, Antalya-Alanya, Niğde-Bor) toplanan polen örneklerinde en baskın yağ asidinin oleik asit olduğunu bulmuşlardır. Yağ asidi bileşimindeki bu farklılıklar, botanik ve coğrafi köken farklılıklarına ve ayrıca yağ asitlerinin izolasyonu ve ekstraksiyonu için kullanılan metodolojiye bağlanabilir ([Estevinho ve ark., 2011](#)). Çalışmamız, [Estevinho ve ark. \(2011\)](#) Brezilya ve Portekiz arı polenleri üzerinde yaptıkları araştırma ile karşılaştırıldığında, yağ asidi içeriklerinin benzer yüzdelerde olduğu gözlemlenmiştir.

4.4. Antimikrobiyal etkinlik

Çalışmamızla uyumlu olarak, birçok araştırmacı, arı poleninin etanolik ekstraktının Gram-negatif bakterilere kıyasla Gram-pozitif bakterilere karşı daha etkili olduğunu bildirmiştir ([Gerçek ve ark., 2022](#)). Ancak, bizim bulgularımızın aksine, [Karadal ve ark. \(2018\)](#) polen örneklerinin *E. coli* O 157' ye karşı antibakteriyel aktivite göstermediğini, [Erkmen ve ark. \(2008\)](#) ise polen ekstraktının *E. faecalis*'e karşı antibakteriyel aktivite göstermediğini rapor etmişlerdir. Bu sonuçlardaki farklılıkların, arı poleninde bulunan ve sağlık açısından yararlı özelliklere sahip polifenoller ve diğer kimyasal bileşiklerdeki değişikliklerden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür ([Estevinho ve ark., 2011](#)).

Bulgularımız, arı poleni ekstraktlarına karşı *S. aureus*'un en duyarlı tür olduğunu ve *E. coli*'nin en dirençli tür olduğunu belirten önceki bazı çalışmalarla benzerdir ([Graikou ve ark., 2011](#); [Pascoal ve ark., 2014](#)). Benzer şekilde, çalışmamızda *P. aeruginosa* suşlarının (siprofloksasin dirençli klinik izolat hariç) arı polenine duyarlı olduğu görülmüştür, ki bu da diğer bazı çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur ([Carpes ve ark., 2007](#); [Fatrcová-Šramková ve ark., 2013](#)).

Bulgularımız, Kars arı poleninin, daha önce incelenen arı poleni örnekleriyle karşılaştırıldığında dikkate değer bir içeriğe, biyolojik özelliklere, toplam fenolik içerik değerine ve toplam flavonoid içerik değerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kars arı poleninin gözlemlenen biyoaktivitesinin altında yatan mekanizmaların daha iyi anlaşılması ve bu polenin gıda, besin takviyesi ve ilaç endüstrilerindeki potansiyel uygulamalarının değerlendirilmesi için daha kapsamlı araştırmalar gerekmektedir. Genel olarak, çalışmamızın, polen örnekleri üzerine artan bilgi birikimine katkıda bulunduğu ve Kars arı poleninin potansiyel sağlık faydalarına sahip değerli bir doğal kaynak olarak öne çıktığı vurgulanmıştır.

Teşekkür

Analizler sırasında sağladıkları teknik destek için Sinop Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı personeline teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Aličić, D., Flanjak, I., Ačkar, Đ., Jašić, M., Babić, J., & Šubarić, D. (2020). Physicochemical properties and antioxidant capacity of bee pollen collected in Tuzla Canton (B&H). *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 42-50. <https://doi.org/10.5513/jcea01/21.1.2533>
- Altınöz, M., & Özpınar, A. (2019). PPAR- δ and erucic acid in multiple sclerosis and Alzheimer's disease. Likely benefits in terms of immunity and metabolism. *International Immunopharmacology*, 69, 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.01.057>

- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Barth, O., Freitas, A., Oliveira, É., Silva, R. A., Maester, F. M., Andrella, R. R. S., & Cardozo, M. B. Q. G. (2010). Evaluation of the botanical origin of commercial dry bee pollen load batches using pollen analysis: a proposal for technical standardization. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, 82(4), 893-902. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652010000400011>
- Bersuder, P., Hole, M., & Smith, G. (1998). Antioxidants from a heated histidine-glucose model system. I: Investigation of the antioxidant role of histidine and isolation of antioxidants by high-performance liquid chromatography. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 75(2), 181-187. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0030-y>
- Bleha, R., Shevtsova, T., Kruzik, V., Brindza, J., & Sinica, A. (2019). Morphology, physicochemical properties and antioxidant capacity of bee pollens. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(1), 1-8. <https://doi.org/10.17221/139/2018-cjfs>
- Capanoglu, E., De Vos, R. C., Hall, R. D., Boyacioglu, D., & Beekwilder, J. (2013). Changes in polyphenol content during production of grape juice concentrate. *Food Chemistry*, 139(1-4), 521-526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.023>
- Carpes, S. T., Begnini, R., Alencar, S., & Masson, M. (2007). Study of preparations of bee pollen extracts, antioxidant and antibacterial activity. *Ciência E Agrotecnologia*, 31(6), 1818-1825. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542007000600032>
- Carpes, S. T., Mourão, G., Alencar, S., & Masson, M. (2009). Chemical composition and free radical scavenging activity of *Apis mellifera* bee pollen from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12(03), 220-229.
- Čeksterytė, V., Navakauskienė, R., Treigyte, G., Jansen, E., Kurtinaitienė, B., Dabkevičienė, G., & Balžekas, J. (2016). Fatty acid profiles of monofloral clover beebread and pollen and proteomics of red clover (*Trifolium pratense*) pollen. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 80(11), 2100-2108. <https://doi.org/10.1080/09168451.2016.1204218>
- Denisow, B., & Denisow-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4303-4309. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7729>
- Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., & Mérillon, J. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1768-1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
- Dulger Altiner, D., Sandıkcı Altınatmaz, S., Sabuncu, M., Aksu, F., & Sahan, Y. (2020). In-vitro bioaccessibility of antioxidant properties of bee pollen in Turkey. *Food Science and Technology*, 41(1), 133-141. <https://doi.org/10.1590/fst.10220>
- El Ghouizi, A., Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaid, D., El Menyiy, N., Hano, C., & Lyoussi, B. (2023). Bee pollen as functional food: Insights into its composition and therapeutic properties. *Antioxidants*, 12(3), 557. <https://doi.org/10.3390/antiox12030557>
- Erkmen, O., & Özcan, M. (2008). Antimicrobial effects of Turkish propolis, pollen, and laurel on spoilage and pathogenic food-related microorganisms. *Journal of Medicinal Food*, 11(3), 587-592. <https://doi.org/10.1089/jmf.2007.0038>
- Estevinho, L., Rodrigues, S., Pereira, A., & Feás, X. (2011). Portuguese bee pollen: palynological study, nutritional and microbiological evaluation. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(2), 429-435. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02859.x>
- Fatrcová-Šramková, K., Nůžková, J., Kačániová, M., Mariassyova, M., Rovná, K., & Stričík, M. (2013). Antioxidant and antimicrobial properties of monofloral bee pollen. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 48(2), 133-138. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.727664>
- Feás, X., Vázquez-Tato, M., Estevinho, L., Seijas, J., & Iglesias, A. (2012). Organic bee pollen: botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality. *Molecules*, 17(7), 8359-8377. <https://doi.org/10.3390/molecules17078359>

- Gardana, C., Del Bò, C., Quicazán, M., Correa, A., & Simonetti, P. (2018). Nutrients, phytochemicals and botanical origin of commercial bee pollen from different geographical areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.07.009>
- Gerçek, Y. C., Celik, S., & Bayram, S. (2022). Screening of plant pollen sources, polyphenolic compounds, fatty acids and antioxidant/antimicrobial activity from bee pollen. *Molecules*, 27(1), 117. <https://doi.org/10.3390/molecules27010117>
- Graikou, K., Kapeta, S., Aligiannis, N., Sotiroudis, G., Chondrogianni, N., Gonos, E., & Chinou, I. (2011). Chemical analysis of Greek pollen-Antioxidant, antimicrobial and proteasome activation properties. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 33. <https://doi.org/10.1186/1752-153x-5-33>
- Karadal, F., Onmaz, N. E., Abay, S., Yildirim, Y., Al, S., Tatyuz, I., & Akcay, A. (2018). A study of antibacterial and antioxidant activities of bee products: Propolis, pollen and honey samples. *Ethiopian Journal of Health Development*, 32(2).
- Karkar, B., Şahin, S., & Ertan Güneş, M. (2020). Evaluation of antioxidant properties and determination of phenolic and carotenoid profiles of chestnut bee pollen collected from Turkey. *Journal of Apicultural Research*, 60(5), 765-774. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1844462>
- Keskin, M., & Özkök, A. (2020). Effects of drying techniques on chemical composition and volatile constituents of bee pollen. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(4), 203-208. <https://doi.org/10.17221/79/2020-cjfs>
- Makhlouf-Gafsi, I., Krichen, F., Mansour, R., Mokni, A., Sila, A., Bougatef, A., Blecker, C., Attia, H., & Besbes, S. (2018). Ultrafiltration and thermal processing effects on Maillard reaction products and biological properties of date palm sap syrups (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Chemistry*, 256, 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.145>
- Mayda, N., Özkök, A., Bayram, N., Gerçek, Y., & Sorkun, K. (2020). Bee bread and bee pollen of different plant sources: Determination of phenolic content, antioxidant activity, fatty acid and element profiles. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 14(4), 1795-1809. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00427-y>
- Mischenko, O., Lytvynenko, O., Afara, K., & Kryvoruchko, D. (2020). Influence of nest structure and age of the bee queen on preparation of protein feed by bees. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 98(10), 27-32. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202010-04>
- Mosić, M. D., Trifković, J. Đ., Ristivojević, P. M., & Milojković-Opsenica, D. M. (2023). Quality assessment of bee pollen-honey mixtures using thin-layer chromatography in combination with chemometrics. *Chemistry & Biodiversity*, 20(3), e202201141. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202201141>
- Official Methods of Analysis (2000). 17th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Official Method 920.39, Gaithersburg, MD, USA.
- Ozenirler, C., Bayram, N. E., Celekli, O. G., Celikbicak, O., & Sorkun, K. (2018). Chemical characterization of Kars honey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(3), 1889-1895.
- Özcan, M. M., Aljuhaimi, F., Babiker, E. E., Uslu, N., Ceylan, D. A., Ghafoor, K., ... & Alsawmahi, O. N. (2019). Determination of antioxidant activity, phenolic compound, mineral contents and fatty acid compositions of bee pollen grains collected from different locations. *Journal of Apicultural Science*, 63(1), 69-79. <https://doi.org/10.2478/jas-2019-0004>
- Özkök, A., Koru, Ö., Bedir, O., Çetinkaya, S., Gençay Çelekli, Ö., Özenirler, Ç., Mayda N., & Sorkun, K. (2021). Total bioactive compounds and antimicrobial capacities of bee pollen with different botanical origins. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Food Science and Technology*, 78(1), 57. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2020.0061>
- Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feás, X., & Estevinho, L. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, 63, 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.11.010>
- Prđun, S., Svečnjak, L., Valentić, M., Marijanović, Z., & Jerković, I. (2021). Characterization of bee pollen: physico-chemical properties, headspace composition and FTIR spectral profiles. *Foods*, 10(9), 2103. <https://doi.org/10.3390/foods10092103>

- Rajs, B. B., Primorac, L., Gal, K., Bubalo, D., Prđun, S., Flanjak, I. (2022). Influence of botanical origin on phenolic content and antioxidant capacity of monofloral bee pollen. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 21(2), 213-222. <https://doi.org/10.17306/j.afs.1024>
- Rocchetti, G., Castiglioni, S., Maldarizzi, G., Carloni, P., & Lucini, L. (2018). UHPLC-ESI-QTOF-MS phenolic profiling and antioxidant capacity of bee pollen from different botanical origin. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 335-346. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13941>
- Sawicki, T., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Hanus, P. (2022). The profile of polyphenolic compounds, contents of total phenolics and flavonoids, and antioxidant and antimicrobial properties of bee products. *Molecules*, 27(4), 1301. <https://doi.org/10.3390/molecules27041301>
- Türk Patent ve Marka Kurumu. (2018). Erişim tarihi: 23 Aralık 2024. <https://kars.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Kars%20Bal%C4%B1%20Co%C4%9Frafisi%20C4%B0%C5%9Fareti.pdf>
- Wodehouse, R. P. (1936). Evolution of pollen grains. *Botanical Review*, 2(2), 67-84.
- Yesiltas, B., Capanoglu, E., Firatligil-Durmus, E., Sunay, A., Samanci, T., & Boyacioglu, D. (2014). Investigating the in-vitro bioaccessibility of propolis and pollen using a simulated gastrointestinal digestion System. *Journal of Apicultural Research*, 53(1), 101-108. <https://doi.org/10.3896/ibra.1.53.1.10>
- Yıldız, O., Can, Z., Saral, Ö., Yuluğ, E., Öztürk, F., Aliyazıcıoğlu, R., Canpolat, S., & Kolaylı, S. (2013). Hepatoprotective potential of chestnut bee pollen on carbon tetrachloride-induced hepatic damages in rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/461478>
- Zhang, H., Liu, R., & Lu, Q. (2020). Separation and characterization of phenolamines and flavonoids from rape bee pollen, and comparison of their antioxidant activities and protective effects against oxidative stress. *Molecules*, 25(6), 1264. <https://doi.org/10.3390/molecules25061264>
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00102-2)
- Zhou, J., Qi, Y., Ritho, J., Zhang, Y., Zheng, X., Wu, L., Li, Y., & Sun, L. (2015). Flavonoid glycosides as floral origin markers to discriminate of unifloral bee pollen by LC-MS/MS. *Food Control*, 57, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.035>



Research Article

Spectroscopic Characterizations and DFT Calculations of Olanzapine: Thermochemistry, HOMO-LUMO, FT-IR, MEP, and Hirshfeld Surface (HS) Analyses

Fermin AK*, Mehmet Hanifi KEBİROĞLU

Malatya Turgut Özal University, Darende Bekir Ilıcak Vocational School, Opticianry Program, 44700, Malatya, Türkiye

Fermin AK, [ORCID No: 0000-0003-3238-4638](#),
Mehmet Hanifi KEBİROĞLU, [ORCID No: 0000-0002-6764-3364](#)

*Corresponding author e-mail: fermin.ak@ozal.edu.tr

Article Info

Received: 01.01.2024
Accepted: 10.07.2024
Online December 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1413089](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1413089)

Keywords

FT-IR,
Hirshfeld surfaces,
HOMO and LUMO,
MEP,
Olanzapine,
Thermochemistry

Abstract: Olanzapine (OZ) was investigated quantum chemically using the Density Functional Theory (DFT) approach, and its surface was analyzed spectrochemically. To obtain the optimized structure, which serves as the basis for all other calculations, the LanL2DZ basis set was used. The DFT method has been employed to investigate the analysis of the title compound, specifically focusing on its ground state, which corresponds to the minimum energy state. The highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) energy levels of the frontier orbitals were obtained. The energy gap between HOMO and LUMO orbitals was determined to be 3.937 eV. HOMO-LUMO band gap (BG) emphasizes that adequate charge transfer has occurred within the molecule. In this context, Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface analysis was investigated, and thermochemical properties of OZ ($C_{17}H_{20}N_4S$ -molecular formula) were obtained and reported. The Hirshfeld surfaces including d_i , d_e , d_{norm} , shape index, curvedness, and fragment patch of $C_{17}H_{20}N_4S$ were pictured and discussed.

Olanzapinin Spektroskopik Karakterizasyonları ve DFT Hesaplamaları: Termokimya, HOMO-LUMO, FT-IR, MEP ve Hirshfeld Yüzey (HS) Analizleri

Makale Bilgileri

Geliş: 01.01.2024
Kabul: 10.07.2024
Online Aralık 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1413089](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1413089)

Anahtar Kelimeler

FT-IR,
Hirshfeld yüzeyleri,
HOMO ve LUMO,
MEP,
Olanzapin,
Termokimya

Öz: Olanzapin (OZ), Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) yaklaşımı kullanılarak kuantum kimyasal olarak incelenmiş ve yüzeyi spektrokimyasal olarak analiz edilmiştir. Diğer tüm hesaplamalara temel teşkil eden optimize edilmiş yapıyı elde etmek için LanL2DZ temel seti kullanılmıştır. DFT metodu, minimum enerji durumuna karşılık gelen taban duruma özel olarak odaklanarak söz konusu bileşiğin analizini araştırmak için çalışılmıştır. Sınır yörüngelerin en yüksek dolu moleküler yörünge (HOMO) ve en düşük boş moleküler yörünge (LUMO) enerji seviyeleri elde edilmiştir. HOMO ve LUMO yörüngeleri arasındaki enerji aralığı 3.937 eV olarak belirlenmiştir. HOMO-LUMO bant aralığı (BG), molekül içerisinde yeterli yük aktarımının gerçekleştiğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP) yüzey analizi incelenmiş ve OZ'un ($C_{17}H_{20}N_4S$ -moleküler formülü) termokimyasal özellikleri elde edilerek raporlanmıştır. $C_{17}H_{20}N_4S$ 'nin d_i , d_e , d_{norm} , şekil indeksi, kavisliliği ve parça yamasını içeren Hirshfeld yüzeyleri resmedilmiş ve tartışılmıştır.

1. Introduction

Olanzapine (OZ), known by its generic name $C_{17}H_{20}N_4S$, is an antipsychotic agent characterized by its molecular structure, which comprises three fused rings (phenyl, diazepine, and thiophene) and an N-methyl-piperazine substituent. The illustration in Figure 1 represents a unit cell drawing of OZ, which was generated using the VESTA program. Most crystalline forms of OZ primarily consist of the centrosymmetric dimer as their supramolecular building unit (Surampudi et al., 2020). Two OZ molecules combine to create a centrosymmetric dimer through intermolecular C-H/ π interactions (Thakuria & Nangia, 2011). These dimer molecules closely pack on their concave surfaces, facilitating multiple interactions. The stability of the dimer is such that it can even be observed within mesoscopic solute-rich clusters (Surampudi et al., 2020).

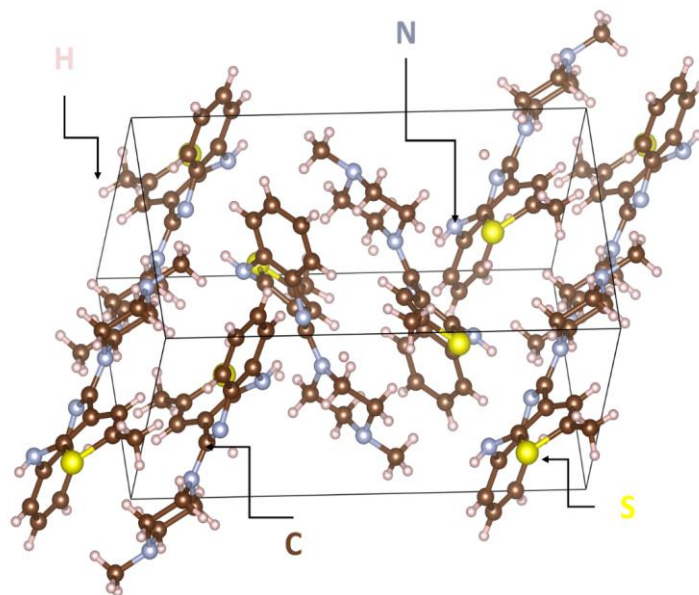


Figure 1. The packing arrangement of OZ molecules.

OZ (Olanzapine, 2-Methyl-4-(4-methyl-1-piperazinyl)- 10*H*-thieno[2,3-*b*][1,5]benzodiazepine (Sigmaaldrich, 2023) belongs to the class of newer generation atypical antipsychotic medications and is available in tablet form (Jasińska et al., 2009). Piperazine and thienobenzodiazepine derivatives find applications as antipsychotic, antidepressant, anti-inflammatory, antibiotic, antifungal, antimuscarinic agents, and antidiabetic, as well as in agrochemicals (Sevvanthi et al., 2020). OZ has also become the preferred therapeutic option for managing schizophrenia and acute mania in individuals with bipolar disorders (Paghandeh & Saeidian, 2018; Surampudi et al., 2020; Paghandeh et al., 2021). It is an antipsychotic medication (Surampudi et al., 2020). It, as a thienobenzodiazepine derivative (Bhana et al., 2001), also exhibits affinity for multiple neurotransmitter receptors. In vitro, it demonstrates substantial inhibitory activity at receptors for dopamine (D_1 , D_2 , D_4), serotonin (5-hydroxytryptamine; 5-HT) 5-HT_{2A}, 5-HT_{2C}, and histamine H_1 (Fulton & Goa, 1997).

Over the last three decades, OZ has gained popularity as a valuable tool compound for advancing our understanding of solid-state structure, form diversity, and crystallization outcomes at the molecular level, thanks to its remarkable solid-state chemistry, much like in physics (Reutzel-Edens & Bhardwaj, 2020). Computational chemistry suggests that antipsychotic drugs can be categorized based on their electron donor-acceptor capacity. Organic compounds have specific molecular orbitals, including the highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbitals (LUMO), which play a key role in chemical reactions. A higher HOMO energy in one compound can donate electrons to the LUMO energy in another, acting as an antioxidant. Conversely, a lower LUMO energy in one compound can accept electrons from the HOMO energy in another, acting as a prooxidant (Ozaki et al., 2023). The effects of this molecule on the body were identified using molecular docking studies (Al-Otaibi et al., 2021).

In this study, we employed Density Functional Theory (DFT) with the B3LYP functional and the LanL2DZ basis set to calculate excitation energies and other electronic properties (Beck, 1993). This method was chosen due to its proven accuracy in predicting the electronic structure of large molecules and its efficiency in handling systems involving heavy atoms (Hay & Wadt, 1985). The novelty of combining experimental and theoretical approaches allows for a comprehensive understanding of the material properties, providing insights that are benchmarked against experimental data to ensure reliability. Such theoretical studies are crucial for saving time and resources and for optimizing experimental procedures, starting with the determination of the most suitable molecular geometry where no negative vibrational frequencies are present (Cramer, 2013). In this research, we reported the results of DFT computations, which is a commonly used method for studying chemical reactivity (Frau et al., 2017). To enhance the accuracy of the theoretical results, excitation energies were computed using the LanL2DZ basis sets of the B3LYP functional, and the outcomes were compared (Taniş, 2022a). Gaussian 09 software, utilizing the LanL2DZ basis set, was employed for the theoretical calculations related to molecular structure and spectroscopy. These theoretical studies are crucial for saving time and resources and for optimizing experimental procedures. The optimization process starts with identifying the most appropriate geometry where the molecule exhibits no negative vibrational frequencies (Taniş, 2022b).

The CIF file for OZ was retrieved from the Crystallography Open Database website (Crystallography, 2023). The focus of the research was to investigate related characterization methods for OZ.

2. Material and Methods

Density Functional Theory (DFT) stands as a quantum mechanical framework employed for the computation of properties within systems containing multiple electrons. This theory is extensively utilized in the analysis of electronic structures, molecular dynamics, and the prediction of diverse material characteristics. DFT serves as a robust tool for comprehending and foreseeing the intricate behaviors of electrons in complex systems, establishing itself as a fundamental approach in computational quantum chemistry and condensed matter physics. The basic idea of DFT is to characterize the electron density of the system with a single function that determines the total energy of the system. This makes it possible to calculate the properties of the system without having to calculate the wave function of the system directly (Marques & Gross, 2004).

As seen in Table 1, the DFT method and LanL2DZ basis set were selected for having the most ideal energy gaps between the HOMO-LUMO orbitals among the sets. The LanL2DZ basis set, a double zeta (DZ) basis set, was developed by Hay and Wadt at the Los Alamos National Laboratory. It is a contracted basis set, so some of the basis functions are combined to reduce the number of basis functions without significantly affecting the accuracy of the calculation. The LanL2DZ basis set is a popular choice for DFT calculations of molecules and materials. It is relatively inexpensive to compute while still providing good accuracy for many properties (Chiodo et al., 2006).

Table 1. The energy gap between HOMO-LUMO orbitals of sets

Basis Sets	DFT (eV)	HF (eV)
STO-3G	4.463	11.795
3-21G	3.990	10.292
6-31G	3.962	10.197
6-311G	4.002	10.173
LanL2DZ	3.937	10.134
LanL2MB	4.263	11.661
SDD	3.950	10.156

Hirshfeld Surface (HS) Analysis was used to determine intramolecular and intermolecular connections and H-linked interactions within the crystal surface of a molecule. It is the most effective method for analyzing the unit cell arrangement of crystals. The OZ molecule has been utilized for the qualitative and quantitative examination of crystals, featuring a three-dimensional graphical

representation of the geographic area where nearby atoms interact and a two-dimensional fingerprint that identifies the atomic interactions (Hirshfeld, 1977; Wang et al., 2016). Crystal Explorer 17 software was used to register the Hirshfeld surface and fingerprint. It is used to analyze interactions within the crystal. Hirshfeld surface images are represented as d_{norm} . The d_i and d_e tips in the two-dimensional fingerprint diagram express the intermolecular interactions that exist within the molecules of the crystal (Hirshfeld, 1977; Kawahata et al., 2020).

3. Results

3.1. Geometry optimization

Geometry optimization involves seeking to determine the configuration with the lowest possible energy of a molecule. From a technical perspective, it estimates the wave function and energy in the initial geometry before searching for the geometry with the lowest energy. Optimizations produced through DFT and HF techniques within the scope of the LanL2DZ basis set are considered suitable, as outlined in Table 1. Fine-tuned parameters such as bond angles and bond lengths, determined using various techniques like DFT and HF, exhibit strong agreement with the corresponding X-ray structural characteristics, with only minor variations in the numerical values (Khanum et al., 2022). Figure 2 represents the optimized structure visually.

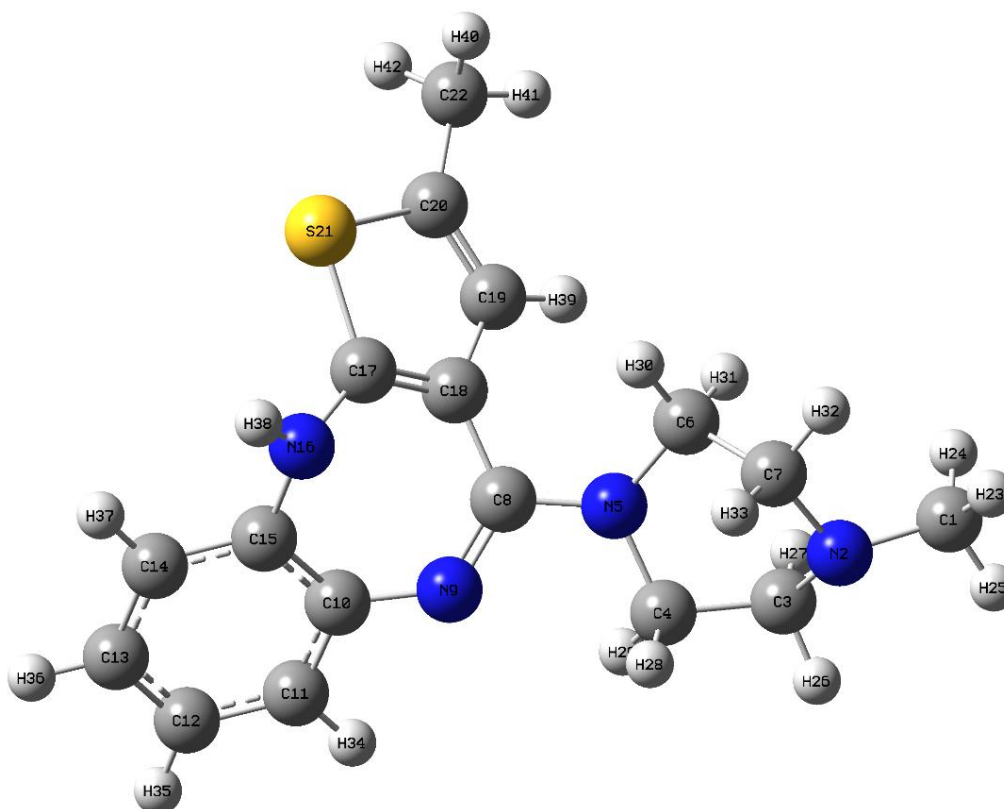


Figure 2. Optimized structure of OZ.

3.2. Natural Bond Orbital (NBO) analysis

NBO analysis gives complete orbital information about electronic density. It shows the inside of the molecule and the interactions between molecules (Eryilmaz et al., 2017). Additionally, it provides insight into the electron distributions in the subshells of atomic orbitals (Ulaş, 2020). C17-S21 has the longest tie length and is 1.8319 Å. The S atom remains distant from binding to the molecule. In Figure 3, the Color Range is between 1.013 - 1.832. The reason the colors are green shows that the distance between the atom and the molecule is long. The bond length of C-C bond values ranges from 1.346–1.516 Å for OZ. In the OZ compound, the C-H bond ranges from 1.084–1.108 Å (Sevvanthi et al.,

2020). The initial parameters for NBO analysis can be found in Table 2, which details Electronic Density and Bond Lengths.

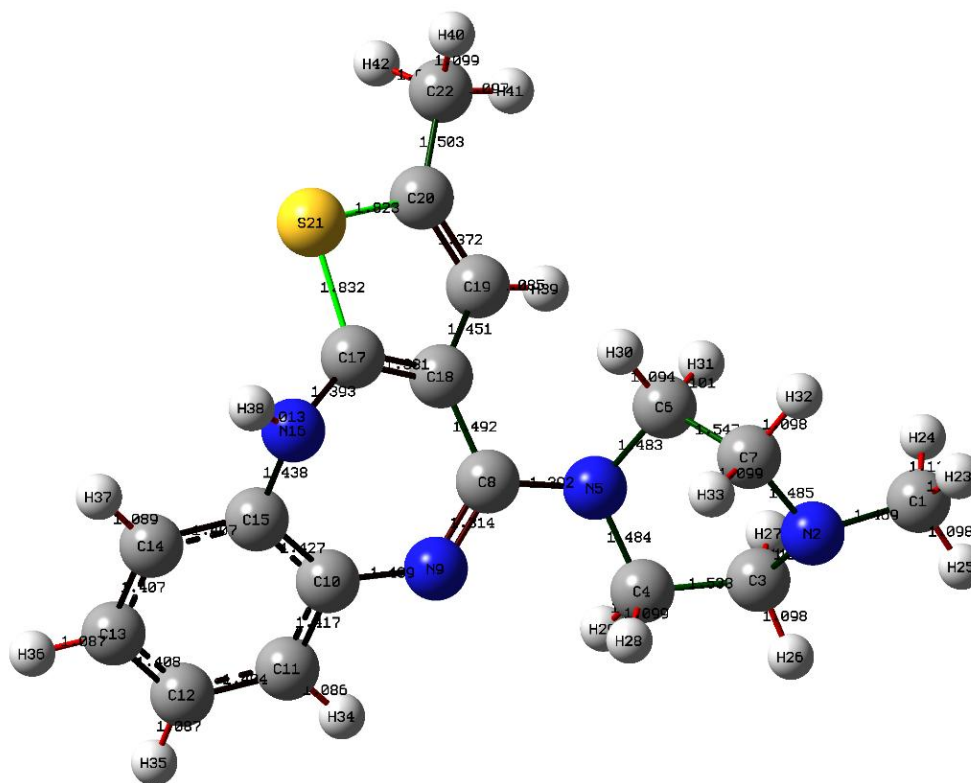


Figure 3. Bond Lengths (Color Range 1.013 to 1.832).

Table 2. Initial Parameters for OZ

Definition	Value (Å)	Definition	Value(Å)
C1-N2	1.4693	C10-C15	1.4274
C1-H23	1.0962	C11-C12	1.4038
C1-H24	1.1115	C11-H34	1.0862
C1-H25	1.0977	C12-C13	1.4084
N2-C3	1.4808	C12-H35	1.0873
N2-C7	1.4854	C13-C14	1.4066
C3-C4	1.5335	C13-H36	1.087
C3-H26	1.0985	C14-C15	1.4074
C3-H27	1.1111	C14-H37	1.089
C4-N5	1.4835	C15-N16	1.4378
C4-H28	1.0994	N16-C17	1.393
C4-H29	1.0944	N16-H38	1.0129
N5-C6	1.483	C17-C18	1.3807
N5-C8	1.3916	C17-S21	1.8319
C6-C7	1.5472	C18-C19	1.4508
C6-H30	1.0937	C19-C20	1.3717
C6-H31	1.1011	C19-H39	1.0849
C7-H32	1.0979	C20-S21	1.8233
C7-H33	1.0995	C20-C22	1.5029
C8-N9	1.3138	C22-H40	1.0987
C8-C18	1.4917	C22-H41	1.0967
N9-C10	1.4092	C22-H42	1.0982
C10-C11	1.4171		

3.3. Frontier Molecular Orbital (FMO) analysis

The frontier molecular orbitals, specifically HOMO and LUMO, along with the energy gap between these orbitals, play a crucial role in determining electronic and optical properties (Tanış, 2022c). The band gap value is determined by the energy difference between the frontier orbital levels of HOMO and LUMO (Tanış, 2022d). The computed frontier energy gap between HOMO and LUMO energies at the DFT/LanL2DZ level for OZ is shown in Figure 4. Figure 4 shows the molecular orbital arrangement and energy state diagram of OZ. The value of HOMO is -4.959 eV, and LUMO is -1.022 eV. The energy gap for OZ is 3.937 eV. The global hardness (η) of 1.968 eV, the chemical potential (μ) of -2.990 eV, and the global electrophilicity power (ω) of 2.271 eV is calculated for the OZ from the values of HOMO and LUMO. The parameter formulas used for these are shown below (Çakmak et al., 2022). Quantum chemical descriptors calculated for OZ are listed in Table 3.

$$I = -E_{HOMO} \quad (1)$$

$$A = -E_{LUMO} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 E}{\partial^2 N} \right]_{V(r)} = \frac{I - A}{2} \quad (3)$$

$$\langle \alpha \rangle = \frac{1}{3} [\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}] = \sigma = \frac{1}{\eta} \quad (4)$$

$$\mu = -\chi = \left[\frac{\partial E}{\partial N} \right]_{V(r)} = - \left(\frac{I + A}{2} \right) \quad (5)$$

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\omega} \quad (7)$$

$$\omega^+ = \frac{(I + 3A)^2}{16(I - A)} \quad (8)$$

$$\omega^- = \frac{(3I + A)^2}{16(I - A)} \quad (9)$$

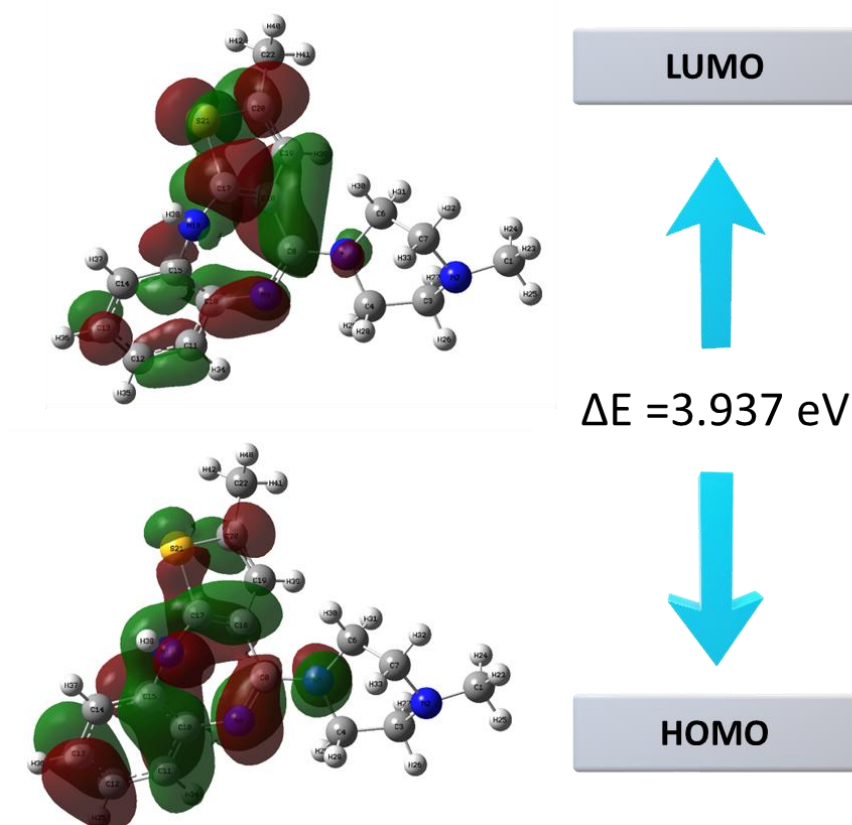


Figure 4. The molecular orbital arrangement and energy state diagram of OZ.

Table 3. The calculated quantum chemical descriptors for OZ

Parameter	Values	Parameter	Values
E_{HOMO} (eV)	-4.959	μ (eV)	-2.990
E_{LUMO} (eV)	-1.022	ω	2.271
ΔE (eV)	3.937	ϵ	0.440
η (eV)	1.968	ω^+	1.022
σ (eV ⁻¹)	0.508	ω^-	4.012
χ (eV)	2.990		

3.4. FT-IR spectra

The FT-IR spectra of OZ using the DTF/LanL2DZ set are shown in Figure 5. The high-frequency peaks in the IR spectrum are assigned to C1-H24 vibrations at 2915.66 cm⁻¹ to 3074.51 cm⁻¹. The wavenumbers of these high-frequency peaks correspond to possible positions based on structural data. C1-H24 group vibrations are probably the most sensitive to the environment, thus showing marked changes in the spectra of hydrogen-bonded species. There are out-of-plane (at below 1000 cm⁻¹), stretching (sharp strong peaks) and in-plane bending (sharp weak to medium intensity bands) vibrations. In the present research, the strong Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy bands at 3074.51 cm⁻¹ were assigned to C1-H24 stretching vibrations of OZ molecules. The N9-C8-C18-C17 stretching wavenumber can be easily recognized as the peak at 1641.87 cm⁻¹ in the IR spectra, hence assigned to the stretching vibration (Alam & Lee, 2017; Devi et al., 2018).

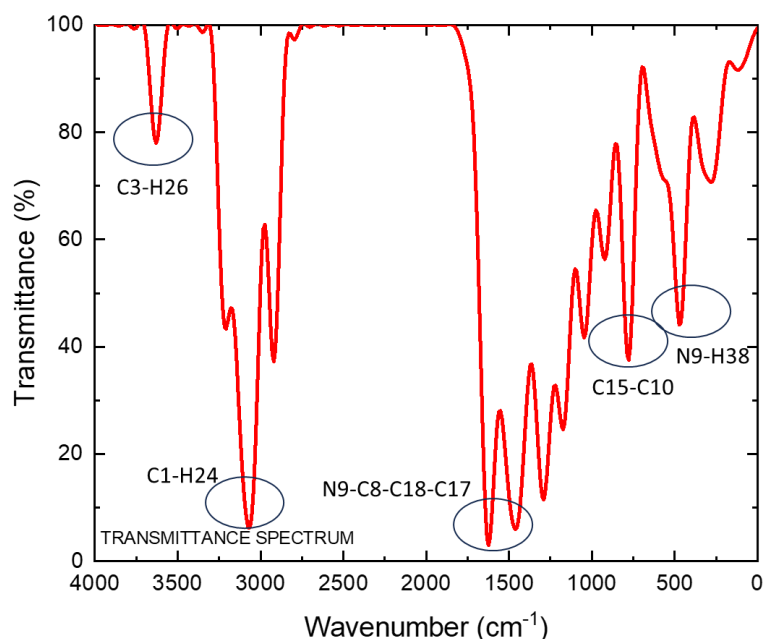


Figure 5. FT-IR spectrum of OZ.

3.5. MEP and Thermochemistry

The Molecular Electrostatic Potential (MEP) reveals the distribution of electronic density in a molecule, which proves valuable in identifying sites susceptible to electrophilic attacks, nucleophilic reactions, and hydrogen bonding interactions. MEP can highlight regions of a molecule that are electron-rich and thus more likely to attract electrophiles (electron-deficient species). These regions typically appear as areas of negative potential in the MEP map. Conversely, regions of a molecule that are electron-poor (positive potential) can attract nucleophiles (electron-rich species). These areas are essential for predicting sites where nucleophilic reactions are likely to occur (Kebiroğlu & Ak, 2023). The regions colored in red (N9 and N2 atoms) indicate negative areas, signifying a predisposition to electrophilic reactivity, while those in blue (N16 atom) denote positive areas, indicating a propensity for nucleophilic reactivity as illustrated in Figure 6a. A higher value of the electrophilicity index indicates a greater capacity of the molecule to accept electrons (Sheikhi et al., 2016). The equations used to calculate thermochemical data in Gaussian provide to obtain properties related to thermodynamics, as in Figure 6b (Ochterski, 2000).

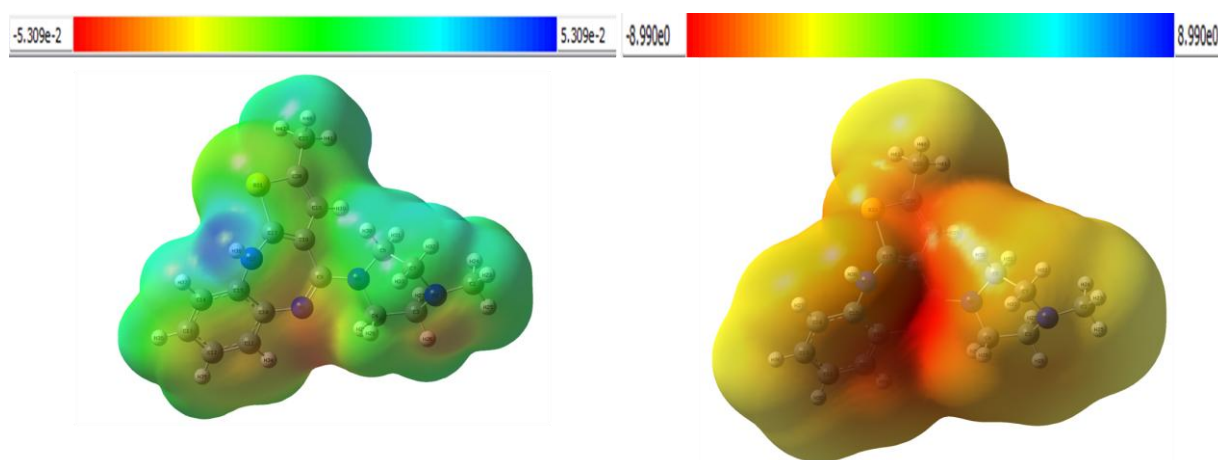


Figure 6. a) The 2D contour map of Molecular Electrostatic Potential (MEP) and b) ThermoChemistry Surface Map (TCSM) of OZ.

Because of the thermochemistry calculation of the molecule in Figure 6b, the temperature corresponds to the middle part of the molecule, namely the C8 atom. This is due to the central bonding of the C8 atom to the N5, N9, and C18 atoms, causing excessive heat to occur. The temperature was measured as 298.15 Kelvin and the pressure was measured as 1 atm. Furthermore, it was obtained that Thermo Chemistry Surface Maps (TCSM) of OZ is the same from 100 K to 350 K according to Figure 7. It shows that the structure is durable. The calculations for E (thermal), C_v (heat capacity), and S (entropy) parameters of OZ were in Table 4 and graphically represented as a correlation in Figure 8.

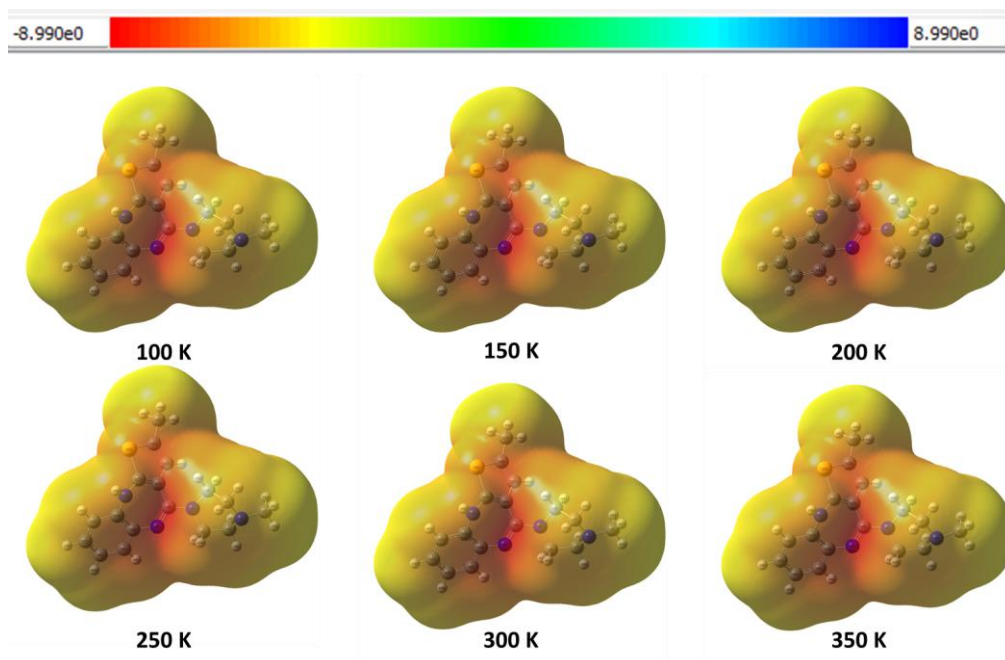


Figure 7. ThermoChemistry Surface Maps (TCSM) of OZ.

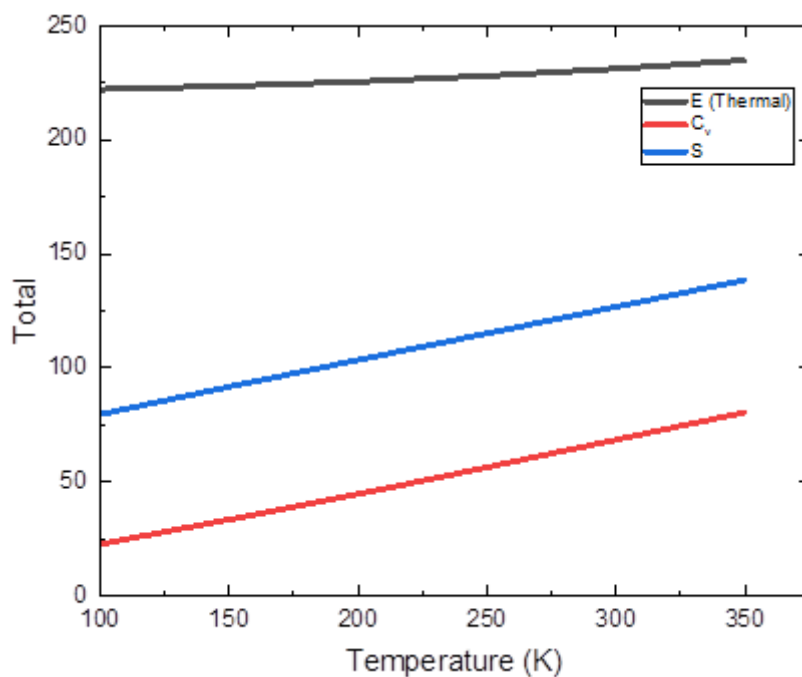


Figure 8. Theoretical thermal investigation as a correlation of E (thermal) energy, C_v (heat capacity), and S (entropy).

Table 4. Calculation of parameters of E (thermal), C_V (heat capacity), and S (entropy) of OZ

Temperature (K)	Total			Translational			Rotational			Vibrational		
	E (Thermal) (kcal/Mol)	C_V (Cal/Mol-K)	S (Cal/Mol-K)	E (Thermal) (kcal/Mol)	C_V (Cal/Mol-K)	S (Cal/Mol-K)	E (Thermal) (kcal/Mol)	C_V (Cal/Mol-K)	S (Cal/Mol-K)	E (Thermal) (kcal/Mol)	C_V (Cal/Mol-K)	S (Cal/Mol-K)
100	222.194	22.808	79.672	0.298	2.981	37.684	0.298	2.981	31.686	221.598	16.847	10.303
150	223.600	33.519	91.737	0.447	2.981	39.698	0.447	2.981	32.894	222.706	27.558	19.145
200	225.553	44.682	103.468	0.596	2.981	41.127	0.596	2.981	33.752	224.361	38.720	28.589
250	228.078	56.417	115.132	0.745	2.981	42.236	0.745	2.981	34.417	226.588	50.455	38.479
300	231.201	68.543	126.849	0.894	2.981	43.142	0.894	2.981	34.960	229.413	62.581	48.747
350	234.931	80.602	138.631	1.043	2.981	43.908	1.043	2.981	35.420	232.845	74.641	59.304

3.6. Hirshfeld Surface (HS) analysis

The Hirshfeld surface analysis methodology is employed for comprehending intermolecular interactions, identifying atoms in close contact, assessing crystal packing, and analyzing internuclear distances and angles (Spackman & Jayatilaka, 2009). This analytical method, through Hirshfeld surface analysis, offers a valuable graphical representation of hydrogen bond interactions. The Hirshfeld surface and fingerprint plots serve as useful tools for gaining insights into the contributions of interatomic contacts and assessing the stability of the molecular structure (Spackman & McKinnon, 2002). Hirshfeld surface images are represented as d_{norm} , while the red colored area indicates the negative d_{norm} side and close intermolecular interaction. The blue color area represents the longer intermolecular relationship and the positive d_{norm} . The zero-norm value is represented by the white part (Hirshfeld, 1977).

The red circular dot precipitated on the d_{norm} surface of the OZ structure represents intermolecular interactions. Negative d_{norm} values in surface regions indicate that the sum of d_i and d_e is shorter than the sum of the respective van der Waals radii (r_{vdw}) considered as the closest contact. This represents the normalized contact surface distance of the d_{norm} values and d_i and the internuclear distance. Figure 9 shows the Hirshfeld surface for OZ with d_i , d_e , d_{norm} shape index, curvature, and patch. Table 5 displays the distances related to Surface Feature Rescaling of OZ (Arulraj et al., 2020).

Table 5. Rescale Surface Property for OZ

Hirshfeld Surfaces	Rescale Surface	Property (Å)
d_{norm}	-0.3017	1.7049
d_i	0.9262	2.9282
d_e	0.9243	2.8423
Shape Index	-1.0000	1.0000
Curedness	-4.0000	0.4000
Fragment Patch	0.0000	16.0000

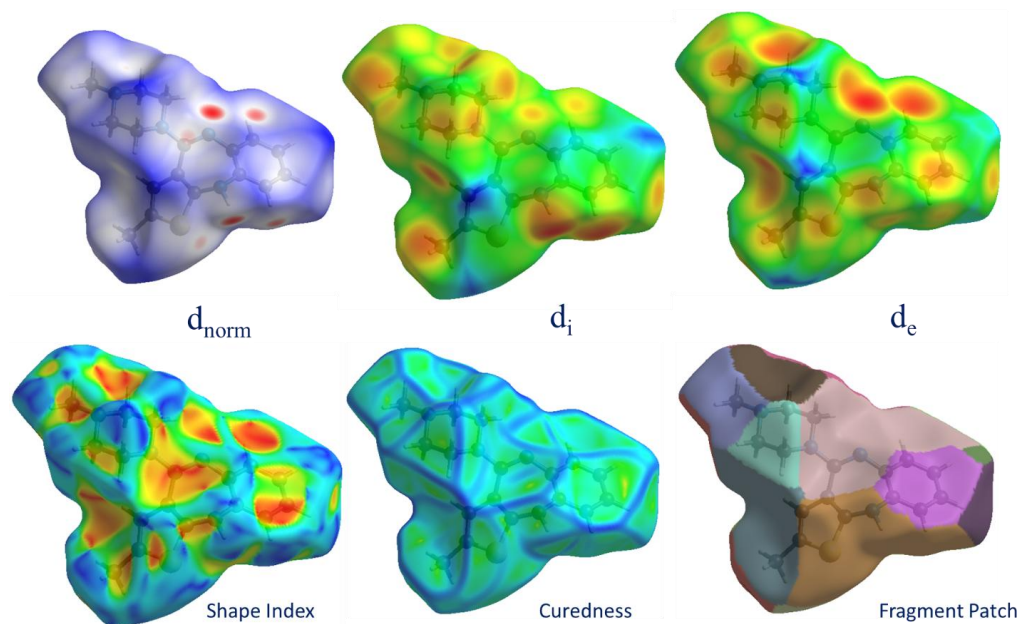


Figure 9. Hirshfeld surface for OZ with d_i , d_e , d_{norm} , shape index, curvedness and fragment patch.

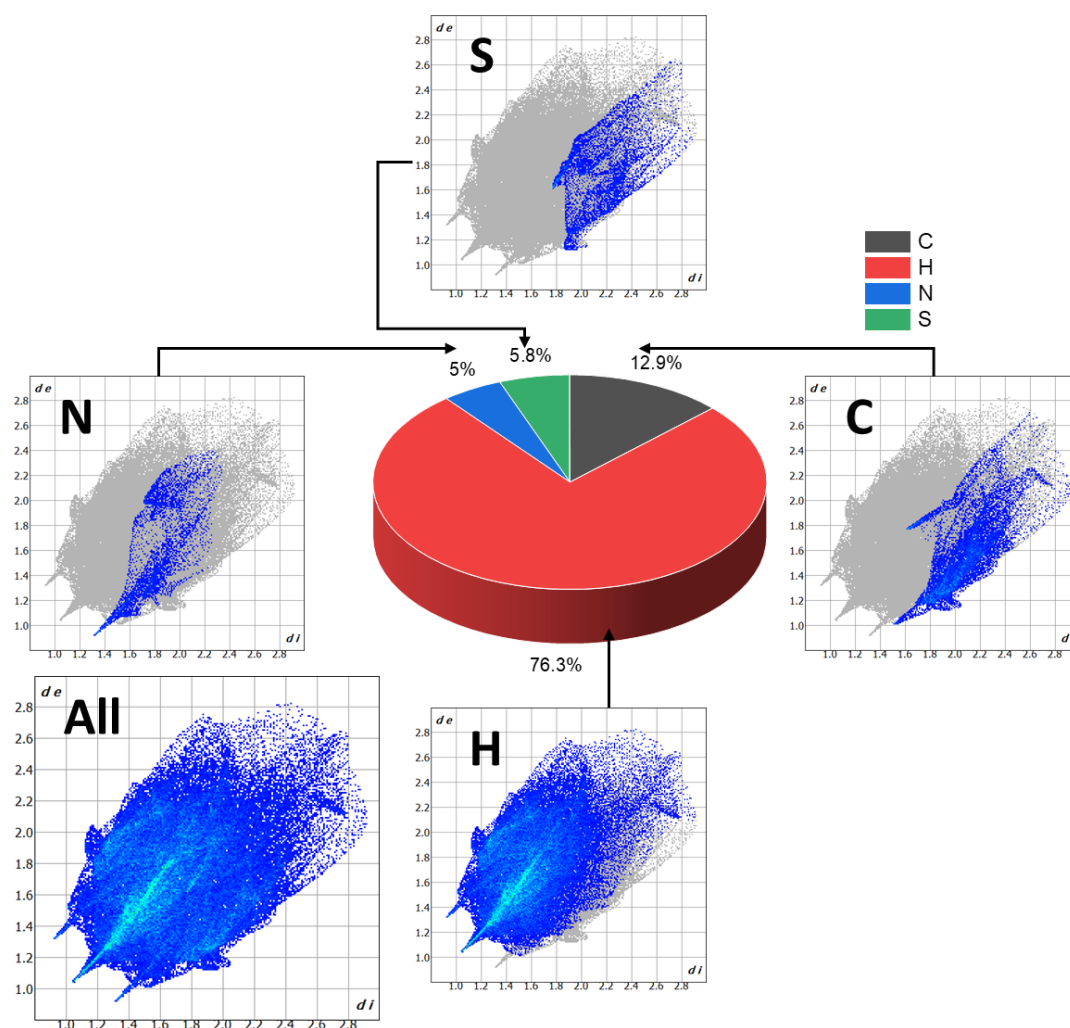


Figure 10. Intermolecular interactions within the molecule and their respective contributions.

Fingerprint analysis results are given in Figure 10. Interactions with contributions constituting less than 1% of the total are excluded from the circular representation. As depicted in Figure 10, the predominant contribution to intermolecular interactions is attributed to H interactions, accounting for 76.3%. The second most substantial contribution is observed in C interactions, representing 12.9%. The remaining interactions comprise 5.8% S and 5% N (Şahin & Dege, 2022).

4. Discussion and Conclusion

We chose Olanzapine ($C_{17}H_{20}N_4S$) as our subject for investigating its theoretical spectroscopic properties. Our quantum chemical analysis of OZ using Density Functional Theory (DFT) has provided valuable insights into its electronic structure and spectrochemical characteristics. Using the B3LYP/LanL2DZ level of basis set was crucial in obtaining the optimized molecular structure, which served as the basis for our calculations. We found that the energy gap between HOMO and LUMO was 3.937 eV, highlighting a significant charge transfer within the molecule. Additionally, bond lengths were calculated using NBO analysis. We conducted FT-IR spectroscopy to gather additional data. The strong FT-IR bands observed at 3074.51 cm^{-1} were attributed to the C1-H24 stretching vibrations of the OZ molecule, while the peak at 1641.87 cm^{-1} in the IR spectra was associated with the N9-C8-C18-C17 stretching vibration.

We also carried out Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface analysis, which provided deeper insights into the electrostatic properties of the molecule. Additionally, we reported on the thermal properties of OZ, with thermochemical calculations conducted at a temperature of 298.15 Kelvin and a pressure of 1 atm. The MEP and thermochemical calculations were mutually supportive, providing complementary insights into the electronic properties and thermochemical behavior of OZ. Thermochemical properties were calculated in Gaussian using the DFT method to determine the thermochemical stability of the compound. The total energy is the summation of the total electronic energy and the nuclear-nuclear repulsion. Entropy is a measure of the molecular disorder, or randomness, of a system. Heat capacity, or specific heat, is the heat per unit mass required to raise the temperature by 1°C . The calculations for E (thermal), C_v (heat capacity), and S (entropy) parameters of OZ were obtained and represented graphically as a correlation.

To gain further insights into the structure and interactions of the molecule, we visualized and discussed Hirshfeld surfaces, including parameters like d_i , d_e , d_{norm} , shape index, curvedness, and fragment patches of $C_{17}H_{20}N_4S$. Thus, intermolecular interactions was computed through Hirshfeld surfaces (HS) and two-dimensional (2D) fingerprint plot analysis. Fingerprint analysis results revealed that the most significant contribution to intermolecular interactions was made by hydrogen (H) interactions, accounting for 76.3% of the total. The second-largest contribution came from carbon (C) interactions, at 12.9%, with sulfur (S) and nitrogen (N) interactions making up the remaining 5.8% and 5%, respectively. This comprehensive analysis contributes to our understanding of the behavior and properties of OZ at the molecular level.

To further enhance the research, you might conduct experiments to validate the theoretical results and exploring potential applications of this knowledge in pharmacology or materials science. This could open up new possibilities for understanding the mechanisms of action of the drug or designing novel materials based on the results of its molecular level characterization.

References

- Alam, M. S., & Lee, D. U. (2017). Spectral (FT-IR, FT-Raman, UV, and fluorescence), DFT, and solid state interaction analyses of (E)-4-(3, 4-dimethoxybenzylideneamino)-1, 5-dimethyl-2-phenyl-1H-pyrazol-3 (2H)-one. *Journal of Molecular Structure*, 1128, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.08.048>
- Al-Otaibi, J. S., Albrycht, P., Mary, Y. S., Mary, Y. S., & Książopolska-Gocalska, M. (2021). Concentration-dependent SERS profile of olanzapine on silver and silver-gold metallic substrates. *Chemical Papers*, 75, 6059-6072. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01783-9>
- Arulraj, R., Sivakumar, S., Suresh, S., & Anitha, K. (2020). Synthesis, vibrational spectra, DFT calculations, Hirshfeld surface analysis and molecular docking study of 3-chloro-3-methyl-2, 6-diphenylpiperidin-4-one. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 232, 118166. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118166>

- Beck, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics*, 98(7), 5648-6. <https://doi.org/10.1063/1.464913>
- Bhana, N., Foster, R. H., Olney, R., & Plosker, G. L. (2001). Olanzapine: an updated review of its use in the management of schizophrenia. *Drugs*, 61(1), 111-161. <https://doi.org/10.2165/00003495-200161010-00011>
- Chiodo, S., Russo, N., & Sicilia, E. (2006). LANL2DZ basis sets recontracted in the framework of density functional theory. *The Journal of Chemical Physics* 125(10). <https://doi.org/10.1063/1.2345197>.
- Cramer, C. J. (2013). *Essentials of computational chemistry: theories and models*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0470091821.
- Crystallography Open Database. (Online). Date of access: 29.08.2023. Available: <https://www.crystallography.net/cod/search.html>
- Çakmak, R., Başaran, E., Kaya, S., & Erkan, S. (2022). Synthesis, spectral characterization, chemical reactivity and anticancer behaviors of some novel hydrazone derivatives: Experimental and theoretical insights. *Journal of Molecular Structure*, 1253, 132224. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.132224>
- Devi, P., Fatma, S., Shukla, S., Kumar, R., Singh, V., & Bishnoi, A. (2018). Synthesis, spectroscopic investigation, molecular docking and DFT studies of novel (2Z, 4Z)-2, 4-bis (4-chlorobenzylidene)-5-oxo-1-phenylpyrrolidine-3-carboxylic acid (BCOPCA). *Heliyon*, 4(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01009>
- Eryilmaz, S., Gül, M., Kozak, Z., & Inkaya, E. (2017). The Computational Study on (E)-3-(2-Chlorostyryl)-5, 5-Dimethylcyclohex-2-Enone. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 738-741. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.738>
- Frau, J., Muñoz, F., & Glossman-Mitnik, D. (2017). Application of DFT concepts to the study of the chemical reactivity of some resveratrol derivatives through the assessment of the validity of the “Koopmans in DFT”(KID) procedure. *Journal of Theoretical and Computational Chemistry*, 16(01), 1750006. <https://doi.org/10.1142/S0219633617500067>
- Fulton, B., & Goa, K. L. (1997). Olanzapine: a review of its pharmacological properties and therapeutic efficacy in the management of schizophrenia and related psychoses. *Drugs*, 53, 281-298. <https://doi.org/10.2165/00003495-199753020-00007>
- Hay, P. J., & Wadt, W. R. (1985). Ab initio effective core potentials for molecular calculations. Potentials for the transition metal atoms Sc to Hg. *The Journal of Chemical Physics*, 82(1), 270-283. <https://doi.org/10.1063/1.448799>
- Hirshfeld, F. L. (1977). Bonded-atom fragments for describing molecular charge densities. *Theoretica Chimica Acta*, 44, 129-138. <https://doi.org/10.1007/BF00549096>
- Jasińska, B., Kędzior, M., Śniegocka, M., Koziół, A. E., & Wawrzycka-Gorczyca, I. (2009). Investigation of the free volume in olanzapine by PALS. *Physica Status Solidi C*, 6(11), 2432-2434. <https://doi.org/10.1002/pssc.200982110>
- Kawahata, M., Tominaga, M., Komatsu, R., Hyodo, T., & Yamaguchi, K. (2020). Inclusion crystals of V-shaped host molecules having trialkoxybenzene moieties with a carborane or benzoquinone derivative. *Crystal Engineering Communications*, 22(44), 7648-7653. <https://doi.org/10.1039/D0CE01107J>
- Kebiroğlu, H., & Ak, F. (2023). Molecular Structure, Geometry Properties, HOMO-LUMO, and MEP Analysis of Acrylic Acid Based on DFT Calculations. *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 6(2), 92-100. <https://doi.org/10.54565/jphcfum.1343235>
- Khanum, G., Fatima, A., Siddiqui, N., Agarwal, D. D., Butcher, R. J., Srivastava, S. K., & Javed, S. (2022). Synthesis, single crystal, characterization and computational study of 2-amino-N-cyclopropyl-5-ethyl-thiophene-3-carboxamide. *Journal of Molecular Structure*, 1250, 131890. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131890>
- Marques, M. A., & Gross, E. K. (2004). Time-dependent density functional theory. *Annual Review of Physical Chemistry*, 55, 427-455. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.55.091602.094449>
- Ochterski, J. W. (2000). Thermochemistry in gaussian. *Gaussian Inc*, 1, 1-19.
- Ozaki, T., Mikami, K., Toyomaki, A., Hashimoto, N., Ito, Y. M., & Kusumi, I. (2023). Assessment of electroencephalography modification by antipsychotic drugs in patients with schizophrenia

- spectrum disorders using frontier orbital theory: A preliminary study. *Neuropsychopharmacology Reports*, 43(2), 177-187. <https://doi.org/10.1002/npr2.12318>
- Paghandeh, H., & Saeidian, H. (2018). Expedient and click synthesis, spectroscopic characterizations and DFT calculations of novel 1, 5-bis (N-substituted 1, 2, 3-triazole) benzodiazepinedione scaffolds. *Journal of Molecular Structure*, 1157, 560-566. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.12.035>
- Paghandeh, H., Foumeshi, M. K., & Saeidian, H. (2021). Regioselective synthesis and DFT computational studies of novel β -hydroxy-1, 4-disubstituted-1, 2, 3-triazole-based benzodiazepinediones using click cycloaddition reaction. *Structural Chemistry*, 32, 1279-1287. <https://doi.org/10.1007/s11224-020-01698-3>
- Reutzel-Edens, S. M., & Bhardwaj, R. M. (2020). Crystal forms in pharmaceutical applications: olanzapine, a gift to crystal chemistry that keeps on giving. *International Union of Crystallography Journal*, 7(6), 955-964. <https://doi.org/10.1107/S2052252520012683>
- Sevvanthi, S., Muthu, S., Aayisha, S., Ramesh, P., & Raja, M. (2020). Spectroscopic (FT-IR, FT-Raman and UV-Vis), computational (ELF, LOL, NBO, HOMO-LUMO, Fukui, MEP) studies and molecular docking on benzodiazepine derivatives-heterocyclic organic arenes. *Chemical Data Collections*, 30, 100574. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2020.100574>
- Sheikhi, M., Balali, E., & Lari, H. (2016). Theoretical investigations on molecular structure, NBO, HOMO-LUMO and MEP analysis of two crystal structures of N-(2-benzoyl-phenyl) oxalyl: A DFT study. *Journal of Physical & Theoretical Chemistry*, 13(2), 155-169.
- Sigmaaldrich. (2023). Olanzapine. Date of access: 22.12.2023. Available: <https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/substance/olanzapine31243132539061>
- Spackman, M. A., & Jayatilaka, D. (2009). Hirshfeld surface analysis. *Crystal Engineering Communications* 11(1), 19-32. <https://doi.org/10.1039/B818330A>
- Spackman, M. A., & McKinnon, J. J. (2002). Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals. *Crystal Engineering Communications* 4(66), 378-392. <https://doi.org/10.1039/b203191b>
- Surampudi, A. V. S. D., Rajendrakumar, S., Nanubolu, J. B., Balasubramanian, S., Surov, A. O., Voronin, A. P., & Perlovich, G. L. (2020). Influence of crystal packing on the thermal properties of cocrystals and cocrystal solvates of olanzapine: Insights from computations. *Crystal Engineering Communications*, 22(39), 6536-6558. <https://doi.org/10.1039/D0CE00914H>
- Şahin, S., & Dege, N. (2022). (E)-N-(3-Chlorophenyl)-1-(5-nitro-2-(piperidin-1-yl) phenyl) methanimine: X-Ray, DFT, ADMET, boiled-egg model, druggability, bioavailability, and human cyclophilin D (CypD) inhibitory activity. *Journal of Molecular Structure*, 1250, 131744. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131744>
- Taniş, E. (2022a). New optoelectronic material based on biguanide for orange and yellow organic light emitting diode: A combined experimental and theoretical study. *Journal of Molecular Liquids*, 358, 119161. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119161>
- Taniş, E. (2022b). A study of silicon and germanium-based molecules in terms of solar cell devices performance. *Turkish Journal of Chemistry*, 46(5), 1607-1619. <https://doi.org/10.55730/1300-0527.3464>
- Taniş, E. (2022c). Study of electronic, optoelectronic and photonic properties of NBB material in solvent environments. *Journal of Electronic Materials*, 51(9), 4978-4985. <https://doi.org/10.1007/s11664-022-09730-4>
- Taniş, E. (2022d). Optical and photonic properties dependence on HNMB solvents: An emitter molecule for OLEDs. *Optik*, 252, 168576. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.168576>
- Thakuria, R., & Nangia, A. (2011). Polymorphic form IV of olanzapine. *Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications*, 67(11), o461-o463. <https://doi.org/10.1107/S0108270111043952>
- Ulaş, Y. (2020). Natural bond orbital (NBO) population analysis and non-linear optical (NLO) properties of 2-(azepan-1-yl) (naphthalen-1-yl) methyl phenol. *International Journal of Chemistry and Technology*, 4(2), 138-145. <https://doi.org/10.32571/ijct.751001>
- Wang, W., Ling, Y., Yang, L. J., Liu, Q. L., Luo, Y. H., & Sun, B. W. (2016). Crystals of 4-(2-benzimidazole)-1, 2, 4-triazole and its hydrate: preparations, crystal structure and Hirshfeld surfaces analysis. *Research on Chemical Intermediates*, 42, 3157-3168. <https://doi.org/10.1007/s11164-015-2203-2>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Güneş Spektrumun Türkiye'deki Farklı Bölgeler için Spektral Etkilerin İncelenmesi

Gencer SARIOĞLU^{*1}, Rüştü EKE²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Gediz Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 43600, Kütahya, Türkiye

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye

Gencer SARIOĞLU, ORCID No: 0000-0002-7753-7813, Rüştü EKE, ORCID No: 0000-0002-9260-6143

*Sorumlu yazar e-posta : gencer.sarioglu@dpu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 02.07.2024

Kabul: 06.09.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1509398

Anahtar Kelimeler

APE,
Spektrum,
UF

Öz: Fotovoltaik (PV) modüller üzerine düşen güneşin spektral dağılımından etkilenmektedir. Bu çalışmada farklı iller seçilmiş ve SPCTRL2 programı kullanılarak farklı zamanlar için gelen doğrudan güneş ışınımı spektrumu elde edilmiştir. Bu spektrumlar kullanılarak ortalama foton enerjisi (APE) ve yararlı kesir (UF) ifadeleri güneş gözellerinin spektral tepki aralığına uyumlu olarak seçilmiş ve 300-1200 nm aralığında hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen APE değerleri AM 1.5D spektrum ile karşılaştırılmıştır. Aynı enlem üzerindeki incelenen şehirler için (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) APE ve UF parametreleri batıda bulunan şehirlerde daha büyük olduğu görülmüştür. Aynı boylam üzerindeki incelenen şehirleri (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) karşılaştırdığımızda güneyde bulunan şehirler daha büyük APE ve UF parametrelerine sahip olduğu görülmüştür. PV modül teknolojisinin yapıldığı yarıiletkenin yasak enerji aralığı ile UF parametresi arasında ilişki vardır ve yasak enerji aralığı arttıkça UF parametresi azalmaktadır. UF parametresinin düşük olduğu güneş gözesi teknolojileri spektral etkiye karşı daha hassas davranmaktadır.

Analysis of Spectral Effects of Solar Spectrum for Different Regions in Türkiye

Article Info

Received: 02.07.2024

Accepted: 06.09.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1509398

Keywords

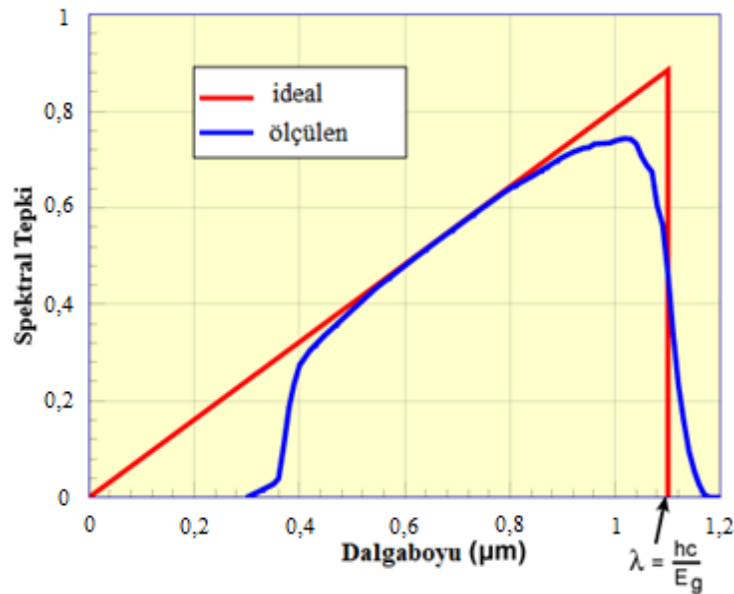
APE,
Spektrum,
UF

Abstract: Photovoltaic (PV) modules are affected by the spectral distribution of the sun falling on them. In this study, different provinces were selected and the direct solar radiation spectrum for different times was obtained using the SPCTRL2 program. Using these spectra, the average photon energy (APE) and useful fraction (UF) expressions were selected in accordance with the spectral response range of solar cells and calculated and compared in the range of 300-1200 nm. The obtained APE values were compared with the AM 1.5D spectrum. For the cities examined on the same latitude (Mugla, Sanliurfa, Istanbul and Trabzon), it was seen that the APE and UF parameters were larger in the cities located in the west. When we compared the cities examined on the same longitude (Mugla, Sanliurfa, Istanbul and Trabzon), it was seen that the cities located in the south had larger APE and UF parameters. There is a relationship between the forbidden energy range of the semiconductor from which the PV module technology is made and the UF parameter, and as the forbidden energy range increases, the UF parameter decreases. Solar cell technologies with low UF parameters are more sensitive to spectral effects.

1. Giriş

Günümüzde enerji talebinin artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları giderek önem kazanmaktadır (Keshuov & Moldybayeva, 2024; Wilberforce ve ark., 2024). Güneş enerjisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir (Shahsavari & Akbari, 2018). Fotovoltaik (PV) modüller veya güneş gözeleri, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmek için kullanılan teknolojilerdir (Satpathy & Pamuru, 2020). PV modüllerin dış mekân performansı güneş ışınımından, modül sıcaklığından ve spektral ışınım dağılımından büyük ölçüde etkilenir (Eke ve ark., 2017). PV modüllerin imalatından sonra performansları standart test koşulları (STC) altında ölçülmektedir (Roy ve ark., 2010). Standart test koşulları, 1000 W/m² güneş ışınımı, AM1.5G (Global Işınım) güneş spektrumu dağılımı ve 25 °C modül sıcaklığını ifade etmektedir (Wang ve ark., 2023). Ancak dış ortamda bu koşullara nadiren rastlanmaktadır. Güneş ışığı spektrumu coğrafik konuma, zamana, atmosfer içerisindeki gazlara (H₂O, O₃, ...), hava durumuna vb. etkilere bağlı olarak değişmektedir. Sonuç olarak PV modülün gerçek performansı STC'de elde edilen değerden farklılık göstermektedir (Daxini & Wu, 2024).

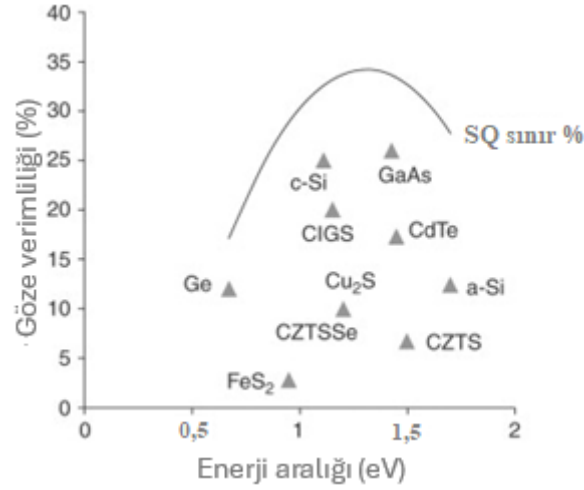
Güneşten uzaya yayılan ve dünyaya ulaşan güneş ışınımı 300 - 2500 nm aralığında değişen bir spektruma sahiptir. Güneş spektrumu farklı dalga boyları için gelen ışınım miktarını birim dalga boyu başına birim zamanda yatay bir birim alana düşen enerji (W/m²/nm) olarak göstermektedir. Bu spektrum UV bölge (<380 nm), görünür bölge (380-780 nm), ve yakın kızılötesi (NIR) bölge (>780 nm) bölge olmak üzere üç kısma ayrılır. Güneş spektrumu, yaklaşık olarak %3 ile %5 arasında UV, %42 ile %43 arasında görünür ve %52 ile %55 arasında yakın kızılötesi (NIR) ışıktan oluşmaktadır (Wang & Yu, 2023).



Şekil 1. Silisyum güneş hücresinin spektral tepkisi (Honsberg & Bowden, 2019).

Fotovoltaik cihazlarda cihaz üzerine düşen foton tarafından bir elektron koparılabilmesi gelen fotonun enerjisine ve fotovoltaik cihazın yarıiletken özelliğine bağlı olarak değişir (Nofuentes ve ark., 2014). Silikon teknolojisine sahip cam altındaki bir güneş gözesinin spektral tepkisi Şekil 1'de verilmiştir. Spektral tepkinin yüksek dalga boyuna karşılık gelen sınır değeri güneş gözesinin yapıldığı yarıiletken teknolojisine bağlıdır. Üst dalga boyu sınırı $\lambda = hc/E_g$ ile elde edilir. Burada λ ; gelen ışığın dalga boyu, h ; Planck sabiti, c ; ışık hızı ve E_g ; Yarıiletken yasak enerji aralığını ifade etmektedir. Silikon dolaylı bir bant aralığı yarı iletkenidir, bu nedenle bant aralığına karşılık gelen dalga boyunda keskin bir kesinti yoktur ($E_g = 1.12$ eV). Düşük dalga boyunda $0.4 \mu m$ altındaki fotonlar çoğunluk cam tarafından soğurulur ve orta kısımdaki spektral tepki ideale yaklaşır. Farklı yarıiletken teknolojilerine ait güneş gözelerinin verimlilik ve yasak enerji aralıkları Şekil 2'de verilmiştir (Irvine, 2012).

Bu çalışmada SPCTRL2 programı kullanılarak elde edilen farklı bölge ve zamanlara ait spektrumlardan faydalanılarak APE ve UF parametreleri hesaplanmıştır. Ortalama foton enerjisi (APE) gelen güneş ışınımını karakterize eden önemli ifadelerden biridir ve gelen toplam güneş ışınımının foton akısına oranı olarak tanımlanmaktadır. UF (Yararlı kesir) parametresi cSi (crystalline silicon), aSi (amorphous silicon), CdTe (Cadmium telluride) ve CIGS (Copper indium gallium selenide sulfide) güneş gözesi için yasak enerji aralıkları kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Farklı yarıiletken teknolojilerine sahip güneş gözelerinin verimliliği ve yasak enerji aralığı (Irvine, 2012).

2. Materyal ve Yöntem

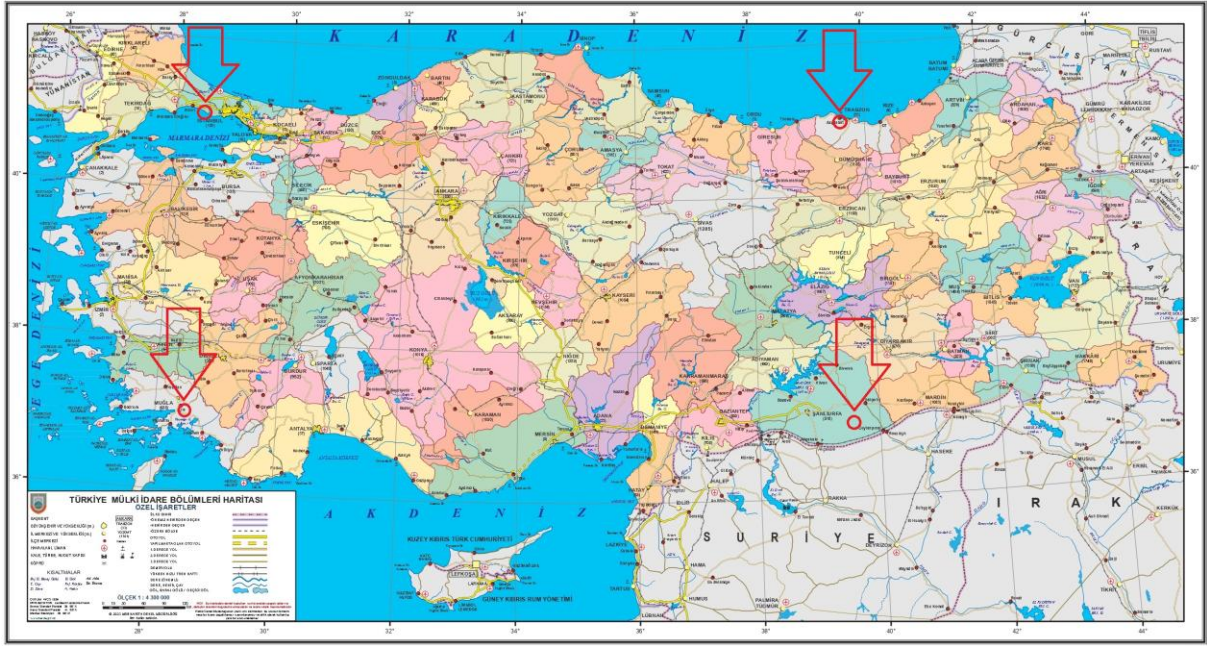
SPCTRL2 programı kullanılarak her gün için 09:00 ile 17:00 arasında bir saat aralıkları ile yeryüzüne doğrudan gelen güneş ışınımı verileri elde edilmiştir. Farklı enlem ve boylam değerleri için Muğla, İstanbul, Şanlıurfa ve Trabzon illeri seçilmiştir ve Çizelge 1'de şehirlere ait hesaplamalarda kullanılan enlem ve boylam değerleri verilmiştir. Enlem ve boylam değerlerinin konum olarak gösterimi Şekil 3'de harita üzerinde verilmiştir. İllere ait spektrumları farklı mevsimlere göre karşılaştırmak amacıyla Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları seçilmiştir ve bu aylara ait günler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Şehirlere ait enlem ve boylam

	Enlem	Boylam
Muğla	37°00'00,0"N	28°30'00,0"E
İstanbul	41°00'00,0"N	28°30'00,0"E
Şanlıurfa	37°00'00,0"N	39°30'00,0"E
Trabzon	41°00'00,0"N	39°30'00,0"E

Çizelge 2. Aylara ait gün sayıları (Ahmad & Tiwari, 2008)

	Ayı temsil eden gün	Yıllık gün sayısı
Ocak	17	17
Nisan	15	105
Temmuz	17	198
Ekim	15	288



Şekil 3. Şehirlere ait hesaplama yapılan enlem ve boylam değerleri (Anonim, 2024).

SPCTRL2 programı kullanılarak spektrumların elde edilmesinde şehirlere ait yükseklik değerlerinden denklem 1 kullanılarak basınç hesaplanmıştır (Du ve ark., 2019). Çizelge 3’de şehirlere ait yükseklik ve hesaplanan basınç değerleri verilmiştir.

$$p = 101325 (1 - 2.25577 \cdot 10^{-5} h)^{5.25588} \quad (1)$$

Çizelge 3. Şehirlere ait hesaplanan basınç değerleri

	Yükseklik (m)	Basınç (mbar)
Muğla	660	936.43
Şanlıurfa	477	957.24
İstanbul	40	1008.45
Trabzon	0	1013.25

USER INPUTS	
Fixed Tilt?	30
Hour	13
Minute	00
Azim	180
AOD	0,27
Alpha	1,14
Albedo	0,20
O3	0,30
Precip H2O	1,42

Slope	30
Press	1013,3
Nday	59

LAT	37
Long	28,5

Şekil 4. SPCTRL2 program kullanıcı girişi.

SPCTRL2 programı, belirli bir alıcı düzlemde (eğik veya yatay) belirli bir zaman noktasında açık gökyüzü için doğrudan, dağınık ve toplam spektral güneş ışınlamalarını hesaplar. Araştırmacılara farklı atmosferik koşullar ve farklı güneş paneli geometrileri için spektral ışınlamı hesaplama olanağı sağlamaktır. Modele girdiler arasında güneş zenit açısı, eğim açısı, atmosferik bulanıklık, su buharı ve

ozon miktarı, basınç ve yer albedosu bulunur. SPCTRL2 programı, yaklaşık 10 nm çözünürlükte 300 ile 4000 nm arasında 122 dalga boyunu içeren yeryüzüne gelen güneş spektrumlarını üretir (Bird & Riordan, 1986). SPCTRL2 programı kullanımı birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Utrillas ve ark., 1998; Myers ve ark., 2000; Myers, 2012; Andrade ve ark., 2013).

SPCTRL2 programı kullanılarak Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon illerine ait spektrumların hesaplanmasında Çizelge 1, 2 ve 3'de verilen enlem ve boylam, ayı temsil eden gün sayısı ve basınç değerlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca diğer kullanıcı girişi ile girilen parametreler Şekil 4'de verilmiştir.

2.1 Ortalama foton enerjisi (APE)

APE değeri, toplam güneş ışıınımını foton akısı yoğunluğuna bölerek hesaplanır ve foton başına ortalama enerji (eV) elde edilir (Denklem 2) (Cornaro & Andreotti, 2013).

$$APE = \frac{\int_{\lambda_a}^{\lambda_b} G(\lambda) d\lambda}{q_e \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} \Phi(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

Burada q_e elektron yüküdür, $G(\lambda)$ dalga boyuna göre güneş ışıınımı miktarı, $\Phi(\lambda)$ spektral foton akı yoğunluğudur, λ_a ve λ_b güneş ışıınımı spektrumunun dalga boyu sınırlarıdır. Foton akısı dalga boyuna, güneş ışıınımı miktarına ve $hc = 1239.8 \text{ eV nm}$ bağlı olarak Denklem 3 kullanılarak elde edilebilir (Katsumata ve ark., 2011).

$$\Phi(\lambda) = \frac{G(\lambda)}{\frac{hc}{\lambda}} \quad (3)$$

2.2 Yararlı kesir (UF)

Yararlı kesir ifadesi PV modül teknolojisine bağlı olarak Denklem 4 kullanılarak elde edilmektedir. Burada $\lambda(E_g)$ ifadesi PV modülün yapıldığı yarı iletkenin yasak enerji aralığına karşılık gelmektedir (Alonso-Abella ve ark., 2014; Gueymard, 2023).

$$UF = \frac{1}{G} \int_0^{\lambda(E_g)} G(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

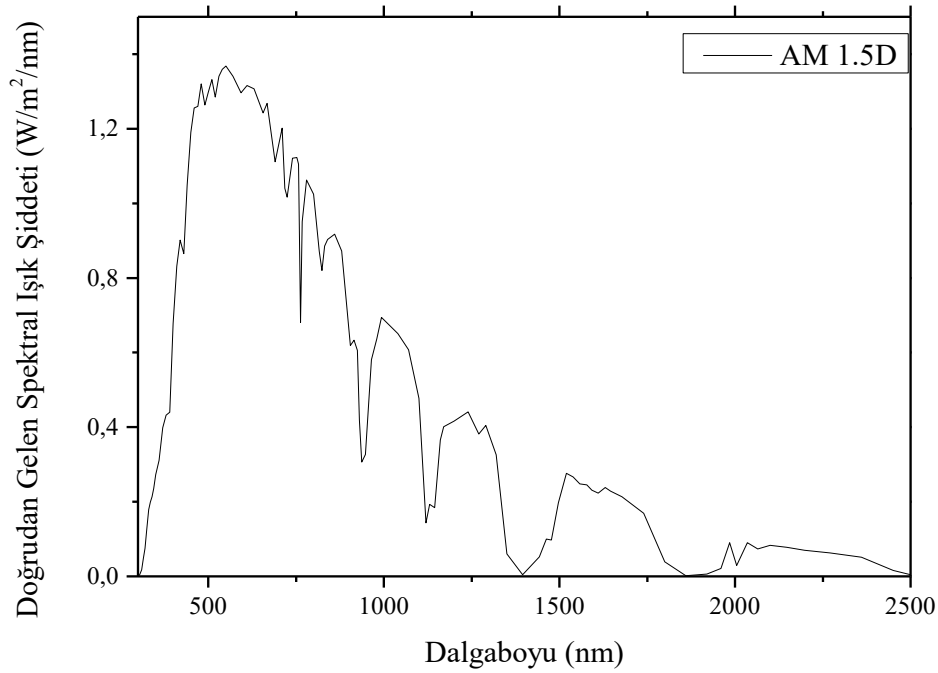
3. Bulgular

Fotovoltaik (PV) modüllerin verimliliği AM 1.5G (Global) ışıınım şiddeti altında hesaplanır. Ancak dış koşullarda bu spektrum çok nadir karşılaşılan bir durumdur. PV modüllerin verimliliği güneşin spektral değişiminden etkilenmektedir (Eke ve ark., 2017). APE, Güneş ışıının spektral karakterizasyonu için kullanılan parametrelerden biridir (Cornaro & Andreotti, 2013). Spektrum üzerinde fotonun dalga boyu azaldıkça enerjisi artmaktadır ve düşük dalga boyu üzerinde oluşan kayıplar ortalama foton enerjisini azaltacaktır. Spektrum üzerinde gelen fotonun elektrik enerjisi üretebilmesi için en az sahip olması gereken enerji ya da fotonun dalga boyunun üst limiti PV modülün göze teknolojisinin yarıiletken özelliklerine bağlıdır. Güneş gözesinin yapıldığı yarıiletkenin yasak enerji aralığı fotonun üst limit dalga boyunu belirlemektedir (Honsberg & Bowden, 2019). Görüldüğü gibi spektral etki güneş gözesi teknolojisine ve gelen güneş ışıınının mevsimsel ve günün farklı zamanlarında yeryüzüne ulaşan spektral özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Alonso-Abella ve ark., 2014).

Bu çalışmada Türkiye'deki dört il (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için SPCTRL2 programı kullanılarak dört farklı ay (Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim) için her ayı temsil eden günlerde 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıkları ile spektrumlar elde edilmiştir. Her spektruma ait APE değerleri 300-1200 nm aralığında hesaplanmıştır. Elde edilen APE değerlerini AM 1.5D (Doğrudan) koşulları ile

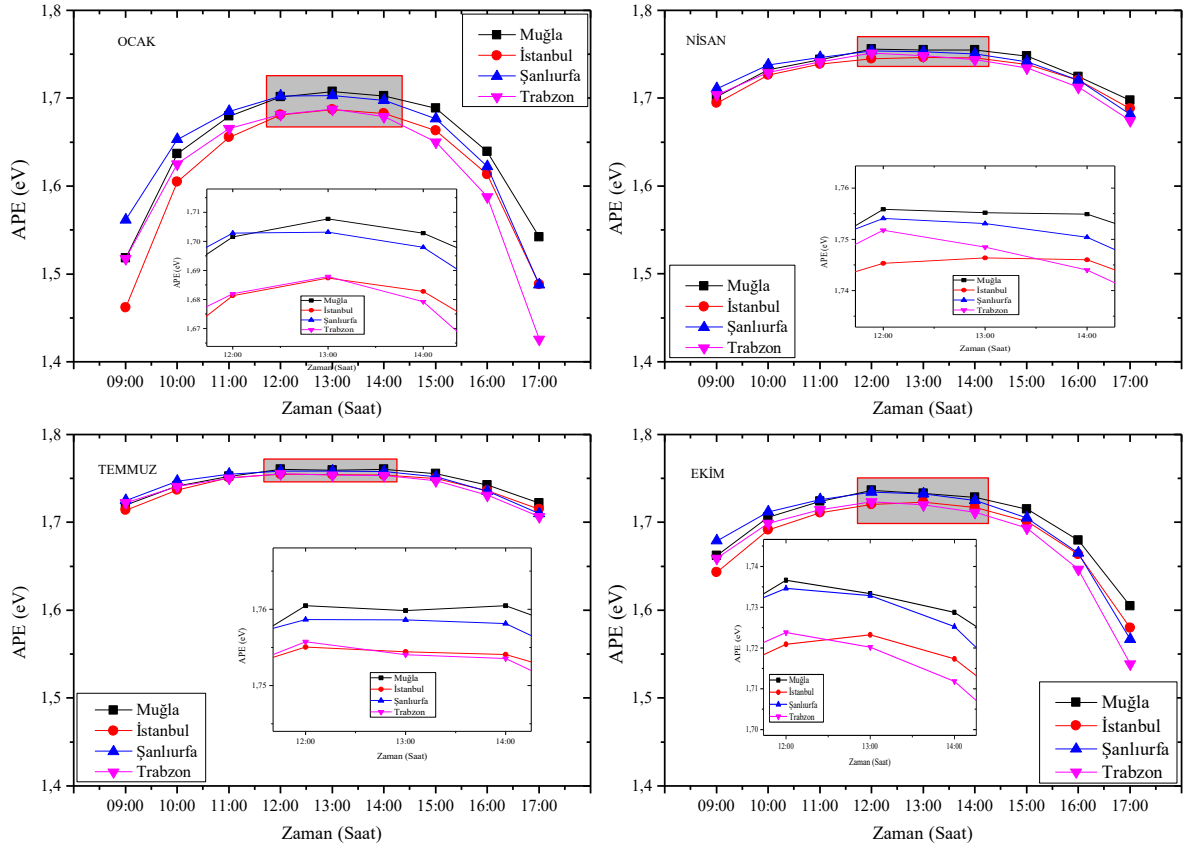
karşılaştırabilmek amacıyla SPCTRL2 programı kullanılarak Doğrudan gelen güneş ışınımı için spektrum elde edilmiştir (Şekil 5). Bu spektrum üzerinde farklı dalga boyu aralıkları için APE parametreleri hesaplanmıştır. Doğrudan gelen güneş ışınımı spektrumunda 300–1200 nm aralığında APE değeri 1.72 eV değerindedir. Spektrumun dalga boyu arttıkça ortalama foton enerjisi azalmaktadır.

Farklı aylar için hesaplanan APE değerleri dört farklı şehir için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Farklı aylar karşılaştırıldığında en büyük APE değeri Temmuz ayında görülürken en düşük APE değeri ise Ocak ayında görülmüştür. APE değerleri farklı enlem ve boylam değerine sahip illere göre değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir. Aynı enlem ve boylam üzerindeki farklı şehirler karşılaştırıldığında batı ve güneydeki ortalama foton enerjisi diğer illere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Gün içerisinde APE değeri 09:00-13:00 arasında arttığı ve 13:00-17:00 arasında azaldığı görülmüştür. APE değeri gün içerisinde saat 13:00'da en üst seviyeye çıkmaktadır. Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon illerinin 13:00 için APE değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Enlem ve boylam değerlerindeki değişim gelen güneş ışınımının spektral özelliklerini değiştirdiği görülmektedir.

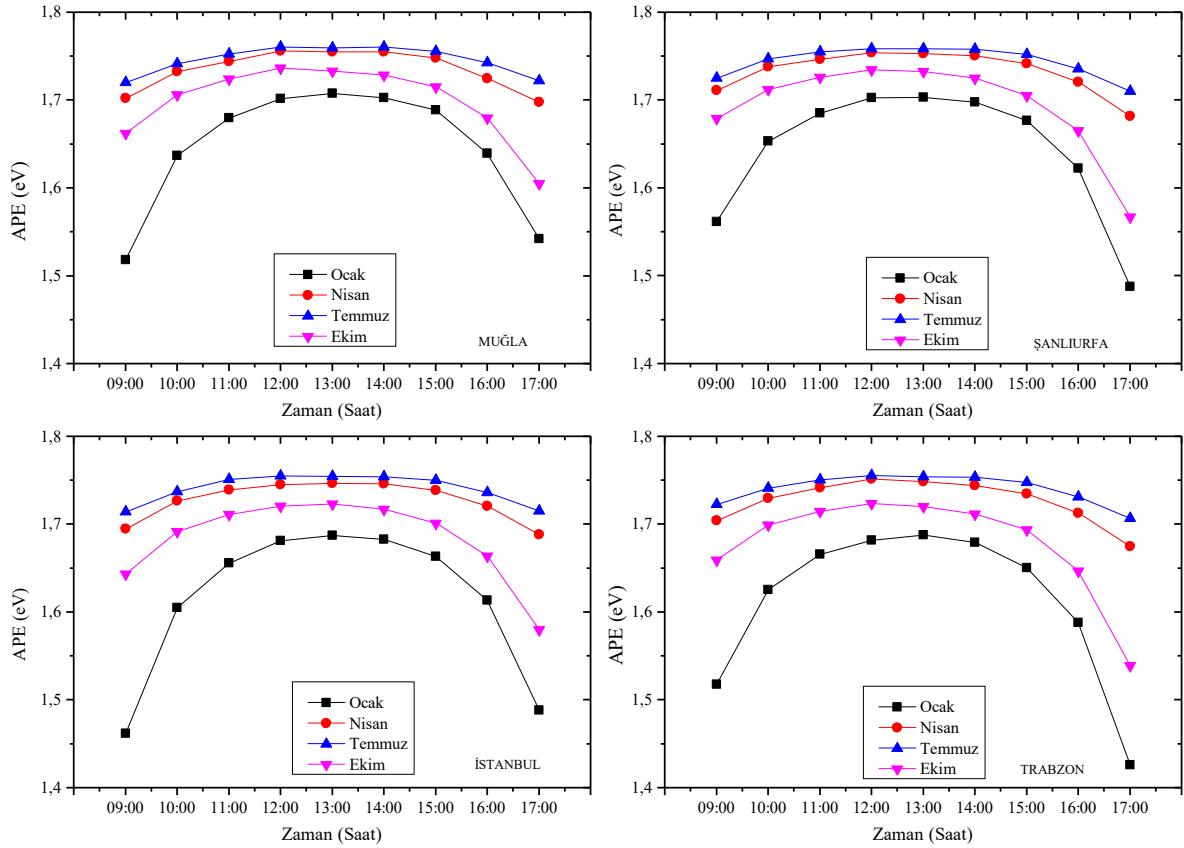


Şekil 5. AM 1.5D spektrumunda ortalama foton enerjisi (APE).

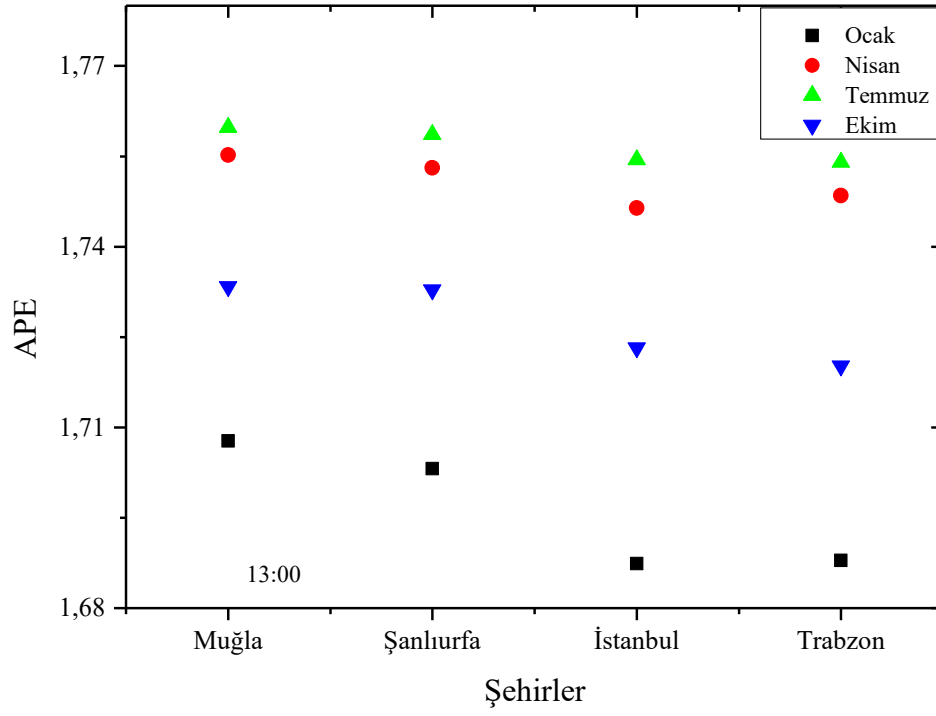
Farklı aylara göre ortalama foton enerjisinin (APE) doğrudan gelen güneş ışınımına göre değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Benzer şekilde farklı şehirlere göre APE'nin doğrudan gelen güneş ışınımına göre değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Farklı aylara göre çizilen grafikten mevsimsel spektral değişimin enlem ve boylam değişiminden kaynaklanan spektral değişiminden daha etkili olduğu sonucuna ulaşabiliriz. Ayrıca bu grafiklerden her şehre ait farklı aylar için gün içerisindeki APE değişim aralığını belirleyebiliriz. Muğla ili için Ocak ayında gün içerisinde APE değeri 1.51-1.70 eV aralığında, Nisan ayında 1.69-1.75 eV aralığında, Temmuz ayında 1.72-1.76 eV aralığında ve Ekim ayında 1.60-1.73 eV aralığında olduğu görülmektedir.



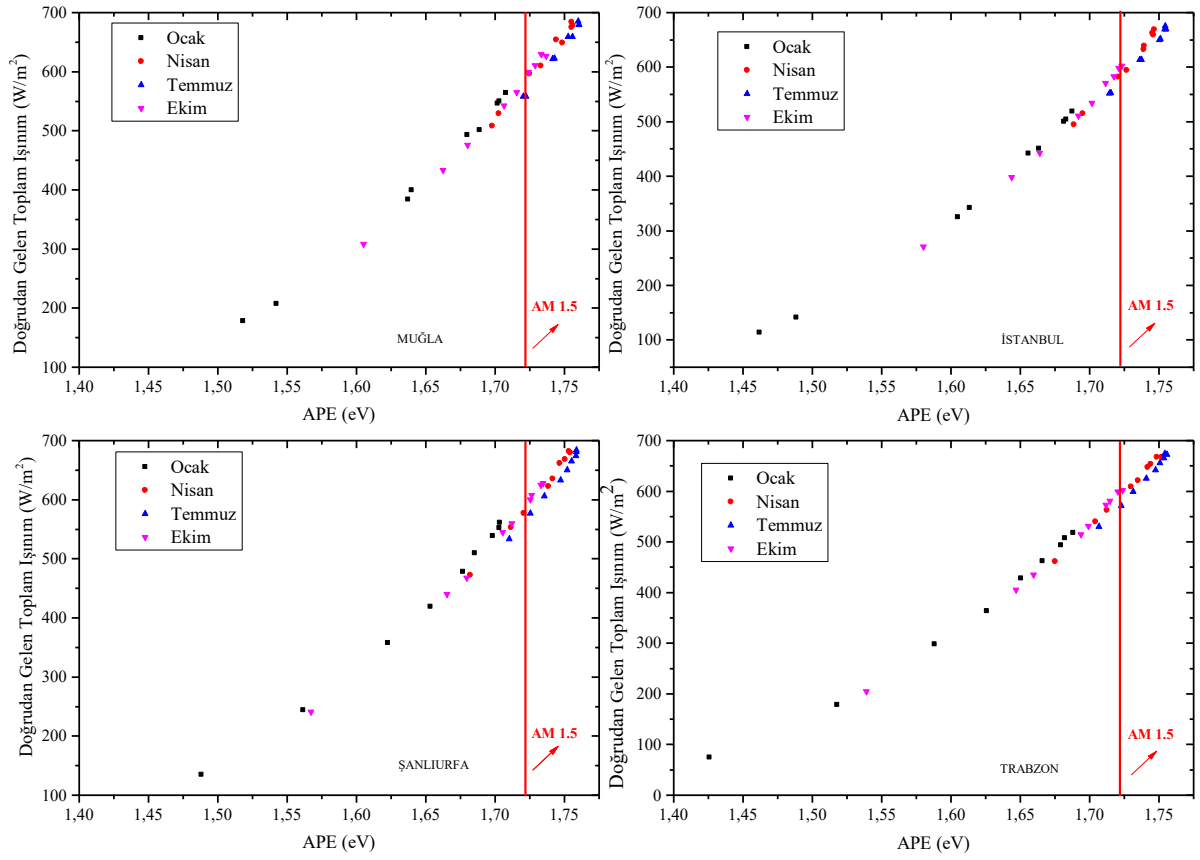
Şekil 6. Farklı aylar için gün içerisinde saatlere göre APE değişimi.



Şekil 7. Farklı şehirler için gün içerisinde saatlere göre APE değişimi.



Şekil 8. Farklı şehirler için saat 13:00'da aylara göre APE değişimi.

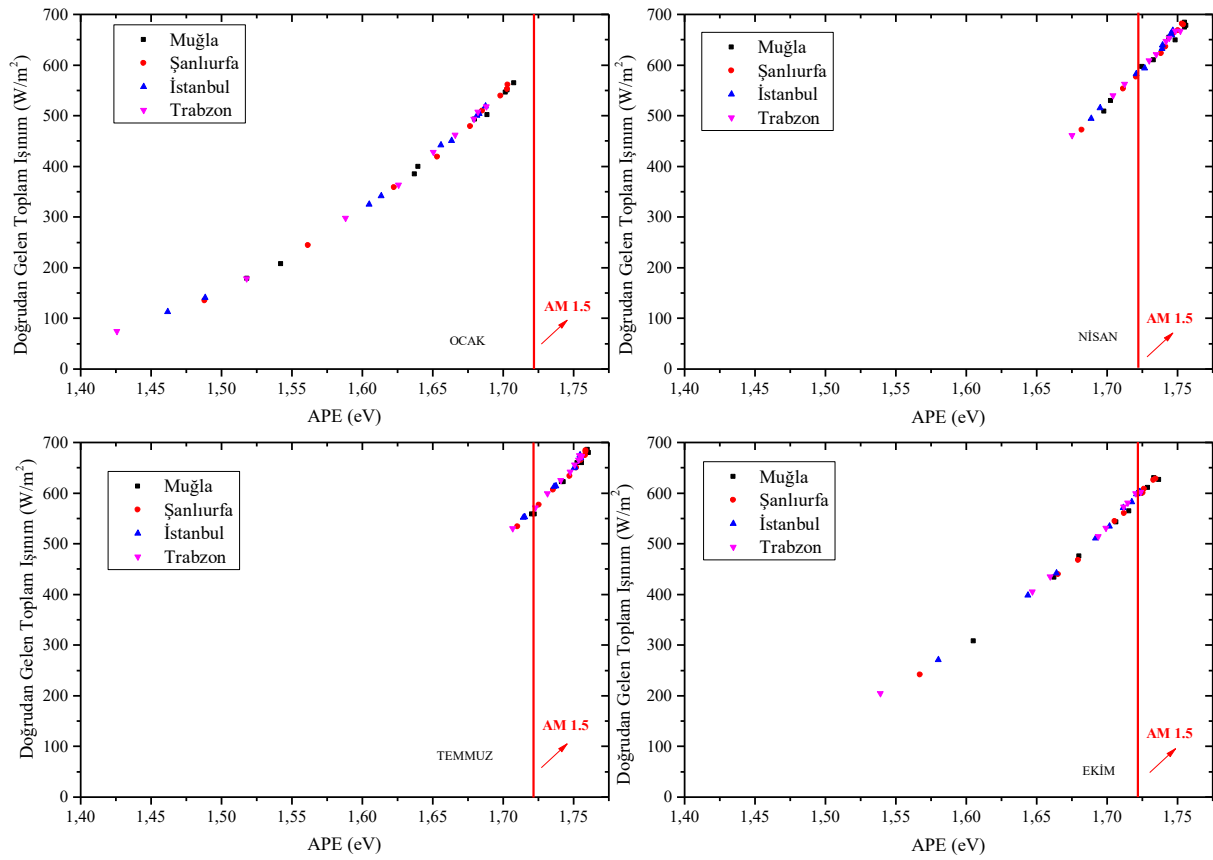


Şekil 9. Ortalama foton enerjisinin (APE) toplam ışınım şiddetine göre değişimi.

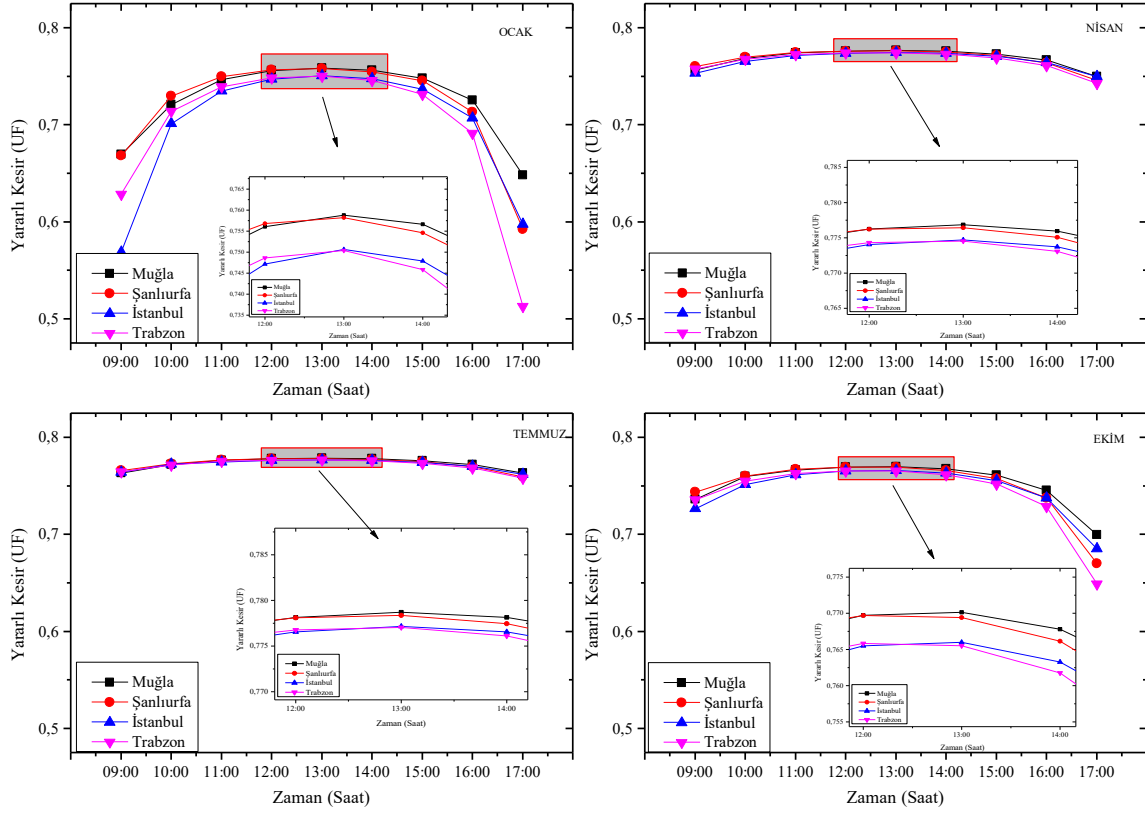
APE parametrelerini AM 1.5D spektrumu ile karşılaştıracak olursak Ocak ayında elde edilen spektrumlardan hiçbiri bu koşulu sağlamamaktadır (Şekil 10). Temmuz ayında ise spektrumların büyük çoğunluğu AM 1.5D spektrumunda daha büyük APE değerine ve toplam ışıınım şiddetine sahiptir.

Güneş ışığının spektral etkisinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre de yararlı kesir (UF) ifadesidir. Ortalama foton enerjisinden farklı olarak UF ifadesi güneş gözesine bağlı olarak değişen bir parametredir (Denklem 4).

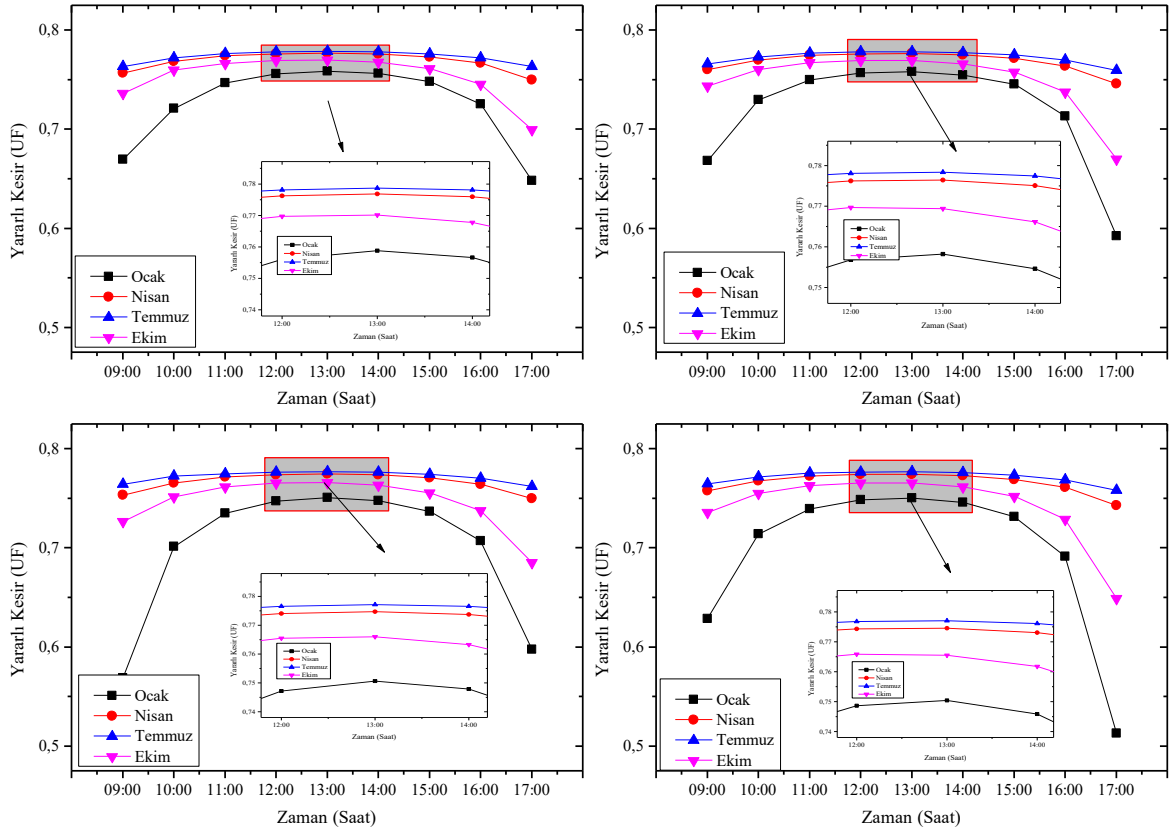
UF ifadesi dört farklı şehir için ve dört farklı ay için günlük 09:00-17:00 arasında bir saatlik aralıklar ile elde edilen spektrumlardan hesaplanmıştır. Farklı şehirler için ve farklı aylar için hesaplanan UF parametreleri Şekil 11 ve 12'de verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde APE ile benzerlik göstermektedir. Aynı enlem ve boylamda bulunan şehirler karşılaştırıldığında güney ve batıdaki şehirlerde UF parametresinin yüksek olduğu görülmüştür. UF parametresi aylara göre incelendiğinde Temmuz ayında en büyük değere Ocak ayında ise en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Farklı şehirler için APE'nin doğrudan gelen toplam ışıınım şiddetine göre değişimi.



Şekil 11. Farklı şehirler için gün içerisinde saatlere göre UF'nin değişimi.

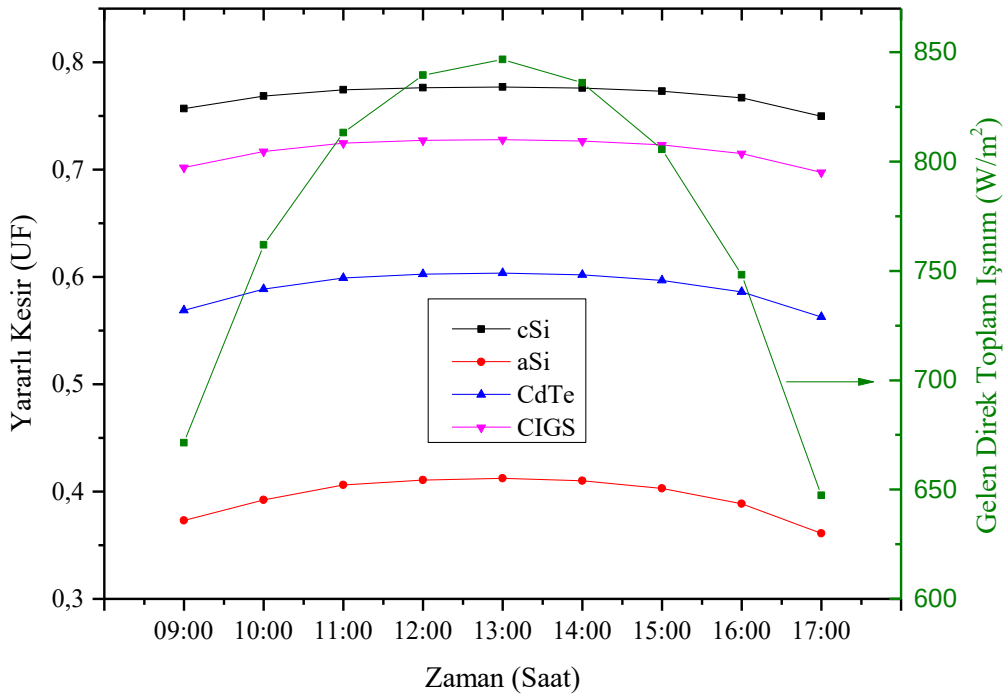


Şekil 12. Farklı aylar için gün içerisinde saatlere göre UF'nin değişimi.

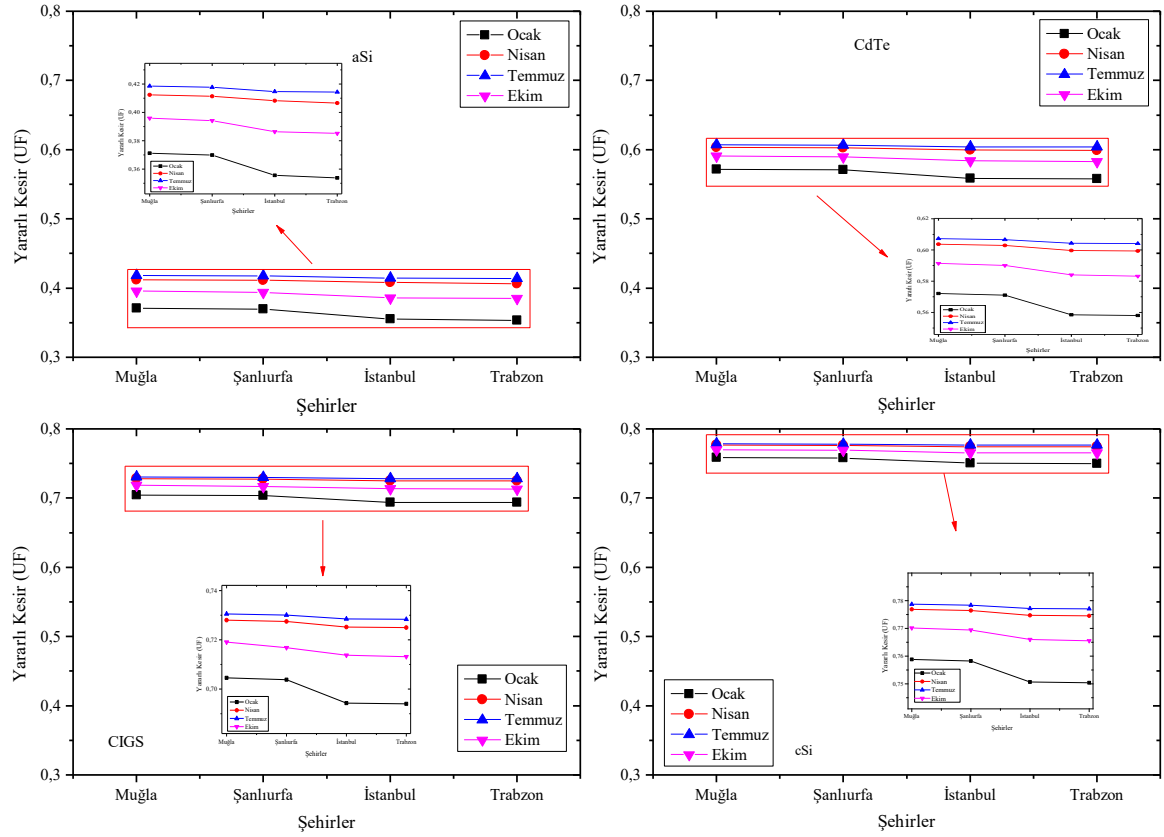
UF ifadesinin farklı güneş gözesi teknolojileri Muğla ili Nisan ayı için hesaplanmıştır (Şekil 13). UF ifadesi güneş gözesi spektral tepki aralığına bağlı bir parametredir ve yasak enerji aralığına bağlıdır. Yasak enerji aralığı arttıkça gelen fotonun enerjisinin artması gerekir ve fotonun dalga boyu üst limiti azalır. Bu nedenle yasak enerji aralığı arttıkça güneş gözesinin spektral tepki aralığı azalacaktır. Bu çalışmada güneş gözelerinin UF parametreleri yasak enerji aralığına bağlı olarak elde edilmiştir.

UF parametresi saat 13:00'da farklı şehirler için ve farklı aylarda elde edilmiştir (Şekil 14). Buna göre tüm göze teknolojileri ve aylar için UF parametresi en yüksek Temmuz ve en düşük Ocak ayında olduğu görülmüştür. Enlem ve boylama göre karşılaştırma yaptığımızda güney ve batıdaki şehirlerin UF parametresinin yüksek olduğu görülmüştür.

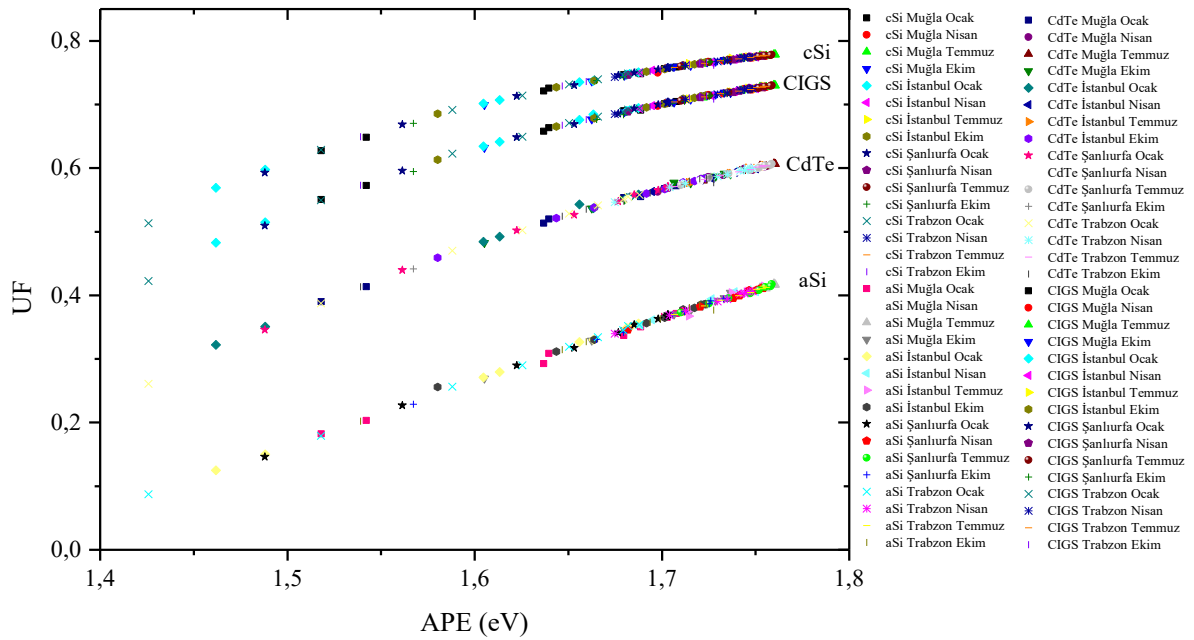
UF parametresi ile APE parametresinin değişimi Şekil 15'de görülmektedir. Buna göre iki parametre de spektral etkilerin belirlenmesini sağlamaktadır. UF parametresi güneş gözesi teknolojisine bağlı olduğu için yüksek APE değerlerinde UF değişimi biraz daha azdır. Bu grafikte dört il ve dört ayın her bir günü için bir saat aralıklarla alınan tüm spektrum verileri bulunmaktadır ve spektrumların büyük çoğunluğu AM 1.5D spektrumundan farklılık göstermektedir.



Şekil 13. Zamana (saat) göre UF ve toplam ışınım şiddetinin farklı göze teknolojileri için bir günlük değişimi.



Şekil 14. Farklı şehirler ve farklı güneş gözesi teknolojilerine göre UF ifadesinin saat 13:00 için değerleri.



Şekil 15. UF – APE'ye göre değişimi.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada AM 1.5D spektrumu için APE değeri doğrudan gelen güneş ışınımı için 300 – 1200 nm dalgaboyu aralığında 1.72 eV olarak hesaplanmıştır. APE değeri hesaplama yapılan dalgaboyu

aralığına bağlı olarak değişir. Chantana ve ark. (2020) tarafından AM 1.5G spektrumu 350-1050 nm dalgaboyu aralığı için APE değeri 1.88 eV olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada AM 1.5G spektrumu üzerinden 350-1050 nm aralığı için hesaplama yaptığımızda 1.88 eV olarak elde edilmiştir. Elde ettiğimiz APE değerleri literatür ile uyum sağlamaktadır. Aynı enlem ve boylam üzerinde seçilen dört il ve mevsimsel değişimleri incelemek amacıyla dört farklı il için her aya ait bir günde saat 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıkları ile spektrumları SPCTRL2 programı kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için aynı enlem üzerinde batıdaki ve aynı boylam üzerinde güneydeki ilde APE parametresinin büyük olduğu belirlenmiştir. Mevsimlere göre karşılaştırıldığında APE parametresinin incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için Temmuz ayında en büyük ve Ocak ayında en küçük değere sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen APE değerleri AM 1.5D spektrumuna ait APE değeri (1.72 eV) ile karşılaştırıldığında ocak ayında incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için hiçbirisi bu koşulu sağlamamaktadır. Temmuz ayında ise APE değerlerinin büyük kısmı 1.72 eV değerinden büyük çıktığı görülmüştür.

Spektral etkinin incelenmesi amacıyla kullanılan bir diğer parametre ise UF ifadesidir. UF güneş gözesi teknolojisine bağlı bir parametredir. Dört farklı güneş gözesi teknolojisi için UF parametresi dört farklı il ve dört farklı ay için her güne ait saat 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıkları ile elde edilen spektrumlar kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum sağlamaktadır (Gottschalg ve ark., 2003). Güneş gözesinin yarıiletken teknolojisine ait yasak enerji aralığı arttıkça UF parametresi azalmaktadır.

APE ve UF spektral etkinin incelenmesi için kullanılan iki farklı parametredir ve bu iki parametre arasındaki değişim grafiği çizilerek incelenmiştir. Bu çalışma ile farklı dalgaboyu aralıklarında incelenen farklı bölgelere ait spektrumların APE değerleri ve farklı yarıiletken teknolojilerine sahip (cSi, aSi, CdTe ve CIGS) güneş gözelerinin incelenen farklı bölgelere ait spektrumlarına göre UF parametresi hesaplanmıştır ve literatüre kazandırılmıştır.

Kaynakça

- Ahmad, M. J., & Tiwari, G. N. (2008). Study of Models for Predicting the Mean Hourly Global Radiation from Daily Summations. *Open Environmental Sciences*, 2(1), 6–14. <https://doi.org/10.2174/1876325100802010006>
- Alonso-Abella, M., Chenlo, F., Nofuentes, G., & Torres-Ramírez, M. (2014). Analysis of spectral effects on the energy yield of different PV (photovoltaic) technologies: The case of four specific sites. *Energy*, 67, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.024>
- Andrade, R. C., Tiba, C., Fraidenraich, N., & Souza, J. L. (2013). Estimacão do iuv máximo mensal no semi-árido do nordeste do brasil-estudo de caso água branca-al. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17, 11.83-11.90.
- Anonim (2024). T.C. Milli savunma bakanlığı harita genel müdürlüğü. Erişim tarihi: 30.07.2024. <https://www.harita.gov.tr/urunler/indirilebilir-urunler/14#>
- Bird, R. E., & Riordan, C. (1986). American Meteorological Society Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres. In *Source: Journal of Climate and Applied Meteorology* (Vol. 25, Issue 1).
- Chantana, J., Imai, Y., Kawano, Y., Hishikawa, Y., Nishioka, K., & Minemoto, T. (2020). Impact of average photon energy on spectral gain and loss of various-type PV technologies at different locations. *Renewable Energy*, 145, 1317–1324. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.139>
- Cornaro, C., & Andreotti, A. (2013). Influence of Average Photon Energy index on solar irradiance characteristics and outdoor performance of photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(5), 996–1003. <https://doi.org/10.1002/pip.2194>
- Daxini, R., & Wu, Y. (2023). Review of methods to account for the solar spectral influence on photovoltaic device performance. *Energy*, 129461. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129461>
- Du, H., Li, J., Zhu, W., Qu, Z., Zhang, L., & Lv, M. (2019). Flight performance simulation and station-keeping endurance analysis for stratospheric super-pressure balloon in real wind field. *Aerospace Science and Technology*, 86, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.01.001>

- Eke, R., & Betts, T. R. (2017). Spectral irradiance effects on the outdoor performance of photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.062>
- Gottschalg, R., Infield, D. G., & Kearney, M. J. (2003). Experimental study of variations of the solar spectrum of relevance to thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 79(4), 527–537. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(03\)00106-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(03)00106-5)
- Gueymard, C. A. (2023). Assessment of the global applicability of three leading indices that characterize the spectral distribution of solar irradiance impacting various photovoltaic technologies. *Energy Conversion and Management*, 295, 117602. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117602>
- Honsberg C.B. & Bowden, S.G. (2019). "Photovoltaics Education Website," www.pveducation.org.
- Irvine, S. J. C. (2012). Photovoltaic (PV) thin-films for solar cells. *Functional Materials for Sustainable Energy Applications*, 22–41. <https://doi.org/10.1533/9780857096371.1.22>
- Katsumata, N., Nakada, Y., Minemoto, T., & Takakura, H. (2011). Estimation of irradiance and outdoor performance of photovoltaic modules by meteorological data. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(1), 199–202. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.01.019>
- Keshuov, S., & Moldybayeva, N. (2024). Selection of optimal structure of an energy-supply system for objects in an agro-industrial complex based on renewable-energy sources. *Renewable Energy Focus*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.100533>
- Myers, D. R. (2012). Direct beam and hemispherical terrestrial solar spectral distributions derived from broadband hourly solar radiation data. *Solar Energy*, 86(9), 2771–2782. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.014>
- Myers, D. R., Kurtz, S. R., Emery, K., Whitaker, C., & Townsend, T. (n.d.). (2000) Outdoor meteorological broadband and spectral conditions for evaluating photovoltaic modules. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference (Cat. No.00CH37036). <https://doi.org/10.1109/PVSC.2000.916104>
- Nofuentes, G., García-Domingo, B., Muñoz, J. v., & Chenlo, F. (2014). Analysis of the dependence of the spectral factor of some PV technologies on the solar spectrum distribution. *Applied Energy*, 113, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.044>
- Roy, J. N., Gariki, G. R., & Nagalakshmi, V. (2010). Reference module selection criteria for accurate testing of photovoltaic (PV) panels. *Solar Energy*, 84(1), 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.09.007>
- Satpathy, R., & Pamuru, V. (2021). Rooftop and BIPV solar PV systems. In *Solar PV Power* (pp. 317–364). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817626-9.00008-3>
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
- Utrillas, M. P., Boscá, J. V., Martínez-Lozano, J. A., Cañada, J., Tena, F., & Pinazo, J. M. (1998). A comparative study of SPCTRAL2 and SMARTS2 parameterised models based on spectral irradiance measurements at Valencia, Spain. *Solar Energy*, 63(3), 161–171. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00058-9)
- Wang, S., Peng, J., Wang, M., Xue, P., Luo, Y., Ma, T., & Zhao, Y. (2023). Evaluation of the energy conversion performance of different photovoltaic materials with measured solar spectral irradiance. *Renewable Energy*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119431>
- Wang, L., & Yu, J. (2023). Principles of photocatalysis. In *Interface Science and Technology* (Vol. 35, pp. 1–52). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18786-5.00002-0>
- Wilberforce, T., Olabi, A. G., Sayed, E. T., Mahmoud, M., Alami, A. H., & Abdelkareem, M. A. (2024). The state of renewable energy source envelopes in urban areas. *International Journal of Thermofluids*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100581>



Research Article

A Computation Method for a Projection of a Projective Variety

Uğur USTAOĞLU*, Erol YILMAZ

Bolu Abant İzzet Baysal University, Arts and Science Faculty, Mathematics Department, 14300, Bolu, Türkiye
Uğur USTAOĞLU, ORCID No: 0000-0001-7375-0652, Erol YILMAZ, ORCID No: 0000-0003-0763-9408

* Corresponding author e-mail: ugur.ustaoglu@ibu.edu.tr

Article Info

Received: 11.03.2024
Accepted: 26.08.2024
Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1450739](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1450739)

Keywords

Elimination theory,
Gröbner bases,
Projection,
Projective space

Abstract: Consider a projective variety $W \subseteq \mathbb{P}^n$ and a point $p \in \mathbb{P}^n \setminus W$. The projection at point p onto $\mathbb{P}^{n-1}$ is represented by the mapping $\pi_p: \mathbb{P}^n \setminus \{p\} \rightarrow \mathbb{P}^{n-1}$, where $\pi_p(q)$ denotes the point of intersection between the line $\overline{pq}$ and $\mathbb{P}^{n-1}$, for $q \neq p$. In this article, we derive a generator set for the ideal $I(\pi_p(W))$ when W is defined as the set of zero points of certain homogeneous polynomials.

Projektif Varyetinin Bir İzdüşümü İçin Hesaplama Metodu

Makale Bilgileri

Geliş: 11.03.2024
Kabul: 26.08.2024
Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1450739](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1450739)

Anahtar Kelimeler

Eliminasyon teorisi,
Gröbner tabanları,
İzdüşüm,
İzdüşüm uzayı

Öz: $\mathbb{P}^n$ 'de bir projektif varyeti W ve bu varyetinin üzerinde olmayan bir p noktası alalım. p noktasından $\mathbb{P}^{n-1}$ 'e bir izdüşüm $\pi_p: \mathbb{P}^n \setminus \{p\} \rightarrow \mathbb{P}^{n-1}$ fonksiyonu ile gösterilir burada $\pi_p(q)$, $\overline{pq}$ doğrusunun $q \neq p$ için $\mathbb{P}^{n-1}$ 'deki kestiği noktayı ifade etmektedir. Bu makalede, W belirli homojen polinomların sıfır noktalarının kümesi olduğunda, biz $I(\pi_p(W))$ ideali için üreteç kümesi bulacağız.

1. Introduction

Let $\mathbb{k}$ stand for an algebraically closed field. The projective space over $\mathbb{k}$, denoted as $\mathbb{P}_{\mathbb{k}}^n$ or simply $\mathbb{P}^n$, represents the collection of one-dimensional subspaces of $\mathbb{k}^{n+1}$

A point $p = [x_0, x_1, \dots, x_n]$ in $\mathbb{P}^n$ corresponds to a line passing through the origin and the point $(x_0, x_1, \dots, x_n)$ in $\mathbb{k}^{n+1}$. Therefore, a polynomial $H \in \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]$ defines a function on $\mathbb{P}^n$ if and only if it is a homogeneous polynomial.

Given homogeneous polynomials $H_1, H_2, \dots, H_s$ in $\mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]$, a projective variety defined by these polynomials is the set

$$V(H_1, H_2, \dots, H_s) = \{p \in \mathbb{P}^n \mid H_i(p) = 0 \text{ where } 1 \leq i \leq s\}. \quad (1)$$

For a given projective variety W , the ideal of this is defined as

$$I(W) = \langle h \in \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n] \mid \forall p \in W, h(p) = 0 \rangle. \quad (2)$$

It is well-known that $I(W)$ is a homogeneous ideal, meaning it has a generating set containing homogeneous polynomials.

Consider a point p in $\mathbb{P}^n \setminus \mathbb{P}^{n-1}$. For another point $q \in \mathbb{P}^n$, the projective line along p and q is denoted as $\overline{pq}$. The projection map

$$\pi_p: \mathbb{P}^n \setminus \{p\} \rightarrow \mathbb{P}^{n-1} \quad (3)$$

is defined by

$$\pi_p(q) = \overline{pq} \cap \mathbb{P}^{n-1}. \quad (4)$$

Following a projective linear transformation, one can set $p = [0, 0, \dots, 1]$.

Assume $W = V(H_1, H_2, \dots, H_s)$ is a projective variety, and let p be a point not lying on W . Then, $\pi_p(W)$ is termed a projection of V from p to $\mathbb{P}^{n-1}$. It is established that $\pi_p(W)$ is a projective variety in $\mathbb{P}^{n-1}$. (see [Harris \(1992\)](#), Theorem 3.5).

In the paper, we try to find homogeneous polynomials $G_1, G_2, \dots, G_t$ such that $I(\pi_p(W)) = \langle G_1, G_2, \dots, G_t \rangle$ from given $W = V(H_1, H_2, \dots, H_s)$. To do this we use the elimination theory and Gröbner bases.

This problem is stated ([Harris, 1992](#)). The relation between projection and resultants is also given in ([Harris, 1992](#)). The resultant is related to elimination theory in ([Cox et al., 1996](#)).

In this paper, we present a constructive method for determining the ideal of $\pi_p(W)$ utilizing elimination theory and Gröbner basis techniques. The structure of the paper is outlined as follows. Section 2 compiles pertinent results on resultants. The primary findings are expounded upon in Section 3. Towards the conclusion of Section 3, there is an elucidation on the generalization of projection from a linear space and the process of identifying its ideal.

2. Materials and Methods

To reach our goal, we obtain a relation between a projection of projective variety and elimination theory via resultants. After that using the computation technique of the elimination ideal with the Gröbner basis, we find a method for to obtain the ideal of $\pi_p(W)$. We explain our methods by examples.

3. Resultant

Resultants are important in the elimination theory. The multipolynomial resultant can be used to eliminate variables from the system of equations and it is also a powerful to for finding solution of polynomial equations.

Definition 3.1. ([Harris, 1992](#)) Let two polynomials be H_1 and H_2 in $\mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]$, we can express them as

$H_1 = a_0x_n^r + \dots + a_r$, $a_0 \neq 0$ and $H_2 = b_0x_n^s + \dots + b_s$, $b_0 \neq 0$, where $a_i, b_i \in \mathbb{K}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. The resultant of H_1 and H_2 with respect to x_n is defined as

$$Res(H_1, H_2, x_n) = \begin{vmatrix} a_0 & 0 & \dots & 0 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ a_1 & a_0 & \ddots & \vdots & b_1 & b_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & a_1 & \ddots & 0 & \vdots & b_1 & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_0 & \vdots & \vdots & \ddots & b_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_1 & \vdots & \vdots & \ddots & b_1 \\ a_s & \vdots & \ddots & \vdots & b_t & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & a_s & \ddots & \vdots & 0 & b_t & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & a_s & 0 & \dots & 0 & b_t \end{vmatrix} \quad (5)$$

In (Harris, 1992), Harris asserts that $\pi_p(W) = V(J)$, where

$$J = \langle Res(H_1, H_2, x_n) \mid H_1, H_2 \in I(W) \text{ and } H_1, H_2 \text{ are homogeneous} \rangle \quad (6)$$

However, due to the infinite nature of homogeneous polynomials in $I(W)$ this result does not provide a finite set of polynomials that define the projection.

Lemma 3.1. $Res(H_1, H_2, x_n) = A_1H_1 + A_2H_2$ for some $A_1, A_2 \in \mathbb{K}[x_0, x_1, \dots, x_n]$.

Proof. If $Res(H_1, H_2, x_n) = 0$ then $A_1 = A_2 = 0$. Hence, we may assume $Res(H_1, H_2, x_n) \neq 0$. To find $\overline{A_1}$ and $\overline{A_2}$ in $\mathbb{K}(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})[x_n]$ such that $\overline{A_1}H_1 + \overline{A_2}H_2 = 1$ where

$$\overline{A_1} = \frac{H_1}{Res(H_1, H_2, x_n)} = \frac{a_0x_n^l + \dots + a_s}{c_0x_n^{t-1} + \dots + c_{t-1}} \text{ and } \overline{A_2} = \frac{H_2}{Res(H_1, H_2, x_n)} = \frac{b_0x_n^m + \dots + b_t}{d_0x_n^{s-1} + \dots + d_{s-1}} \quad (7)$$

and $c_0, c_1, \dots, c_{t-1}, d_0, d_1, \dots, d_{s-1}$ are unknowns in $\mathbb{K}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. By substituting these formulas into (7) and comparing the coefficients of powers of x_n , we obtain the following system:

$$\begin{aligned} a_0c_0 + b_0d_0 &= 0 \\ a_1c_0 + a_0c_1 + b_1d_0 + b_0d_1 &= 0 \\ \vdots &= \vdots \\ a_sc_{t-1} + b_td_{s-1} &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

The coefficient matrix corresponds to the matrix in the definition of the resultant of H_1 and H_2 . The condition $Res(H_1, H_2, x_n) \neq 0$ ensures that this linear system possesses a unique solution. Applying Cramer's rule,

$$c_0 = \frac{1}{Res(H_1, H_2, x_n)} \begin{vmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & \ddots & \vdots & b_1 & b_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & a_1 & \ddots & 0 & \vdots & b_1 & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_0 & \vdots & \vdots & \ddots & b_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_1 & \vdots & \vdots & \ddots & b_1 \\ a_s & \vdots & \ddots & \vdots & b_t & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots & 0 & b_t & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 0 & a_s & 0 & \dots & 0 & b_t \end{vmatrix} \quad (9)$$

Similar formulas can be derived for the other c_i 's and d_i 's. Given that $\overline{A_1} = c_0 x_n^{t-1} + \dots + c^{t-1}$, it is possible to factor out the common denominator $Res(H_1, H_2, x_n)$ and express $\overline{A_1}$ in the form $\overline{A_1} = \frac{A_1}{Res(H_1, H_2, x_n)}$ where A_1 in $\mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. Likewise, we have $\overline{A_2} = \frac{A_2}{Res(H_1, H_2, x_n)}$ where A_2 in $\mathbb{k}[x_1, \dots, x_{n-1}]$. As $\overline{A_1}$ and $\overline{A_2}$ satisfy $\overline{A_1}H_1 + \overline{A_2}H_2 = 1$, it follows that $A_1H_1 + A_2H_2 = Res(H_1, H_2, x_n)$. ■

Lemma 3.2. For any $q[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}] \in \mathbb{P}^{n-1}$, $Res(H_1, H_2, x_n)(q) = 0$ if and only if $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ have a common root as polynomials in x_n or leading coefficients of both H_1 and H_2 vanish at q .

Proof. If $a_0 \neq 0$ and $b_0 \neq 0$, then

$$Res(H_1, H_2, x_n)(q) = \begin{vmatrix} a_0(q) & 0 & \dots & 0 & b_0(q) & 0 & \dots & 0 \\ a_1(q) & a_0(q) & \ddots & \vdots & b_1(q) & b_0(q) & \ddots & \vdots \\ \vdots & a_1(q) & \ddots & 0 & \vdots & b_1(q) & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_0(q) & \vdots & \vdots & \ddots & b_0(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_1(q) & \vdots & \vdots & \ddots & b_1(q) \\ a_s(q) & \vdots & \ddots & \vdots & b_t(q) & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & a_s(q) & \ddots & \vdots & 0 & b_t(q) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & a_s(q) & 0 & \dots & 0 & b_t(q) \end{vmatrix} \quad (10)$$

The determinant is equal to $Res(H_1, H_2, x_n)$. If $Res(H_1, H_2, x_n) = 0$, it implies that $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ share a common root as polynomials over $\mathbb{k}$. Consequently, $Res(H_1, H_2, x_n)(q) = 0$ if and only if $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ have a common zero.

In cases where both $a_0(q) = 0$ and $b_0(q) = 0$ the condition $Res(H_1, H_2, x_n)(q) = 0$ is evident.

Now, let's consider the scenario where $a_0(q) \neq 0$ and $b_0(q) = 0$. If $b_1(q) \neq 0$, then $H_1(q, x_n) = b_1(q)x_n^{t-1} + \dots + b_t(q)$ and

$$Res(H_1, H_2, x_n)(q) = \begin{vmatrix} a_0(q) & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_1(q) & a_0(q) & \ddots & \vdots & b_1(q) & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & a_1(q) & \ddots & 0 & \vdots & b_1(q) & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_0(q) & \vdots & \vdots & \ddots & b_0(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & a_1(q) & \vdots & \vdots & \ddots & b_1(q) \\ a_s(q) & \vdots & \ddots & \vdots & b_t(q) & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & a_s(q) & \ddots & \vdots & 0 & b_t(q) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & a_s(q) & 0 & \dots & 0 & b_t(q) \end{vmatrix} \quad (11)$$

The determinant is incorrectly sized to serve as the resultant of $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$. Expanding by minors along the first-row yields

$$Res(H_1, H_2, x_n)(q) = a_0(q)Res(H_1(q, x_n), H_2(q, x_n), x_n). \quad (12)$$

In a more general setting, it is reasonable to assume that $H_2(q, x_n)$ has a degree of $m - p$ where $p \geq 1$. In such a scenario, expanding by minors along the first p rows results in

$$Res(H_1, H_2, x_n)(q)^p = a_0(q)Res(H_1(q, x_n), H_2(q, x_n), x_n). \quad (13)$$

Once again, $\text{Res}(H_1, H_2, x_n) = 0$ if and only if $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ share a common zero as polynomials in x_n .

The case where $a_0(q) = 0$ and $b_0(q) \neq 0$ can be similarly addressed. ■

4. Theoretical Result

Lemma 4.1. If $q \in \mathbb{P}^n - \{p\}$, the line $l = \overline{pq}$ intersects V if and only if every pair H_1 and H_2 of homogeneous polynomials in $I(V)$ has a common zero on l .

Proof. If the line l and the variety V intersect at a point x , it is evident that x serves as a common zero for every pair of homogeneous polynomials in $I(V)$. Conversely, if l does not intersect V , then there exists a polynomial $H_1 \in I(V)$ that vanishes at a finite number of points on l , denoted as $x_1, x_2, \dots, x_m$. Since $x_i \notin V$, there exists a polynomial $H_2 \in I(V)$ that does not vanish at x_i for $i = 1, 2, \dots, m$. Consequently, H_1 and H_2 have no common zero on l . ■

Lemma 4.2. For any $q \in \mathbb{P}^{n-1}$, every pair H_1, H_2 of homogeneous polynomials in $I(V)$ has a common zero of the type $[\alpha q, \beta]$ on $l = \overline{pq}$ if and only if the homogeneous polynomial $\text{Res}(H_1, H_2, x_n)$ vanishes at q for every pair of homogeneous polynomials.

Proof. Given $q = [x_0, \dots, x_{n-1}] \in \mathbb{P}^{n-1}$ the line $l = \overline{pq}$ is defined as $[\alpha x_0, \dots, \alpha x_{n-1}, \beta] \in \mathbb{P}^l$. If every pair of homogeneous polynomials $H_1, H_2 \in I(V)$ has a common point on l , according to Lemma 2.1., l intersects V . Let $[\bar{\alpha}x_0, \dots, \bar{\alpha}x_{n-1}, \bar{\beta}] \in V \cap l$. Since p is not on V , $\bar{\alpha} \neq 0$. This implies that $[\bar{\alpha}x_0, \dots, \bar{\alpha}x_{n-1}, \bar{\beta}]$ is a common zero of H_1 and H_2 on l . Then $\frac{\bar{\beta}}{\bar{\alpha}}$ is a common zero of $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ as polynomials in x_n . Therefore, $\text{Res}(H_1(q, x_n), H_2(q, x_n), x_n) = 0$, implying $\text{Res}(H_1, H_2, x_n)(q) = 0$.

Conversely, assume $\text{Res}(H_1, H_2, x_n) = 0$. Let H_1 be a homogeneous polynomial of degree S and H_2 a homogeneous polynomial of degree T . If both leading terms vanish at q , then $s < S$ and $t < T$ and $p = [0, \dots, 0, 1] \in l$ is a common zero for H_1 and H_2 . Otherwise, $H_1(q, x_n)$ and $H_2(q, x_n)$ have a common zero as polynomials in x_n , denoted as $\bar{\beta}$; then $[q, \bar{\beta}]$ is the common zero of H_1 and H_2 on l . ■

Combining these two lemmas, the image $\bar{V}$ of the projection $\pi: V \rightarrow \mathbb{P}^{n-1}$ is the common zero locus of the polynomials $\text{Res}(H_1, H_2)$ where H_1 and H_2 range over all pairs of homogeneous elements of $I(V)$. In other words, $\bar{V} = V(J)$, where $J = \langle \text{Res}(H_1, H_2) | H_1, H_2 \in I(V) \rangle$ is a homogeneous ideal. However, it is essential to note that this yields a set of generators with infinitely many elements, and it is not immediately evident why $J = I(\bar{V})$.

In cases where $I(V) = \langle f_1, \dots, f_m \rangle$, the collection of $\text{Res}(f_i, f_j, x_n)$ for $1 \leq i < j \leq m$ does not necessarily form a set of generators for $I(\bar{V})$. In other words, given a basis for $I(V)$, obtaining a basis for $I(\bar{V})$ cannot be achieved using this method in finitely many steps. The following theorem, however, implicitly provides an algorithm for such a purpose:

Theorem 4.1. $I(\bar{V}) = J = I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$.

Proof. Let $\text{Res}(H_1, H_2, x_n) \in \{\text{Res}(H_1, H_2, x_n) : H_1, H_2 \in I(V)\}$ for some $H_1, H_2 \in I(V)$. According to Lemma 2.1.,

$$\text{Res}(H_1, H_2, x_n) = A_1 H_1 + A_2 H_2 \text{ for some } A_1, A_2 \in \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]. \quad (14)$$

Therefore, $\text{Res}(H_1, H_2, x_n) \in I$. As $\text{Res}(H_1, H_2, x_n) \in \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ by the definition of the resultant, it follows that

$$\text{Res}(H_1, H_2, x_n) \in I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]. \quad (15)$$

This implies that $J \subset I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$.

Conversely, for any $H_1 \in I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ both H_1 and $x_n H_1$ belong to I . Then,

$$H_1 = \text{Res}(H_1, x_n H_1, x_n) \in \{\text{Res}(H_1, H_2, x_n), H_1, H_2 \in I\}. \quad (16)$$

Therefore, $I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}] \subset J$. Since $I(V)$ is radical, $I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ is also radical. Therefore,

$$I(V(J)) = I(\bar{V}) = I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}] = J. \quad (17)$$

■

5. Gröbner Bases and Elimination Theory

Definition 5.1. (Cox et al., 1996), A well ordering $<$ on the set of polynomials H is termed a monomial ordering if it satisfies the condition that for any polynomials h_1 and h_2 in H :

$$h_1 > h_2 \Rightarrow x_i h_1 x_j > x_i h_2 x_j \quad (18)$$

This implies that the ordering is consistent with both left and right multiplications by x_i and x_j on polynomials in H .

Definition 5.2 (Cox et al., 1996), Let $I \subset \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ be an ideal and consider a fixed monomial order. A finite subset $\{h_1, h_2, \dots, h_s\} \subset I$, where $\langle LT(h_1), LT(h_2), \dots, LT(h_s) \rangle = \langle LT(I) \rangle$ is referred to as a Gröbner basis.

Definition 5.3. (Cox et al., 1996), Given $I = \langle f_1, f_2, \dots, f_s \rangle \subset \mathbb{k}[x_1, x_2, \dots, x_n]$ the t -th elimination ideal I_t is the ideal of $\mathbb{k}[x_{t+1}, x_1, \dots, x_n]$ defined by

$$I_t = I \cap \mathbb{k}[x_{t+1}, x_1, \dots, x_n]. \quad (17)$$

Theorem 5.1. (The Elimination Theorem) (Cox et al., 1996) Let $I \subset \mathbb{k}[x_1, x_2, \dots, x_n]$ be an ideal and let G be a Gröbner basis of I with respect to lex order where $x_1 > x_2 > \dots > x_n$. Then for every $0 \leq t \leq n$, the set

$$G^t = G \cap \mathbb{k}[x_{t+1}, x_1, \dots, x_n] \quad (18)$$

is a Gröbner basis of t -th elimination ideal I_t .

Theorem 3.1. provides a method using Gröbner basis techniques to derive a basis for $I(\bar{V})$ from a given basis $I(V)$.

Corollary 5.1. If $G = \{g_1, g_2, \dots, g_t\}$ is a Gröbner basis for $I(V)$ with respect to an order $<$ such that $x_n > x_i$ for any $i = 1, 2, \dots, n-1$, then $G_1 = G \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ forms a Gröbner basis for $I(\bar{V})$.

Proof. After relabeling if necessary, one can assume that $G_1 = \{g_1, g_2, \dots, g_r\}$. It is evident that $G_1 \subset I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. Consider an arbitrary polynomial $f \in I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. Since G is a Gröbner basis for $I(V)$ and $f \in I(V)$ the remainder on division by G is zero. Furthermore, due to the monomial order with $x_n > x_i$ for any $i = 1, 2, \dots, n-1$, the leading terms of $g_{r+1}, g_{r+2}, \dots, g_m$ involve x_n and are greater than every monomial in f . Thus, when applying the division algorithm, $g_{r+1}, g_{r+2}, \dots, g_m$ will not appear. Consequently, the division of f by G results in an equation of the form:

$$f = \sum_{i=1}^r h_i g_i + g_{r+1} 0 + g_{r+2} 0 + \dots + g_l 0 \quad (19)$$

which implies $f \in \langle g_1, g_2, \dots, g_r \rangle$. This establishes that G_1 is a basis for $I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$. In fact, since the division of any $f \in I(V) \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ by G_1 leaves a zero remainder, G_1 serves as a Gröbner basis for $I(\bar{V})$. ■

Example 5.1. The twisted cubic in $\mathbb{P}^3(\mathbb{C})$ is defined by $V(I)$, where $I = \{I_1, I_2, I_3\}$ and $I_1 = x_0x_2 - x_1^2$, $I_2 = x_0x_3 - x_1x_2$ and $I_3 = x_1x_3 - x_2^2$. Let $p = [0, 1, 0, 0]$. Using lex order with $x_2 > x_0 > x_1 > x_3$, a Gröbner basis for I is $\{x_1^3 - x_0^2x_3, x_1x_2 - x_0x_3, x_1^2 - x_0x_2, x_2^2 - x_1x_3\}$. Therefore, $\pi(V) = V(x_1^3 - x_0^2x_3)$.

Generalizing the result to projection from a linear space is straightforward.

Corollary 5.2. Let L be a linear subspace of $\mathbb{P}^n$, and let L' be the complementary subspace of L . Up to a projective linear transformation, assume $L = V(x_0, x_1, \dots, x_i)$ and $L' = V(x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_n)$. Let V be a variety in $\mathbb{P}^n$ such that $V \cap L = \emptyset$. Let π_L be the projection from L to L' , and $\bar{V} = \pi_L(V)$. Then $G \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_i]$ is a Gröbner basis of $I(\bar{V})$ under an order such that $x_{i_0} > x_{j_0}$ for $i_0 = i + 1, \dots, n$ and $j_0 = 0, \dots, i$.

Theorem 5.2. (Cox et al., 1996) Let $I \subset \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]$ be an ideal, and let G be a Gröbner basis of I with respect to the lexicographic order where $x_n > x_{n-1} > \dots > x_1 > x_0$. Then, the polynomial in G that does not contain the variable x_n generates $I \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$.

Another application of Gröbner bases is to find a generating set for the radical of an ideal from a given generating set of the ideal (see Decker et al. (1999) and Kemper (2002)).

Now, we can describe the method for finding the generating set for the ideal of the projection of a projective variety. Given $W = V(F_1, \dots, F_s)$ first find a generating set $\{H_1, H_2, \dots, H_t\}$ for the radical ideal $\sqrt{\langle F_1, \dots, F_s \rangle}$. Then, using lexicographic order with $x_n > x_{n-1} > \dots > x_1 > x_0$, find a Gröbner basis G for the ideal $\langle H_1, H_2, \dots, H_t \rangle$.

Since $I(\pi_P(W)) = \sqrt{\langle F_1, \dots, F_s \rangle} \cap \mathbb{k}[x_0, x_1, \dots, x_n]$ the polynomials in G not containing the variable x_n form a generating set for $I(\pi_P(W))$.

Example 5.2. Consider $W = V(x_0x_3 - x_1^2, x_0x_2 - x_1x_3, x_1x_2 - x_3^2)$ in $\mathbb{P}^3(\mathbb{C})$. It is well-known that $I = \langle x_0x_3 - x_1^2, x_0x_2 - x_1x_3, x_1x_2 - x_3^2 \rangle$ is a radical ideal. A Gröbner basis for I with respect to the lexicographic order where $x_3 > x_2 > x_1 > x_0$, is $G = \{x_0^2x_2 - x_1^3, x_0x_3 - x_1^2, x_1x_3 - x_0x_2, x_3^2 - x_1x_2\}$. Since $G \cap \mathbb{C}[x_0, x_1, x_2] = \{x_0^2x_2 - x_1^3\}$, $\pi_P(W) = V(x_0^2x_2 - x_1^3)$ where $p = [0, 0, 0, 1]$.

6. Discussion and Conclusion

In the literature, the projection is related to resultant theory (see Harris (1992)). However, the computing the resultant can be very complicated. In this article, using relation between resultant and elimination theory given in (Cox et al., 1996), we give a method finding projection using Gröbner bases. Since Gröbner basis computation is adopted in almost every computer algebra system, the projection can be easily computed using our method. In our examples, we use lexicographic orders.

In some cases, Gröbner bases with respect to lexicographic order can be huge. In this case, other elimination orders can be used. The detail of elimination orders can be form in (Greuel & Pfister, 2008).

References

- Cox, D., Little, J., & O'Shea, D. (1996). *Ideals, Varieties and Algorithms*. New-York: Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16721-3>
- Decker, W.; Gruel, G.; Pfister, G. (1999). Primary Decomposition: Algorithms and Comparisons. *Algorithms Algebra and Number Theory*, 187-220. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59932-3_10
- Greuel, G. M., & Pfister, G. (2008). *A Singular Introduction to Commutative Algebra*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73542-7>
- Harris, J. (1992). *Algebraic Geometry*. New York: Springer New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2189-8>
- Kemper, G. (2002). The Calculation of Radical Ideals In Positive Characteristic. *J. Symbolic Computation*, 34(3), 229-238. <https://doi.org/10.1006/jSCO.2002.0560>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

ChatGPT'nin Programlama Kodu Hata Ayıklama Performansının PyCharm Geleneksel Hata Ayıklama Aracı Performansı ile Karşılaştırılması

Fırat KAPAR^{*1}, Halit Eray ÇELİK², Serbest ZİYANAK³

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Özalp Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Programı, 65800, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 65080, Van, Türkiye

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Programı, 65080, Van, Türkiye

Fırat KAPAR, ORCID No: 0000-0001-9559-710X, Halit Eray ÇELİK, ORCID No: 0000-0001-7490-8124, Serbest ZİYANAK, ORCID No: 0000-0002-9575-8791

*Sorumlu yazar e-posta: firatkapar@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 11.07.2024
Kabul: 14.11.2024
Online Aralık 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1514642](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1514642)

Anahtar Kelimeler

ChatGPT,
Hata ayıklama,
PyCharm,
Python

Öz: Bu çalışmanın amacı ChatGPT'nin programlama kodu hata ayıklama yeteneklerini geleneksel hata ayıklama aracı ile karşılaştırarak yeni nesil yapay zeka tabanlı hata ayıklama yaklaşımlarının potansiyelini incelemektir. Bu amaçla, Python programlama dilinde sıkça rastlanan söz dizimi, mantık ve tür uyumsuzluğu hatalarını içeren programlama kodları türetilmiş ve PyCharm ve OpenAI tarafından geliştirilen ChatGPT-4 ile bu programlama kodları analiz edilerek her iki aracın hata ayıklama performansı karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ChatGPT-4'ün söz dizimi hatalarında PyCharm ile benzer başarı gösterirken mantık ve tür uyumsuzluğu hatalarını belirlemede PyCharm'a göre çok daha başarılı olduğu saptanmıştır. Bu sonuç doğrultusunda, yapay zekâ destekli araçların, programlama hatalarını etkili bir şekilde tespit etme ve düzeltme konusunda geleneksel yöntemlere kıyasla avantaj sağlayabileceği görülmektedir.

Comparison of ChatGPT's Programming Code Debugging Performance with PyCharm Traditional Debugging Tool Performance

Article Info

Recieved: 11.07.2024
Accepted: 14.11.2024
Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1514642](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1514642)

Keywords

ChatGPT,
Debugging,
PyCharm,
Python

Abstract: This study aims to examine the potential of next-generation AI-based debugging approaches by comparing the programming code debugging capabilities of ChatGPT with a traditional debugging tool. For this purpose, programming codes containing common syntax, logic, and type mismatch errors in Python were generated and analyzed using PyCharm and OpenAI's ChatGPT-4. The study found that while ChatGPT-4 showed similar success to PyCharm in identifying syntax errors, it was significantly more successful than PyCharm in detecting logic and type mismatch errors. These results suggest that AI-supported tools could provide an advantage over traditional methods in effectively detecting and correcting programming errors.

1. Giriş

Bilgisayar kodlarında var olabilen hatalar yazılım geliştirmede zorlayıcı olmakta ve bulunup düzeltilmeleri zaman ve çaba gerektirmektedir. Bilgisayar kodundaki hatalar, küçük yazılım çökmelerinden güvenlik açıklarına ve veri kaybına kadar uzanan önemli sorunlara neden olabilmektedir. Kodda hata ayıklama, yani bu hataları bulma ve düzeltme süreci, yazılım geliştirmenin kritik bir yönü

olmakla birlikte zaman alıcı ve karmaşık bir görev olabilmektedir (Wong ve ark., 2017). Bu amaçla, geleneksel hata ayıklama araçları, Entegre Geliştirme Ortam (Integrated Development Environment – IDE)'leri, hata ayıklayıcılar ve kod analizörleri uzun süredir geliştiriciler tarafından hataları tanımlama ve çözme konusunda kullanılmaktadır. Bu araçlar, hata ayıklama sürecini kolaylaştırmak için kesme noktaları, adım adım yürütme, değişken inceleme ve hata tespiti gibi özellikler sunmaktadır. Syntax, mantıksal ve anlamsal hataları tanımlayıp düzeltebilme yeteneği, geliştiricilere kodlarını daha iyi anlama ve hataları etkili bir şekilde çözme konusunda yardımcı olabilmektedir. Modelin ya da kodun analiz edilmesi, potansiyel sorunların belirlenmesi, olası çözümlerin sıralanması ve düzeltmelerin önerilmesi süreci, geliştiricilere hem zaman kazandırmakta hem de kod kalitesini artırabilmektedir (Haque & Li, 2023). Ancak, yazılım mühendislerinin hataları en aza indirme ve kod kalitesini iyileştirme çabalarına rağmen hatalar, yazılım geliştirme sürecinin hala kaçınılmaz bir parçasıdır (Wong ve ark., 2017). Geçmişten günümüze gelen ve yaygın kullanılan yöntemlerin yanında OpenAI tarafından geliştirilen, doğal dil işleme ve anlama yetenekleri ile programlama dillerindeki kod hatalarını tespit etme ve çözüm önerileri sunma kapasitesine sahip bir derin öğrenme modeli olan Chat Generative Pretrained Transformer (ChatGPT) de farklı bir yaklaşım sunmaktadır (Surameery & Shakor, 2023). OpenAI tarafından geliştirilen ve bir dil modeli olan ChatGPT, akademide bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Quintans-Júnior et al., 2023). Çeşitli türlerde yüksek kaliteli, özgün içerik üretme yeteneği ile istatistiksel analiz ve kodlamadaki potansiyeli, onu değerli bir araç haline getirmektedir. Ancak, empati eksikliği ve olası önyargılar gibi sınırlamaları göz önünde bulundurulmalıdır (Biswas, 2023a). Ticari ve akademik alanlarda, ChatGPT'nin gerçek zamanlı metin üretim yetenekleri büyük ilgi görmüştür (Gupta et al., 2023). Özellikle sosyal medyada müşteri hizmetleri otomasyonu ve içerik üretimi gibi uygulamaları dikkat çekicidir. Ayrıca, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanımı, insan-bilgisayar etkileşimlerini devrim niteliğinde değiştirmiştir (Hadi et al., 2023). Rahman & Watanobe (2023), ChatGPT'nin programlama ve hata ayıklama yeteneklerinin Codex ve CoCoNut gibi ileri modellerle rekabet edebilecek düzeyde olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, ChatGPT'nin eğitimde, özellikle programlama öğreniminde hem eğiticiler hem de öğrenciler için yardımcı olacağı da aşıkardır (Rahman & Watanobe, 2023). ChatGPT, algoritmik ve kütüphane ile ilgili görevleri tamamlama konusunda yazılım uzmanlarının karşılaştıkları hataların çözümlerinin yer aldığı ve bir soru cevap web sitesi olan Stack Overflow'u önemli ölçüde geride bırakmaktadır, ancak hata ayıklama görevlerinde Stack Overflow daha iyidir. Algoritmik zorluklarda ise ChatGPT grubu, Stack Overflow grubundan daha hızlıdır (Liu ve ark., 2023).

ChatGPT'nin yazılım optimizasyonu ve algoritma programlamada da kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, modelin 3D baskıda G-Code optimizasyonu ve çeşitli yapay zekâ görevleri için Büyük Dil Modelleri (Large Language Models - LLM)'lerin kontrolör olarak kullanılması gibi yenilikçi yaklaşımlar sunabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalar, ChatGPT'nin çok yönlülüğünü ve farklı yazılım geliştirme zorluklarını çözme potansiyelini vurgulamaktadır (Jaber ve ark., 2023). ChatGPT, bilgisayar programlama için kod tamamlama, düzeltme, tahmin, hata düzeltme, optimizasyon, belge oluşturma, sohbet robotu geliştirme, metinden koda dönüştürme dahil olmak üzere çok çeşitli yetenekler sunmaktadır. Açıklamalar, örnekler ve rehberlik sağlama yeteneği ile ChatGPT, teknik destek için değerli bir kaynaktır ve programlamayla ilgili yetenekleri, geliştiriciler ve kuruluşlar için verimliliği ve doğruluğu artırabilmektedir (Biswas, 2023b). Surameery & Shakor (2023), Rahman & Watanobe (2023), Jaber ve ark. (2023), vb. çalışmalarında elde edilen bulgulara göre ChatGPT'nin hata ayıklama süreçlerinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Ouh ve ark. (2023), ChatGPT, yüksek okunabilirlik ve iyi yapılandırılmış organizasyon ile doğru Java programlama çözümleri üretebildiğini ve bunun yanında öğrencilerin programlama zorluklarını aşmalarına ve alternatif problem çözme yaklaşımlarını keşfetmelerine yardımcı olabilecek değerli bir araç olma potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir. Sobania ve ark. (2023), ChatGPT'nin hata düzeltme performansı, CoCoNut ve Codex gibi derin öğrenme yaklaşımlarıyla rekabet etmekte olup, standart program onarım yaklaşımlarını önemli ölçüde geride bıraktığını bildirmişlerdir. Dan'azumi ve ark. (2023), ChatGPT'nin programlama hatalarını tanımlama, tahmin etme, açıklama ve çözmedeki etkinliğini araştırdıkları çalışmalarının bulguları ChatGPT'nin kodu analiz edebildiğini ve anlayabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, çalışmalarının sonuçları, ChatGPT'nin hata ayıklama sürecini daha verimli hale getirme potansiyeline sahip olduğunu ve farklı deneyim seviyelerine sahip geliştiriciler için daha uygun hale getirdiğini bildirmişlerdir. Literatür incelendiğinde, geleneksel hata ayıklama araçları ile ChatGPT'nin hata ayıklama performanslarının karşılaştırıldığı çalışmaların çok sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu

nedenle, ilgili literatüre katkıda bulunmak amacıyla, “söz dizimi hataları”, “mantık hataları” ve “tür uyumsuzluğu hataları” başlıkları altında yer alan kodlama hatalarının tespitinde Python programlama dili için geliştirilmiş ve geleneksel bir hata ayıklama aracı olan PyCharm ve ChatGPT-4’ün performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda ChatGPT-4’ün programlama kodu hata ayıklama performansının farklı başlıklar altında klasik yöntemlerden olumlu anlamda farklılaştığı saptanmıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen bulguların ilgili literatüre katkıda bulunacağı ve gelecek çalışmaların yönlendirilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın kalan kısmı üç ana başlıktan oluşmaktadır. Materyal ve Yöntem bölümünde bu çalışmada kullanılan veri seti tanıtilmiş ve veri setinin analizinde kullanılan yöntem kısaca belirtilmiştir. Daha sonra Uygulama ve Bulgular bölümünde veri setinin analizi gerçekleştirilmiş ve analiz bulguları sunulmuştur. Sonuç ve Tartışma bölümünde ise bu çalışmada elde edilen bulgular yorumlanarak çalışma sonlandırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bilgisayar kodundaki hatalar, küçük yazılım çökmelerinden güvenlik açıklarına ve veri kaybına kadar uzanan önemli sorunlara neden olabilmektedir. Kodda hata ayıklama, yani bu hataları bulma ve düzeltme süreci, yazılım geliştirmenin kritik bir yönüdür ve zaman alıcı ve karmaşık bir görev olabilir. Bu çalışmada, programlama kodlarında yer alan hataların tespiti için Python programlama dili ile uygulama geliştirme, hata ayıklama ve hataların yönetimini de sağlayabilen PyCharm 2023.3.4 (Professional Edition) sürümü ve OpenAI tarafından geliştirilen, doğal dil işleme ve anlama yetenekleri ile programlama dillerindeki kod hatalarını tespit etme ve çözüm önerileri sunma kapasitesine sahip bir derin öğrenme modeli olan ChatGPT-4 sürümü kullanılmıştır. Python programlama diline ait resmi dokümantasyon incelendiğinde, bu programlama dilinde oluşabilecek hata türlerinin temelde 3 kategoride toplanabileceği görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, Python programlama dilinde basit söz dizimi hatalarından karmaşık mantık hatalarına kadar Çizelge 1’de gösterildiği gibi 3 farklı kategoride çeşitli hataları içeren kod örneklerinin hazırlanması ve söz konusu hataların ayıklanması amaçlanmıştır.

Çizelge 1. Gerekli durumlarda tek sütun olarak eklenecek çizelge formatı ve alt satırdan devam eden

Hata Türü	Açıklama
Söz dizimi hataları	Programın çalıştırılmasını engelleyen, dilin kurallarına uyulmamasından kaynaklanan hatalar.
Mantık hataları	Programın yanlış sonuçlar üretmesine veya beklenmeyen davranışlarda bulunmasına neden olan hatalar.
Tür uyumsuzluğu hataları	Farklı veri türlerinin birbiriyle uyumsuz şekilde kullanılmasından kaynaklanan hatalar.

Veri seti olarak kullanılan Python kodlarının her biri gerçek bir problemin çözümünü sağlayan kodlardır. Bu kodlar herkese açık olarak yayınlanan çeşitli web sayfalarından toplandıktan sonra bu çalışmada kullanılabilmesi için bir Python yazılım uzmanı olan makalenin yazarları tarafından bilinçli bir şekilde hatalar eklenmiştir. Bu hataların sınıflandırılması makalenin yazarları tarafından yapılmıştır. Literatüre bakıldığında bu tür çalışmalar için kullanılan veri setlerinde 100 ile 160 arasında kod parçasının kullanıldığı görülmektedir; detaylı bilgi için [Surameery & Shakor \(2023\)](#) çalışması ve bu çalışmada verilen ilgili kaynaklar incelenebilir. Bu amaçla internetten toplanan farklı zorluk ve karmaşık seviyesine sahip 150 adet Python kodu, “söz dizimi hatası”, “mantık hatası” ve “tür uyumsuzluğu hatası” olmak üzere üç kategoriye ayrılarak uygun hatalar ilgili kodlara eklenmiş ve uygulama için hazır hale getirilmiştir. Hatalı kodlarından oluşan bu veri seti PyBuggy olarak isimlendirilmiş ve <https://github.com/byfirat/PyBuggy/tree/master> adresinde herkesin kullanımına açık olarak paylaşılmıştır. İlgili kodların analizi sonrasında “0-ilgili hata saptanamadı” ve “1-ilgili hata saptandı” değerlerinden oluşan veri setleri “söz dizimi hatası”, “mantık hatası” ve “tür uyumsuzluğu hatası” grupları için oluşturulmuş ve bu veri setleri istatistiksel analize tabi tutulmuştur. İlgili değişkenlerin ikili ölçüm düzeyi (0 ve 1) ile sınıflayıcı ölçeğe sahip olması nedeniyle istatistiksel analizde Cochran’ın Q testi kullanılmıştır. Burada, PyCharm ve ChatGPT-4 gibi iki denetleyicinin olması nedeniyle Cochran’ın Q testi ile McNemar testinin denk sonuçlar vereceği de aşikardır. Bu iki teste ilişkin ayrıntılı bilgiler ve

iki denetleyici olması durumunda bu iki testin denk olduklarının ispatı [Conover \(1999\)](#)'da verilmektedir. Cochran'ın Q testine ilişkin test istatistiği

$$T = c(c - 1) \frac{\sum_{j=1}^c (C_j - \frac{N}{c})^2}{\sum_{i=1}^r R_i (c - R_i)} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada c denetleyici sayısını, r satır sayısını (örneklemdaki birim sayısı), N satır ve sütun genel toplamını, C_j j . sütun toplamını ve R_i ise i . satır toplamını göstermektedir. Ayrıca T istatistiği $(c - 1)$ serbestlik derecesine sahip ki-kare (chi-square - $X^2_{(c-1)}$) dağılımına sahiptir. Bu çalışmada, iki denetleyici olduğu dikkate alındığında hesaplanan T istatistiğine ilişkin 0.05 anlamlılık düzeyindeki tablo değeri 3,84 olmaktadır. Başka bir ifade ile $P(T \leq 3.84) = 0.05$ yani $X^2_{1;0.05} = 3.84$ 'tür. Genel olarak, Cochran'ın Q testine ilişkin yokluk hipotezi " H^0 : Denetleyiciler arasında anlamlı bir farklılık olduğuna yönelik ilgili anlamlılık düzeyinde yeterli istatistiksel kanı yoktur." ve karşı/alternatif hipotez ise " H_1 : Denetleyiciler arasında anlamlı bir farklılık olduğuna yönelik ilgili anlamlılık düzeyinde yeterli istatistiksel kanıt mevcuttur." şeklinde ifade edilmektedir.

3. Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada ChatGPT-4 ve PyCharm araçlarının hata ayıklama performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Materyal ve Yöntem'de belirtildiği gibi hataları içeren kodlar PyCharm ile çalıştırılmış ve hatanın tespit edilip edilmediği tek tek not edilmiştir ("0-İlgili hata saptanamadı" ve "1-İlgili hata saptandı"). ChatGPT-4'e ise, "Verilen Python kod parçasında söz dizimi hatası, mantık hatası veya tür uyumsuzluğu hatalarından en az biri var ise, hatanın nedenini göster" şeklinde bir Prompt (İstem) vasıtasıyla test edilmiş ve hatalı kodların kaç tanesini hatalı olarak işaretlediği kaç tanesinde ise hata bulunmadığı not alınmıştır ("0-İlgili hata saptanamadı" ve "1-İlgili hata saptandı"). Bu şekilde veri setini oluşturan bütün kodlar tek tek analiz edilmiş ve ilgili çıktılar alınarak "söz dizimi hatası", "mantık hatası" ve "tür uyumsuzluğu hatası" grupları için veri setleri oluşturulmuştur. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara ilişkin frekanslar Çizelge 2' de verilmiştir. PyCharm ve ChatGPT-4 kullanılarak hazırlanan hata senaryolarının ayıklanma sürecinin yürütülmesi, her bir aracın hata tespit sayılarının karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin karşılaştırmalı analizi yapılarak, söz konusu araçların Python programlama kodu hata ayıklama performansları değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. ChatGPT-4 ve PyCharm araçlarının hata ayıklama performans sonuçları

Hata Türü	ChatGPT-4	PyCharm
Söz dizimi hataları	49/50	50/50
Mantık hataları	45/50	06/50
Tür uyumsuzluğu hataları	50/50	21/50

Çizelge 2 incelendiğinde "söz dizimi hataları" grubunda ChatGPT-4 ve PyCharm'ın benzer frekanslara sahip olduğu fakat "mantık hataları" ve "tür uyumsuzluğu hataları" gruplarında farklı frekans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu farklılığın istatistiksel olarak ortaya konulması ve 0.95 güvenilirlikle genel yorumlanabilmesi için Cochran'ın Q testi yapılmış ve test sonucunda, "söz dizimi hataları", "mantık hataları" ve "tür uyumsuzluğu hataları" gruplarına ait test istatistiği değerleri sırasıyla 1.00, 35.37 ve 29.00 olarak hesaplanmıştır. İlgili test istatistiği değerleri ve $X^2_{1;0.05} = 3.84$ tablo değeri dikkate alındığında "söz dizimi hataları" grubu açısından ChatGPT-4 ve PyCharm arasında 0.05 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı fakat "mantık hataları" ve "tür uyumsuzluğu hataları" grupları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar, ChatGPT-4'ün özellikle mantık hataları ve tür uyumsuzluğu hatalarını tespit etmede PyCharm'a göre çok daha üstün bir performans sergilediğini göstermektedir. Söz dizimi hataları açısından her iki araç da yüksek başarı oranlarına ulaşmıştır, ancak ChatGPT-4'ün mantık ve tür uyumsuzluğu hatalarında gösterdiği yüksek performans, onun programlama dillerindeki hata ayıklama

süreçlerinde etkili bir araç olabileceğini işaret etmektedir. Bu bulgular, ChatGPT-4'ün, programlama kodu hata ayıklama konusunda geleneksel hata ayıklama aracı olan PyCharm'a kıyasla önemli bir alternatif sunabileceğini ve geliştiricilere kodlarını daha iyi anlama ve hataları etkili bir şekilde çözme konusunda yardımcı olabileceğini göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmamız, ChatGPT-4'ün özellikle mantık ve tür uyumsuzluğu hatalarını tespit etme konusunda PyCharm'a göre üstün bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu sonuçlar, doğal dil işleme teknolojilerinin ve özellikle ChatGPT'nin, geleneksel hata ayıklama araçları ile rekabet edebilecek düzeyde olduğunu ve hatta bazı alanlarda bu araçlardan daha etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. ChatGPT-4'ün yüksek başarımı, dil modellerinin, programlama dilleri ve hatalarının anlaşılması konusunda gelişmiş yeteneklere sahip olduğunu göstermektedir. Bu durumun, özellikle yazılım geliştirme sürecinde hata tespiti ve çözümü konularında, geliştiricilere zaman kazandırabileceği ve kod kalitesini artırabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, PyCharm gibi geleneksel hata ayıklama araçlarının söz dizimi hatalarını tespit etme konusunda çok etkili olduğu, ancak mantık ve tür uyumsuzluğu gibi daha karmaşık hata türlerinde zayıf kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, geleneksel araçların bu tür hataları tespit etmek için daha fazla geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın bulguları, yazılım geliştirme ve hata ayıklama süreçlerinde, ChatGPT gibi yapay zekâ tabanlı araçların potansiyel kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bu tür araçların, geleneksel hata ayıklama yöntemlerine alternatif veya tamamlayıcı olarak kullanılmasının yazılım geliştirme sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırabileceği düşünülmektedir. Ancak, bu teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, onların yetenekleri, limitleri ve kullanım senaryoları üzerine daha fazla araştırma yapılması önem taşımaktadır. Bu çalışma kısıtlı bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu veri seti, çeşitli hata türlerini kapsayıp geniş bir yelpazeyi temsil etse de ileriki çalışmalarda daha farklı programlama dillerinde benzer bir çalışma yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, farklı türde ve karmaşıklıkta hataları içeren daha geniş veri setleri üzerinde çalışmak, sonuçların kapsayıcılığını da artıracaktır. ChatGPT ve PyCharm gibi araçlar sürekli gelişmektedir. Çalışmanın yapıldığı dönemdeki sürümler üzerinden elde edilen sonuçlar, bu araçların gelecek sürümleri için mutlak geçerlilik taşımamaktadır. Özellikle yapay zekâ alanındaki hızlı ilerlemeler, bu araçların yeteneklerini kısa sürede değiştirebilmektedir.

Kaynakça

- Biswas, S. (2023a). Role of chatgpt in computer programming. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 2023, 8-16. <https://doi.org/10.58496/MJCSC/2023/002>
- Biswas, S. (2023b). The function of chat gpt in social media: According to chat gpt. SSSN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4405389>
- Conover, W. J. (1999). *Practical nonparametric statistics* (pp. 196-201). John Wiley & Sons.
- Dan'azumi, H., Mohammed, Y. B., & Badara, M. S. (2024). Exploring the use of ChatGPT for resolving programming bugs. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research*, 11(3), 34-44.
- Gupta, B., Mufti, T., Sohail, S. S., & Madsen, D. Ø. (2023). Chatgpt: A brief narrative review. *Cogent Business & Management*, 10(3), 2275851. <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2275851>
- Hadi, M. A., Abdulredha, M. N., & Hasan, E. (2023). Introduction to chatgpt: A new revolution of artificial intelligence with machine learning algorithms and cybersecurity. *Science Archives*, 4, 276-285. <https://doi.org/10.47587/SA.2023.4406>
- Haque, M. A., & Li, S. (2023). The potential use of chatgpt for debugging and bug fixing. *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*, 2(1), e4. <https://doi.org/10.4108/airo.v2i1.3276>
- Jaber, M. A., Beganovic, A., & Abd Almisreb, A. (2023). Methods and applications of chatgpt in software development: A literature review. *Southeast Europe Journal of Soft Computing*, 12(1), 08-12.
- Liu, J., Tang, X., Li, L., Chen, P., & Liu, Y. (2023, October). *Chatgpt vs. stack overflow: An exploratory comparison of programming assistance tools*. In 2023 IEEE 23rd International Conference on

- Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C) (pp. 364-373). <https://doi.org/10.1109/QRS-C60940.2023.00105>
- Ouh, E. L., Gan, B. K. S., Jin Shim, K., & Wlodkowski, S. (2023, June). *Chatgpt, can you generate solutions for my coding exercises? An evaluation on its effectiveness in an undergraduate java programming course*. In Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1 (pp. 54-60). <https://doi.org/10.1145/3587102.3588794>
- Quintans-Júnior, L. J., Gurgel, R. Q., Araújo, A. A. D. S., Correia, D., & Martins-Filho, P. R. (2023). Chatgpt: the new panacea of the academic world. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 56, e0060-2023. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0060-2023>
- Rahman, M. M., & Watanobe, Y. (2023). Chatgpt for education and research: opportunities, threats, and strategies. *Applied Sciences*, 13(9), 5783. <https://doi.org/10.3390/app13095783>
- Sobania, D., Briesch, M., Hanna, C., & Petke, J. (2023, May). *An analysis of the automatic bug fixing performance of chatgpt*. In 2023 IEEE/ACM International Workshop on Automated Program Repair (APR) (pp. 23-30). <https://doi.org/10.1109/APR59189.2023.00012>
- Surameery, N. M. S., & Shakor, M. Y. (2023). Use chat gpt to solve programming bugs. *International Journal of Information Technology & Computer Engineering (IJITC)*, 3(01), 17-22. <https://doi.org/10.55529/ijitc.31.17.22>
- Wong, W. E., Li, X., & Laplante, P. A. (2017). Be more familiar with our enemies and pave the way forward: a review of the roles bugs played in software failures. *Journal of Systems and Software*, 133, 68-94. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.06.069>



Research Article

Development of a Cost-Effective Novel CNN Model for Breast Cancer Classification in Histopathological Images

Karwan JAF*, Özkan İNİK

Tokat Gazioosmanpasa University, Faculty of Engineering and Architecture, Tokat, Türkiye
Karwan JAF, [ORCID No: 0009-0008-0152-0354](#), Özkan İNİK, [ORCID No: 0000-0003-4728-8438](#)

*Corresponding author e-mail: karwan.noori@garmian.edu.krd

Article Info

Received: 11.06.2024
Accepted: 06.09.2024
Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1498736](#)

Keywords

Breast cancer,
Classification,
CNN,
Deep learning,
Histopathology images

Abstract: Cancer, is a leading cause of disease and death worldwide, affecting both advanced industrialized and developing nations. Breast cancer, specifically among women, is a highly prevalent and serious type of cancer, making it a focal point for extensive research in the field of medicine. In the diagnosis of breast cancer, histopathological images play a crucial role because of the abundance of valuable phenotypic information they contain. To enhance the accuracy and objectivity of breast histopathological image analysis (BHIA), classification, and detection tasks are performed on these images using deep learning architecture approaches. In a preliminary experiment conducted in this paper using the Breast Cancer Histopathological Database (BreakHis), four state-of-the-art and custom CNN architectures were proposed. The experimental results demonstrate the notable performance of the proposed custom model at 40x and 200x magnification factors, reaching accuracies of 97.49% and 97.77%, surpassing other models. The ResNet-50 model achieved higher accuracy at 100x and 400x magnifications, with accuracies of 98.56% and 96.43%, respectively. Compared to other state-of-the-art models, the proposed CNN model not only shows efficient training with a significantly shorter timeframe but also features a reduced number of layers, highlighting its superior computational efficiency. Although the parameter count is higher than that of one of the models, the model strikes a favorable balance between computational efficiency and model capacity. In light of the achieved outcomes and the existing literature, forthcoming studies endeavor can be pursued further to enhance the performance values in breast cancer classification.

Histopatolojik Görüntülerde Meme Kanseri Sınıflandırması İçin Maliyet Etkin Yeni Bir CNN Modelinin Geliştirilmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 11.06.2024
Kabul: 06.09.2024
Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1498736](#)

Anahtar Kelimeler

CNN,
Derin öğrenme,
Histopatoloji görüntüleri,
Meme kanseri,
Sınıflandırma

Öz: Kanser, hem gelişmiş sanayileşmiş ülkeleri hem de gelişmekte olan ülkeleri etkileyen, dünya çapında hastalık ve ölümün önde gelen nedenlerinden biridir. Özellikle kadınlar arasında meme kanseri, oldukça yaygın ve ciddi bir kanser türüdür ve bu nedenle tıp alanında geniş çaplı araştırmaların odak noktası olmuştur. Meme kanseri teşhisinde histopatolojik görüntüler, içerdiği değerli fenotipik bilgiler nedeniyle kritik bir rol oynar. Meme histopatolojik görüntü analizinin (BHIA) doğruluğunu ve nesnelliğini artırmak amacıyla, bu görüntüler üzerinde sınıflandırma ve tespit görevleri derin öğrenme mimarisi yaklaşımları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu makalede, Meme Kanseri Histopatolojik Veritabanı (BreakHis) kullanılarak yapılan ön deneyde, dört son teknoloji ve özel CNN mimarisi önerilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen özel modelin 40x ve 200x büyütme faktörlerinde kayda değer bir performans sergilediğini ve sırasıyla %97.49 ve %97.77 doğruluklara ulaştığını, diğer modelleri geride bıraktığını göstermektedir. ResNet-50 modeli ise 100x ve 400x büyütme faktörlerinde daha yüksek doğruluk elde etmiş ve sırasıyla %98.56 ve %96.43 doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Diğer son teknoloji modellerle

karşılaştırıldığında, önerilen CNN modeli sadece çok daha kısa bir süre içinde verimli eğitim göstermekle kalmamış, aynı zamanda daha az katman sayısı ile üstün hesaplama verimliliğine sahip olduğunu göstermiştir. Parametre sayısı bir modelden daha yüksek olmasına rağmen, model hesaplama verimliliği ile model kapasitesi arasında olumlu bir denge kurmaktadır. Elde edilen sonuçlar ve mevcut literatür ışığında, gelecekteki çalışmalar, meme kanseri sınıflandırmasında performans değerlerini artırmak amacıyla daha da geliştirilebilir.

1. Introduction

Cancer manifests as an ailment characterized by uncontrolled cell proliferation due to the transformation of cells undergoing natural selection (Brown et al., 2023). Among various cancer types, breast cancer is particularly noteworthy, recognized as a prevalent and life-threatening condition affecting women. In 2022, there were 2.3 million reported cases of breast cancer in women, leading to 670,000 deaths globally. In 2022, breast cancer was the most prevalent cancer among women in 157 out of 185 countries. Breast cancer can affect women in any country post-puberty, with higher incidence rates in later stages of life. Men account for approximately 0.5–1% of breast cancer cases (Sadique et al., 2024; WHO, 2024). The geographic distribution of breast cancer occurrences varies greatly, with the majority of instances occurring in industrialized countries. However, transitioning nations experience a disproportionately high number of breast cancer-related deaths. According to predictions, if current trends continue, the worldwide incidence of breast cancer might exceed 3 million new cases and result in 1 million deaths per year by 2040 (Arnold et al., 2022). Various diagnostic techniques are employed in the therapy of breast cancer, such as mammography, magnetic resonance imaging (MRI), and histological testing. Biopsy procedures have consistently been the predominant tool for accurately diagnosing breast cancer when other tests, such as mammography, have produced unclear findings. The inclusion of the biopsy procedure's description, which encompasses the collection of tissue samples, placement onto small glass slides, and application of staining for enhanced visibility, provides more intricacy to the overall process. Pathologists analyze histopathological images to validate the diagnosis (Das et al., 2019; Zerouaoui et al., 2024). Scientists have employed several algorithms and analysis tools to examine breast cancer pictures from diverse perspectives, taking into account elements such as the stage of the disease, image quality, and specific criteria. In recent years, Convolutional Neural Networks (CNNs), a type of deep learning technology, have gained significant recognition as effective instruments in computer-assisted medical image interpretation (Inik et al., 2019). CNNs are deep learning models designed to mimic the organization of the cortical area. Their origins can be traced back to the study 1962 study conducted by Hubel and Wiesel, and they were subsequently enhanced by Fukushima's Neocognitron in 1980. LeCun's introduction of LeNet-5 in 1998 marked a significant advancement in this concept. The CNN architecture comprises convolutional, pooling, and fully connected layers, as described by (Sakib et al., 2019; Suzuki, 2017).

Recently, the utilization of deep learning methods in the processing of medical images has demonstrated considerable potential in enhancing diagnostic precision multiple studies have shown that Convolutional Neural Networks (CNNs) are effective at categorizing histological images of breast cancer. Alom et al. (2019) created the Inception Recurrent Residual Convolutional Neural Network (IRRCNN) using the BreakHis and Breast Cancer Classification Challenge 2015 datasets. The model integrates features from the Inception Network, Residual Network, and Recurrent Convolutional Neural Network. Budak & Güzel (2020) introduced a novel approach for detecting breast cancer in histopathological images by integrating color and texture characteristics. The method combined Shearlet Transform (ST) for breaking down images and the Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) for extracting texture. Color features are obtained by extracting information from the red, green, and blue channels, which are then combined into histograms and concatenated to generate a feature vector. The vector, together with texture data, is inputted into a Support Vector Machine(SVM) for classification. The histological Convolutional Neural Network (HCNN) was proposed by Burçak et al. (2021) as a method for identifying breast cancer using histological pictures. The Model employed a Convolutional Neural Network (CNN) for extracting features and was trained

using six optimization techniques to improve learning efficiency. Boumaraf et al. (2021b) developed an automated breast cancer classification method for histopathological images, leveraging transfer learning with ResNet-18. They fine-tuned the model and employed global contrast normalization (GCN) and three-fold data augmentation. Another study conducted by Boumaraf, et al. (2021a) compared conventional machine learning (CML) with deep learning (DL) methods for breast cancer classification. CML involved extracting handcrafted features, while DL utilized transfer learning with VGG-19 architecture, fine-tuned on histopathological images. Evaluation of the BreakHis dataset and KIMIA Path960 validation set highlighted DL's superior performance. Wang et al. (2021) introduced a novel approach rooted in the integration of deep features and enhanced routing. The proposed method utilized dual channels to extract features from capsules and convolutions simultaneously. Then, these features are fused, and a routing module and the FE-BkCapsNet classifier are incorporated. Gupta et al. (2021) developed modified residual neural networks, specifically modified Resnet-50 and ResNet-34 architectures for histopathological breast cancer image classification. Notably, the proposed approach results were achieved with ResNet-50. Kallipolitis et al. (2021) proposed a deep learning-based ensemble modeling approach for histopathology image classification, using EfficientNets as the primary components. The study also explored using InceptionNet, ExceptionNet, and ResNet to identify images and produced explainable results with the Grad-CAM technique. Joseph et al. (2022) developed handcrafted feature extraction techniques and Deep Neural Network (DNN) are used on histopathological images from the BreakHis dataset. The characteristics retrieved by handcrafted techniques are then used to train DNN classifiers, which have four dense layers with softmax activation. In the realm of feature extraction using deep learning and classification with machine learning algorithms, Sharma & Kumar (2022) presented a binary classification approach based on magnification that is specific to breast cancer histopathology images. The strategy entailed evaluating five well-known classical machine learning algorithms using handcrafted features with a pre-trained Xception model. The most effective classifier combination was obtained by Xception+SVM R,5. Zerouaoui & Idri (2022) presented and evaluated findings from an empirical comparative study of 28 hybrid architectures for breast cancer (BC) imaging classification. Four classifiers (MLP, SVM, DT, and KNN) and seven deep learning techniques (DenseNet 201, MobileNet V2, ResNet 50, Inception V3, Inception ResNet V2, VGG16, and VGG19) were used. These architectures were evaluated and ranked across two datasets using the SK statistical test and the Borda Count. Chattopadhyay et al. (2022b) developed DRDA-Net, a deep-learning model tailored for histopathology images. DRDA-Net integrates Dense Residual Dual-Shuffle Attention Network architecture, featuring improvements like residual skip connections and multi-scale feature learning. Its key element, the Dual-Shuffle Residual Block (DRB), incorporates ShuffleNet-inspired features, enhancing feature map quality and data flow through Channel Attention (CA) modules and residual skip connections. Krishna et al. (2023) created a decision-support model that effectively classifies breast cancer in histopathological images. They incorporated a trainable attention mechanism into a CNN. This attention branch called the Attention Branch Network (ABN), is connected to the DarkNet19 network. A DarkNet-19 convolutional layer and Global Average Pooling (GAP) contextualize visual properties in the attention branch. By creating a Headmap, it can identify and emphasize photo highlights. The multi-scale and dual-adaptive attention (MDAA) was introduced to recognize histopathological images (Li et al., 2024). This model uses DenseNet and a module for multiscale feature extraction. A dual-adaptive attention block and adaptive balance loss function are included. The network's tiny and intricate blocks enable feature reuse and improve complex concept communication. The Dual-adaptive attention block improves feature representation by combining channel and spatial adaptive attention to overcome single-attention mechanism limits. Lastly, an adaptive balancing loss is employed to tackle the issue of class imbalance. Chattopadhyay et al. (2022a) developed the MTRRE-Net model, which was specifically designed for breast cancer classification. The model combines dual residual blocks and a recurrent connection, utilizing two-fold residual learning. The method involves extracting features from various network depths with different scales and filter sizes to capture important information from input images while maintaining a balance between depth and learning complexity. Zhou et al. (2022) proposed ADSVM, which combines Anomaly Detection with SVM and Resolution Adaptive Network (RANet), for breast cancer classification. ADSVM detects mislabeled patches in malignant images, which improves classification precision. RANet dynamically selects subnetworks based on image complexity. Kashyap (2022) developed a Stochastic Dilated Residual Ghost (SDRG) model, merging

the Multiscale Stochastic Dilated Convolution (MSDC) with a ghost unit, stochastic upsampling, and downsampling units, for accurate breast cancer classification. The MSDC model captures detailed features, whereas the ghost unit reduces redundancy and expands the receptive field of dilated convolution while preserving image information. When combined with stochastic groupings in upsampling, the ghost unit improves model performance. In our study, (Nadr & İnik, 2023) a custom CNN architecture was proposed using only a 100x magnification factor of the BreakHis dataset's histopathological images to classify BC classification. This approach resulted in an accuracy of 92.70. Addo et al. (2024) proposed a lightweight CNN model named "BCHI-CovNet" specifically designed to classify breast cancer using histopathological images. The model employed a novel approach that includes a convolutional operation that is both multiscale and depth-wise separable. In addition, the model includes a second-order pooling module and a multi-head self-attention mechanism.

Despite advancements in deep learning techniques, the necessity persists for models that not only ensure high accuracy but also uphold computational efficiency. This study aims to address this gap by presenting a new CNN model designed exclusively for the binary classification of breast cancer in histopathology images. The primary objective is to design a CNN architecture that is very efficient in terms of both diagnostic accuracy and processing resources. This architecture will be thoroughly evaluated against well-known state-of-the-art architectures such as SqueezeNet, GoogleNet, ResNet-50, and DarkNet-19.

The objective of this study is to investigate the employing of Convolutional Neural Networks (CNNs), a type of deep learning technique, in the classification of breast histopathology images to identify breast cancer. The goal is to utilize the capabilities of deep learning techniques to improve the performance of Breast Histopathological Image Analysis (BHIA). The study seeks to enhance the accuracy of breast cancer diagnosis by enhancing precision and objectivity in the analysis.

2. Material and Methods

This section thoroughly explored the essential elements necessary for creating a proficient deep learning model for the classification of breast cancer in histopathologic images. The exploration commences by introducing the dataset. This section presents the cutting-edge deep learning models that have been proposed in this study. Subsequently, the provided CNN method, specifically tailored for breast cancer categorization, is outlined. Finally, the performance metrics are presented.

2.1. Dataset Description

This study employed the BreakHis dataset, a publically available compilation of histopathological images specifically designed for the examination of breast cancer. The dataset, referred to as the Breast Cancer Histopathological Images dataset, comprises microscopic biopsy images of both benign and malignant breast tumors (Spanhol et al., 2015). The images were acquired as part of a clinical study conducted from January to December 2014 at the P&D Lab in Brazil. The study involved individuals with clinical indications of breast cancer. Institutional review board approval was secured, and all participants provided written informed consent, ensuring their personal information was anonymized to protect privacy. The dataset consists of 9709 pictures gathered by pathologists through surgical (open) biopsy and labeled for histological analysis and is categorized into two classes: benign and malignant, with 2,480 benign samples and 5,429 malignant samples. This classification aids in detailed analysis and model training. Table 1 provides detailed information about the dataset distribution, offering insights into the number of samples in each category. Additionally, Figure 1 showcases representative examples of the histopathological images, illustrating the variety and complexity of the images used in the study.

2.1.1. Data preprocessing

During the preprocessing step, the original 700x460 images were resized to meet the input requirements of various pre-trained deep neural networks used in this study. The images were resized to 224x224x3 for ResNet-50 and GoogleNet, 227x227x3 for SqueezeNet, and 256x256x3 for DarkNet-19. For the proposed method, the images were resized to 64x64x3. This resizing ensured compatibility with the input size constraints of each network, enabling efficient processing while preserving essential diagnostic features. Adjusting the image sizes was crucial for maintaining the performance and applicability of each neural network model.

Table 1. Dataset Distribution by magnification factors and classes

Magnification factor	Benign	Malignant	Total
40 X	625	1370	1995
100 X	644	1437	2081
200 X	623	1390	2013
400 X	588	1232	1820
Total	2480	5429	7909
Pateints	24	58	82

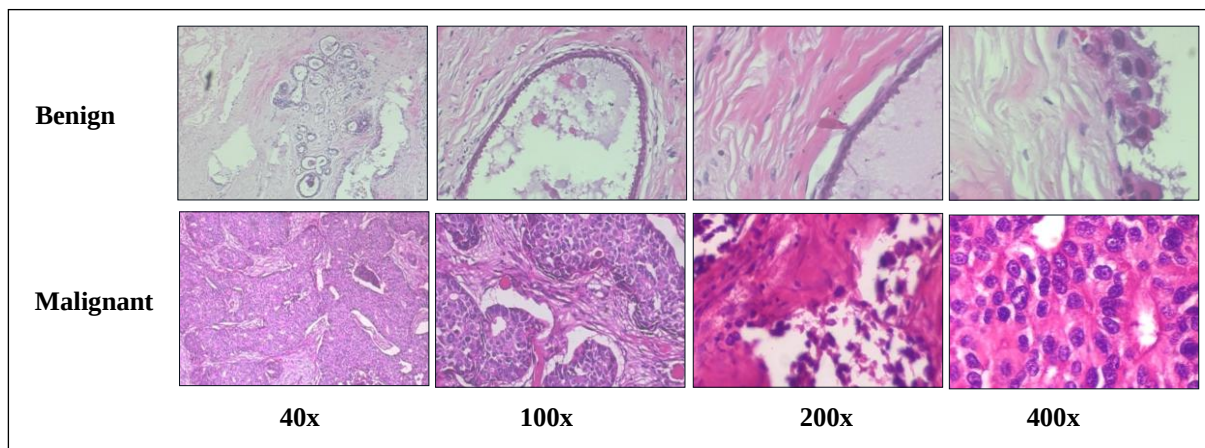


Figure 1. Histopathological image samples of BreakHis dataset.

2.2. State-of-the-art models

Four renowned CNN models were utilized in this study. The selection of these models was based on their extensive usage and exceptional precision in various image classification tasks. The aim is to achieve a harmonious equilibrium between minimizing the number of parameters and acceptable accuracy. The main objective was to attain a high level of accuracy while maintaining a compact model size for the categorization of histopathologic images. To obtain comprehensive information regarding the image input size, model layers, and parameter counts for each model, please refer to Table 2. By elucidating the attributes and details of these models, it gets more straightforward to appreciate them and evaluate their appropriateness for a certain categorization task.

In 2016, [Iandola et al. \(2016\)](#) developed SqueezeNet, an 18-depth deep learning network. Model architecture maximizes efficiency while minimizing parameters and model size. The model starts with a single convolution layer, conv1, and goes through eight fire modules, fire 2-9. Every fire module has a squeeze convolution layer with 1x1 filters and an expanded layer with 1x1 and 3x3 filters. As filters grow, the network's feature extractions improve. To keep a broad activation map and ensure high accuracy, max-pooling with a stride of 2 is used after conv1, fire4, fire8, and conv10.

GoogLeNet, introduced by [Szegedy et al. \(2015\)](#), is a deep learning model with 22 depths (or 27 depths with pooling). This architecture, which appeared in the ILSVRC 2014 competition, is a customized version of the Inception framework. Despite attempts to expand the Inception network, only minor advances were seen, prompting a concentration on the basic design. The network is made up of around 100 distinct construction components, which vary depending on the layer enumeration inside the machine learning architecture. The figure shows GoogLeNet's layered structure and architecture.

ResNet-50 ([Hong et al., 2019](#)) is a 50-layer deep learning model that has been extensively trained on ImageNet. Its main feature, residual learning, tackles degradation difficulties in deep networks. The architecture uses convolutional blocks with a "bottleneck" design for computational efficiency and skip connections to improve information flow. ResNet-50 processes RGB images of size 224x224, gradually reducing spatial dimensions through different layers to a 1x1 output before finishing with a softmax layer for classification.

Darknet-19 ([Sankari et al., 2023](#)) is a robust pre-trained network based on the YOLOv2 model that has 19 convolutional layers and five max pooling layers. It predominantly employs 3x3 filters, which double the number of channels following each max pooling layer. The architecture generates 8x8 features, which are then processed by a GAP layer for prediction and feature compression. Darknet-19 implements batch normalization for faster convergence and model regularization, as well as a classification layer with two neurons in place of the softmax layer.

Table 2. An overview of pre-trained models and their parameters

Model	Input size	Layers (depth)	Parameters
SqueezeNet	227x227	64(18)	1.24 M
GoogleNet	224x224	144(22)	7 M
ResNet-50	224x224	177(50)	25.6 M
DarkNet-19	256x256	64(19)	20.8 M

2.3. Proposed method

In the proposed method section, four well-known state-of-the-art models are utilized alongside the proposed CNN model for binary classification from histopathological images. Figure 2 shows the diagram of these models. The flowchart starts by providing the BreakHis dataset, followed by image preprocessing where the image is resized to the appropriate dimensions for each model. The preprocessed images extracted features are then inputted into the feature layers of their respective models. The feature outputs are passed through the softmax layer for classification, ultimately identifying images as either benign or malignant.

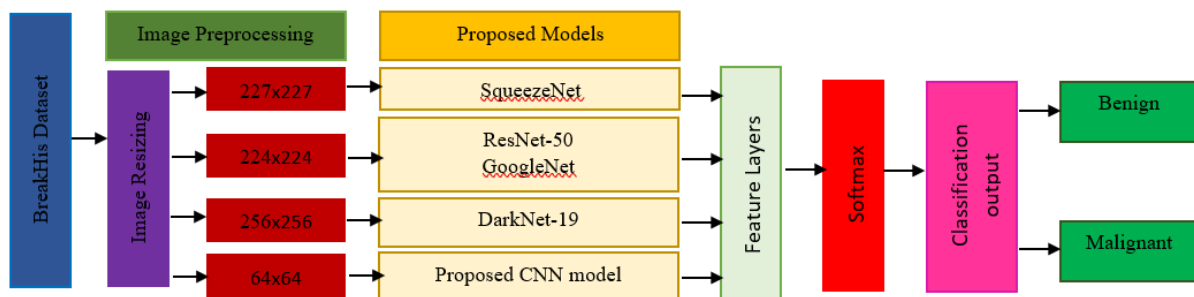


Figure 2. Proposed method diagram.

2.3.1. Proposed CNN model

The provided (CNN) architecture is designed for image classification tasks, specifically to distinguish between benign and malignant images in the BreakHis dataset. The proposed CNN has 23

layers, which include input, convolutional, ReLU, batch normalization, pooling, fully connected, dropout, and softmax layers. Images are resized to 64x64 and sent through various convolutional layers that include batch normalization, ReLU activation, and pooling. The architecture features 198 filters (3x3) in the first convolutional layer with max-pooling (6x6, stride 2), 209 filters (3x3) in the second convolutional layer with max-pooling (6x6, stride 2), 244 filters (3x3) in the third convolutional layer with average pooling (3x3, stride 2), and 256 filters (3x3) in the fourth convolutional layer with max-pooling (6x6, stride 2). The final layers consist of a fully connected (FC) layer with 512 units and ReLU activation, followed by a dropout layer with a rate of 0.2. The purpose of the dropout layer is to prevent overfitting by randomly deactivating neurons during training, as explained (Wu & Gu, 2015). After the dropout layer, there is another fully connected (FC) layer with 2 units, and finally, a softmax layer with 2 neurons for classification, as illustrated in Figure 3. The proposed CNN method involves approximately 1.5 million parameters in total. For a detailed breakdown of these parameters, please refer to Table 3.



Figure 3. Proposed CNN model.

Table 3. Parameter values of each layer in the proposed model

Layer No.	Layer name	Output	Filter No.	Filter size	Stride No.	Learnable properties	No. of Parameters
1	Input layer	64x64x3	-	-	-	-	0
2	Conv2D-1	64x64x198	198	3x3	1x1	3x3x3x198	5 544
3	Batchnorm-1	64x64x198	-	-	-	1x1x198	396
4	Relu-1	64x64x198	-	-	-	-	0
5	Maxpool-1	30x30x198	-	6x6	2x2	-	0
6	Conv2D-2	30x30x209	209	3x3	1x1	3x3x198x209	372 647
7	Batchnorm-2	30x30x209	-	-	-	1x1x209	418
8	Relu-2	30x30x209	-	-	-	-	0
9	Maxpool-2	13x13x209	-	6x6	2x2	-	0
10	Conv2D-3	13x13x244	244	3x3	1x1	3x3x209x244	459 208
11	Batchnorm-3	13x13x244	-	-	-	1x1x244	488
12	Relu-3	13x13x244	-	-	-	-	0
13	Avgpool2D	6x6x244	-	3x3	2x2	-	0
14	Conv2D-4	6x6x256	256	3x3	1x1	3x3x244x256	562 432
15	Batchnorm-4	6x6x256	-	-	-	1x1x256	512
16	Relu-4	6x6x256	-	-	-	-	0
17	Maxpool-3	1x1x256	-	6x6	2x2	-	0
18	FC-1	1x1x512	-	-	-	512x256	131 584
19	Relu-5	1x1x512	-	-	-	-	0
20	Dropout (0.2)	1x1x512	-	-	-	-	0
21	FC-2	1x1x2	-	-	-	2x512	1 026
22	Softmax	1x1x2	-	-	-	-	0
23	Classoutput	1x1x2	-	-	-	-	0
Total 1.5M							

2.4. Performance criteria

Different measurements are utilized to assess the performance of deep learning models. Various learning tasks may necessitate distinctive execution measurements to be emphasized. The classification performance of a model was evaluated using a confusion matrix too in this study. This

tool, often referred to as an error matrix, is a table representation that provides a concise summary of the effectiveness of a classification or prediction model (Deng et al., 2016).

Accuracy is a commonly used evaluation metric that is often used alongside the confusion matrix. It measures the proportion of properly identified images out of the total number of evaluated images. Equation 1 represents the classification of this metric in binary classification, taking into account the number of true positives (TP) and true negatives (TN) (Gupta & Chawla, 2020).

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)} \times 100 \quad (1)$$

To obtain a more comprehensive evaluation of the model's performance, we employed other assessment measures such as precision, recall, and F1-score (Ali et al., 2021).

Precision: is a measure that calculates the proportion of accurately predicted positive outcomes compared to the total number of predicted positive outcomes made by the classifier. Equation 2 represents this metric (Ali et al., 2021).

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (2)$$

Recall: this metric as defined in Equation 3, quantifies the accuracy of properly identifying true positive findings out of all the actual positive samples (Ali et al., 2021).

$$\text{Recall} = \frac{TP}{FN+TP} \times 100 \quad (3)$$

F1-Score: F1-score: Also referred to as the harmonic mean, balances precision and recall. It accounts for both false positives and false negatives in its calculation, making it especially useful for evaluating performance on imbalanced datasets. Equation (4) represented the f1-score metric.

$$F1 = 2 * \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \times 100 \quad (4)$$

3. Results and Discussion

This section presents the proposed CNN model, the results of state-of-the-art models, a comparison of competitors, the computational complexity of models, and previous studies. The experiment was carried out on a Windows 11 Pro 64-bit OS (version 23H2) using MATLAB R2023a. The system consisted of an Intel Core i7-8850H CPU @ 2.60 GHz (12 CPUs), 16GB DDR4 RAM, and a 500GB SSD. Deep learning computations were enhanced by an NVIDIA GeForce RTX 1050 GPU with 4GB of dedicated RAM.

3.1 Results of the proposed CNN model

The training parameters utilized by the proposed CNN model are as follows: Adam is the optimizer algorithm used, and training is performed on a GPU. The mini-batch size is set to 64, and the initial learning rate is 0.001. The learning rate schedule is piecewise, with a drop factor of 0.1 per ten epochs. The total number of epochs is 40. Shuffling occurs every epoch, and the validation frequency is set to 50. Furthermore, L2 regularization with a value of 0.001. Furthermore, in this study, the dataset was divided into two parts for experimentation. The division of the dataset was not based on random selection. Specifically, 80% of the data was allocated for training and 20% for testing. Figure 4 presents the results obtained by the proposed CNN model in terms of accuracy, recall, precision, and F1-score across all magnification factors. From the figure, we can see that the proposed CNN achieved accuracies of 97.49%, 97.60%, 97.77%, and 94.78 for magnification factors 40x, 100x, 200x, and 400x, respectively.

3.2. Results of state-of-the-art models

In this section, the results obtained from four deep-learning CNN-based models are presented. Figure 5 displays the achieved results of four deep learning models, including SqueezeNet,

GoogleNet, ResNet-50, and DarkNet-19, evaluated in terms of accuracy, recall, precision, and F1-score. The figure illustrates a comprehensive performance comparison across different magnification factors. From the analysis presented in Figure 5, it is observed that ResNet-50 outperforms all other models in terms of accuracy across all magnification factors. Specifically, ResNet-50 achieves an accuracy rate of 96.99%, 98.56%, 96.53%, and 96.43% at magnifications of 40x, 100x, 200x, and 400x, respectively. These results underscore ResNet-50's superior capability in accurately classifying histopathologic images of breast cancer.

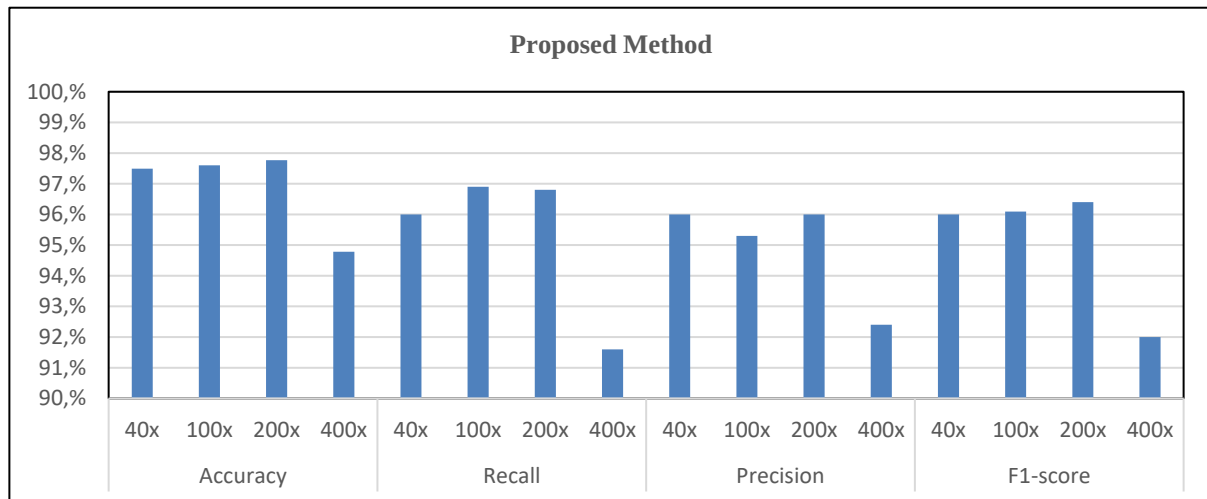


Figure 4. Performance metrics of the proposed CNN model across different magnifications.

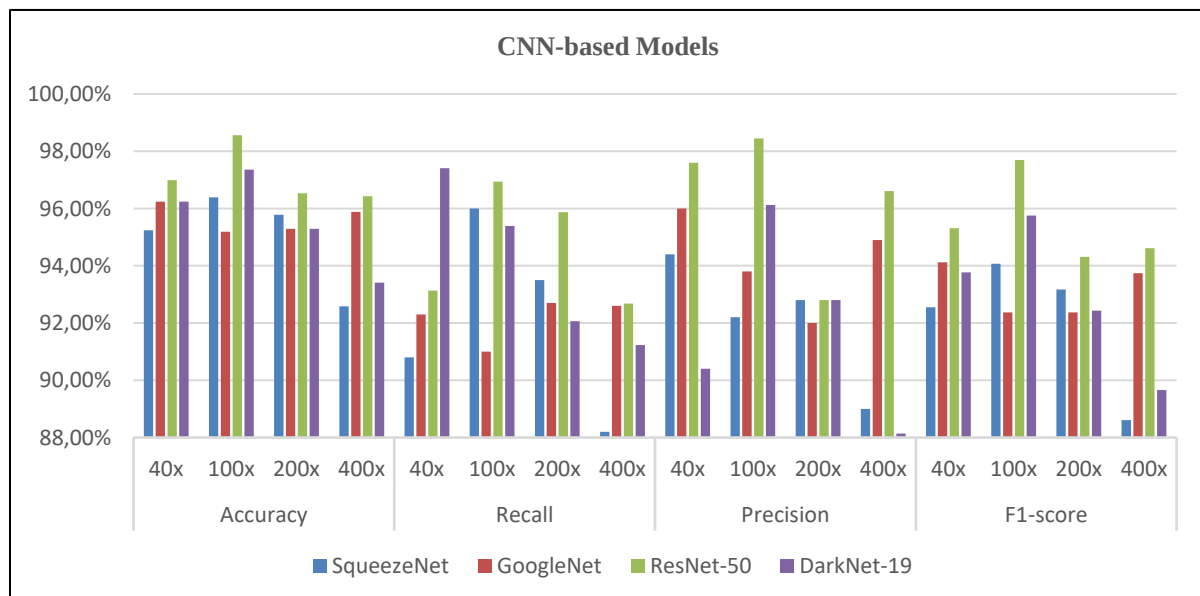


Figure 5. State-of-the-art performance metrics across different magnifications.

3.3. Comparison of competitors

The results obtained from the application of renowned deep learning models, including Sequezenet, GoogleNet, ResNet-50, DarkNet-19, and the proposed CNN model, are presented. Each model's performance is assessed based on accuracy metrics and confusion matrices. A comparison was conducted to demonstrate the performance of the proposed CNN model against established models such as Sequezenet, GoogleNet, ResNet-50, and DarkNet-19. This comparison included various evaluation metrics: accuracy, precision, recall, and F1-score. The objective is to evaluate the strengths and weaknesses of each approach in breast cancer classification by analyzing their respective outcomes. Figure 6 displays the confusion matrices for all the models. Table 4 provides a summary of the results obtained by the different models on the BreakHis dataset, considering four magnification factors, in terms of accuracy, precision, recall, and F1-score.

Summarizing the results of the proposed models, the proposed CNN model demonstrated superior accuracy rates across magnification factors 40x and 200x, achieving accuracies of 97.49% and 97.77%. Additionally, ResNet-50 exhibited a notable accuracy of 98.56% and 96.43% at a magnification factor of 100x and 400x. Turning to recall, precision, and F1-score, DarkNet-19 obtained the highest recall of 97.41% at a magnification factor of 40x, while ResNet-50 yielded the highest recall of 96.94% and 92.68% at a magnification factor of 100x and 400x. The proposed CNN model outperformed other models in the recall at magnification factors of 200x achieving 96.80%. Furthermore, ResNet-50 demonstrated the highest precision rates at magnification factors of 40x, 100x, and 400x with rates of 97.60%, 98.45%, and 96.61% respectively, while the proposed CNN model exhibited precision rates of 96% at magnification factors of 200x. In terms of the F1-score, the proposed CNN model achieved the highest rates at magnification factors 40x and 200x, with scores of 96% and 96.40%, whereas ResNet-50 attained a score of 97.69% and 94.61% at a magnification factor of 100x and 400x.

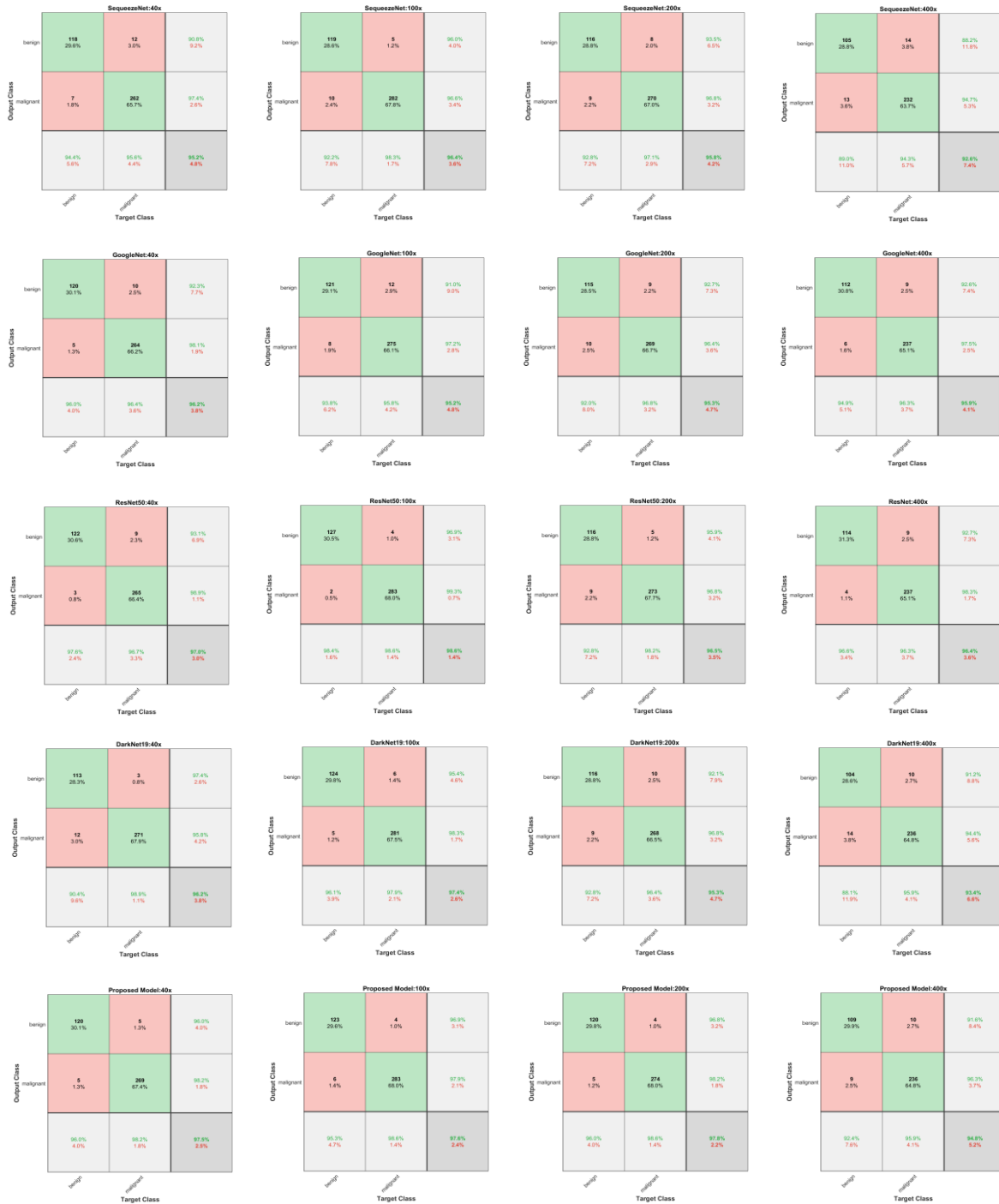


Figure 6. Confusion matrices for models.

Table 4. Models comparison at various magnifications

Magnification factor	SqueezeNet	GoogleNet	ResNet-50	DarkNet-19	Proposed CNN	
Accuracy	40x	95.24%	96.24%	96.99%	96.24%	97.49%
	100x	96.39%	95.19%	98.56%	97.36%	97.60%
	200x	95.78%	95.29%	96.53%	95.29%	97.77%
	400x	92.58%	95.88%	96.43%	93.41%	94.78%
Recall	40x	90.80%	92.30%	93.13%	97.41%	96.00%
	100x	96.00%	91.00%	96.94%	95.39%	96.90%
	200x	93.50%	92.70%	95.87%	92.06%	96.80%
	400x	88.20%	92.60%	92.68%	91.23%	91.60%
Precision	40x	94.40%	96.00%	97.60%	90.40%	96.00%
	100x	92.20%	93.80%	98.45%	96.12%	95.30%
	200x	92.80%	92.00%	92.80%	92.80%	96.00%
	400x	89.00%	94.90%	96.61%	88.14%	92.40%
F1-score	40x	92.55%	94.12%	95.31%	93.77%	96.00%
	100x	94.07%	92.37%	97.69%	95.75%	96.09%
	200x	93.17%	92.37%	94.31%	92.43%	96.40%
	400x	88.61%	93.74%	94.61%	89.66%	92.00%

3.4. Computational complexity comparison of the proposed models

This study examined the computational complexity of different deep learning methods. Table 5 displays a comprehensive study of several elements, including training and testing time, the overall number of parameters, and the number of layers. The proposed method showed superior efficiency compared to all other models when comparing the periods of training and testing, resulting in a shorter overall workflow duration.

The proposed CNN method scored second regarding parameter count, with around 1.5 million parameters. Significantly, out of all the models, SqueezeNet had a lower number of parameters, which makes the suggested CNN approach a noteworthy choice in terms of computational robustness. Nevertheless, despite its commendable parameter efficiency, SqueezeNet's performance was shown to be subpar in comparison to other models. This suggests that SqueezeNet may have difficulties in effectively understanding and categorizing input, highlighting the importance of finding a balance between parameter economy and predictive accuracy.

Furthermore, the simplified architecture of the CNN model, which consists of a reduced number of layers, is particularly notable. This architectural modification improves both computing efficiency and accelerates the training process. The decreased number of layers enables the model to extract significant features from the dataset with greater efficiency, resulting in accelerated training durations and enhanced overall performance. Hence, the CNN model provided successful capability, rendering it a resilient and effective tool for analyzing histopathological images of breast cancer. The equilibrium is essential for constructing models that are simultaneously precise and viable for implementation on computers with restricted hardware capacities.

Table 5. Computational complexity comparison of the proposed models

Models	Training time / Second				Testing time (image/second)				Total number of parameters	Layer numbers (depth)
Magnification factors	40x	100x	200x	400x	40x	100x	200x	400x		
SqueezeNet	964	1035	1015	875	0.00203	0.00303	0.00251	0.00201	723K	68(18)
GoogleNet	2333	2429	2304	2067	0.00531	0.00578	0.00528	0.00526	5.9M	144(22)
ResNet-50	10126	10892	10559	9268	0.01182	0.01302	0.01191	0.01192	23.5M	177(50)
MobileNet-V2	7179	7731	7456	6574	0.00964	0.01001	0.00918	0.00945	2.2M	154(53)
DarkNet-19	8649	9498	9139	7837	0.01262	0.01229	0.012121	0.12074	19.8M	64(19)
Proposed CNN	684	780	710	631	0.00123	0.00121	0.00118	0.00138	1.5M	23(11)

3.5. Comparative analysis with prior research

The proposed study conducted a comparative analysis of its results to previous research, focusing on accuracy metrics. This study utilized the BreakHis dataset and binary classification. Furthermore, take into account that the comparison was done at the image level, not the patient level, using the binary classification method. Table 6 compares the CNN architecture proposed in this work to other CNN-based methods used in previous studies.

Table 6. Comparative analysis of the proposed methodology to prior research

References	Method	Data Augmentation	40x	100x	200x	400x
(Alom et al., 2019)	IRRCNN	Yes	97.95%	97.57%	97.32%	97.36%
(Budak & Güzel, 2020)	Texture and Color fusion+SVM	No	98.20%	97.20%	97.80%	97.30%
(Burçak et al., 2021)	HCNN	No	96%	99%	97%	96%
(Boumaraf et al., 2021b)	Fine-tuned ResNet-18 with GCN	Yes	99.25%	99.04%	99%	98.08%
(Boumaraf et al., 2021a)	Block-wise fine-tuned VGG	Yes	98.13%	97.39%	96.63%	94.05%
(Wang et al., 2021)	Deep feature integration+ enhanced routing	No	92.71%	94.52%	94.03%	93.54%
(Gupta et al., 2021)	Modified ResNet	Yes	99.11%	99.52%	98.74	
(Kallipolitis et al., 2021)	Ensemble deep learning with EfficientNets	Yes	98.66%	98.24%	98.59%	96.97%
(Sharma & Kumar, 2022)	Xception+SVM R,5	No	96.25%	96.25%	95.74%	94.11%
(Joseph et al., 2022)	Hybrid feature extraction with DNN	Yes	97.89%	97.60%	96.10%	96.84%
(Chattopadhyay et al., 2022b)	DRDA-Net	No	95.72%	94.41%	97.43%	96.84%
(Krishna et al., 2023)	Interpretable CNN+ABN	Yes	98.40%	98.60%	98.70%	97.80%
(Zerouaoui & Idri, 2022)	28 hybrid architecture+ 4 classifier	Yes	92.61%	92%	93.93%	91.73%
(Chattopadhyay et al., 2022a)	MTTRE-Net	Yes	97.12%	95.22%	96.85%	97.81%
(Zhou et al., 2022)	ADSVM+RANet	Yes	94.43%	98.31%	99.14%	93.35%
(Kashyap, 2022)	SDRG	Yes	98.41%	98.37%	96.26%	97.38%
(Nadr & İnik, 2023)	CNN architecture	No	-	92.70%	-	-
(Addo et al., 2024)	BCHI-CovNet	Yes	99.15%	99.08%	99.22%	98.87%
(Li et al., 2024)	MDAA	Yes	95.42%	93.79%	94.87%	97.08%
Proposed Method	CNN	No	97.49%	97.60%	97.77%	94.78%

This analysis examines patterns, appraises progress, and analyzes the efficacy of our model within the wider framework of breast cancer classification approaches. The examination and comparison specifically utilized prior work that employed the BreakHis dataset for binary classification. This decision maintained uniformity and impartiality, enabling a precise evaluation of the performance of the suggested approach in comparison to other models under identical dataset settings. The comparison aims to provide a meaningful evaluation of the model's efficacy in diagnosing breast cancer by just focusing on the BreakHis dataset.

After conducting a comprehensive analysis, it was discovered that the proposed CNN model exhibited different accuracy rates in comparison to other approaches, showcasing a competitive performance even in the absence of data augmentation strategies. Data augmentation is an essential process in deep learning that involves intentionally expanding the quantity and diversity of the training dataset to improve the performance of deep neural networks (Motlagh et al., 2018). This is especially significant in medical imaging, as the quantity of accessible images may be restricted, and fluctuations in the dataset are vital for training resilient models. Data augmentation plays a crucial role in training the CNN model efficiently, primarily because of the disparities in the quantity of images across various subtypes of breast cancer. It enhances the model's ability to apply its learned knowledge to new, unfamiliar data and prevents it from becoming too specialized to the training data. While several techniques in the table were enhanced by data augmentation, which can greatly enhance the performance of the model, the CNN model obtained impressive accuracy rates even without utilizing it. This emphasizes the model's effective exploitation of available data to uphold competitive levels of accuracy.

Therefore, the fact that the CNN model can achieve good performance with data augmentation highlights its resilience and the effectiveness of its architecture and training procedure. In comparison to experiments that did not utilize data augmentation, the CNN model earned the third-highest accuracy rate. Thus, the suggested CNN model demonstrated its practical applicability in breast cancer diagnosis, even without the use of data augmentation, which may not always be possible.

4. Discussion

Classifying and categorizing breast cancer is a challenging and time-consuming procedure. When it comes to detecting breast cancer, radiologists commonly rely on mammography pictures to identify malignant tumors. Nevertheless, there is an inherent possibility of human mistakes. To tackle this problem, deep learning (DL) and machine learning (ML) algorithms have been employed to precisely categorize breast cancer and other internal irregularities. Both machine learning techniques and deep learning models are frequently used in this domain. Deep learning models were employed in this methodology. Subsequently, the suggested model underwent evaluation comparison with four cutting-edge models regarding performance metrics and computational complexity. In addition, the new approach was compared to other existing studies.

Upon analyzing the data shown in Table 4 and Table 5, some significant insights can be made when comparing the proposed method CNN model with established deep learning architectures. The CNN model exhibits both exceptional performance and extraordinary adaptability across different magnification factors. This is corroborated by its strong accuracy measures, such as elevated precision, recall, and F1-score values, which demonstrate its dependability and efficacy in breast cancer classification tasks. Although it stood at the second number of parameters and only higher than the SqueezeNet model, the model's simplified structure highlights its computing efficiency. This efficiency is especially beneficial as it results in considerably quicker training and testing durations in comparison to other intricate models. This element is vital in actual applications where computational resources and temporal constraints are frequently encountered. Furthermore, the CNN model being offered is notable for its simplicity, since it possesses an approach that not only enhances its computational speed but also indicates a possible decreased risk of overfitting due to the reduced complexity. The proposed CNN model demonstrates its strengths in competitive performance, versatility across magnifications, robust accuracy metrics, computational efficiency, and a streamlined architecture. These factors highlight its potential for practical implementation in the field of histopathological image analysis for breast cancer classification.

Additionally, after carefully analyzing the previous studies listed in Table 6, we observed that Addo et al. (2024) achieved the highest level of accuracy when using magnification factors of 200x and 400x. On the other hand, Boumaraf et al. (2021b) and Gupta et al. (2021) attained the highest accuracy at magnification factors of 40x and 100x, respectively. Although the proposed method's accuracy results are close to those of the previous research, it is noteworthy that the CNN model has substantially fewer parameters. This feature not only enables our model to generate impressive outcomes without requiring a large number of hardware resources but also highlights its computational efficiency, making it a viable choice for real-world applications. Furthermore, the model's ability to withstand and recover from challenges is demonstrated when compared to previous research, since it continually achieved competitive levels of accuracy even without the implementation of data augmentation approaches. The resilience demonstrated by our model indicates that it possesses intrinsic robustness and adaptability to various datasets, hence minimizing the need for pre-processing processes that may be necessary for other models. Therefore, the adaptability and effectiveness of this model suggest that it has the potential to be easily incorporated into clinical processes, which often involve heterogeneous data and limited computational resources. Our CNN model's capacity to consistently and effectively perform well across different levels of magnification and datasets establishes it as a valuable tool for analyzing histopathologic images in the classification of breast cancer.

4.1. Conclusion

This study aimed to improve breast cancer classification using deep learning techniques. Various neural network architectures, including SqueezeNet, GoogleNet, ResNet-50, DarkNet-19, MobileNet-V2, and a custom CNN model designed for binary classification of breast cancer, were used to address the need for better diagnostic tools in breast cancer pathology. Promising results were obtained from experiments conducted on the Breast Cancer Histopathological database (BreakHis), with the custom CNN model performing exceptionally well, achieving accuracies of 97.49% and 97.77% at magnifications of 40x and 200x, respectively. The custom CNN model also showed the highest recall at a magnification factor of 200x. It is worth noting that the proposed method achieved a high precision rate at a magnification factor of 200x and the highest F1-score at 40x and 200x magnification. Furthermore, the proposed CNN model demonstrated efficient training and computational capabilities, with fewer layers compared to other models. Although SqueezeNet, GoogleNet, ResNet-50, and DarkNet-19 were evaluated in this study, the primary focus was on showcasing the performance of the custom CNN model.

One limitation observed in this study is the relatively small size of the dataset, which consisted of 7,909 images. While it provided valuable insights into breast cancer classification, the limited size of the dataset may hinder the generalizability of the findings to larger populations. The limited sample size may hinder the model's capacity to accurately represent the complete spectrum of histopathological variations and tumor features observed in real-world clinical settings. The lack of data augmentation tools increased this challenge by limiting the variety and inclusiveness of the training data. To overcome this constraint and improve the reliability and applicability of breast cancer classification models future research takes into account the utilization of larger and more varied datasets, in addition to implementing data augmentation techniques. Additional suggestions involve investigating innovative architectures and enhancing training techniques. Through persistent innovation in this field, we can boost the precision of diagnoses and ultimately improve the results for people suffering from breast cancer.

References

- Addo, D., Zhou, S., Sarpong, K., Nartey, O. T., Abdullah, M. A., Ukwuoma, C. C., & Al-antari, M. A. (2024). A hybrid lightweight breast cancer classification framework using the histopathological images. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 44(1), 31-54. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2023.12.003>
- Ali, M. S., Miah, M. S., Haque, J., Rahman, M. M., & Islam, M. K. (2021). An enhanced technique of skin cancer classification using deep convolutional neural network with transfer learning

- models. *Machine Learning with Applications*, 5, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100036>
- Alom, M. Z., Yakopcic, C., Nasrin, M. S., Taha, T. M., & Asari, V. K. (2019). Breast cancer classification from histopathological images with inception recurrent residual convolutional neural network. *Journal of Digital Imaging*, 32, 605-617. <https://doi.org/10.1007/s10278-019-00182-7>
- Arnold, M., Morgan, E., Rumgay, H., Mafra, A., Singh, D., Laversanne, M., Vignat, J., Gralow, J. R., Cardoso, F., & Siesling, S. (2022). Current and future burden of breast cancer: Global statistics for 2020 and 2040. *The Breast*, 66, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2022.08.010>
- Boumaraf, S., Liu, X., Wan, Y., Zheng, Z., Ferkous, C., Ma, X., Li, Z., & Bardou, D. (2021a). Conventional machine learning versus deep learning for magnification dependent histopathological breast cancer image classification: A comparative study with visual explanation. *Diagnostics*, 11(3), 528. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030528>
- Boumaraf, S., Liu, X., Zheng, Z., Ma, X., & Ferkous, C. (2021b). A new transfer learning based approach to magnification dependent and independent classification of breast cancer in histopathological images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 63, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102192>
- Brown, J. S., Amend, S. R., Austin, R. H., Gatenby, R. A., Hammarlund, E. U., & Pienta, K. J. (2023). Updating the definition of cancer. *Molecular Cancer Research*, 21(11), 1142-1147. <https://doi.org/10.1158/1541-7786.MCR-23-0411>
- Budak, Ü., & Güzel, A. (2020). Automatic grading system for diagnosis of breast cancer exploiting co-occurrence shearlet transform and histogram features. *IRBM*, 41(2), 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.02.001>
- Burçak, K. C., Baykan, Ö. K., & Uğuz, H. (2021). A new deep convolutional neural network model for classifying breast cancer histopathological images and the hyperparameter optimisation of the proposed model. *The Journal of Supercomputing*, 77(1), 973-989. <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03321-y>
- Chattopadhyay, S., Dey, A., Singh, P. K., Oliva, D., Cuevas, E., & Sarkar, R. (2022a). MTRRE-Net: A deep learning model for detection of breast cancer from histopathological images. *Computers in Biology and Medicine*, 150, 106155. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.106155>
- Chattopadhyay, S., Dey, A., Singh, P. K., & Sarkar, R. (2022b). DRDA-Net: Dense residual dual-shuffle attention network for breast cancer classification using histopathological images. *Computers in Biology and Medicine*, 145, 105437. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.105437>
- Das, P. K., Meher, S., Panda, R., & Abraham, A. (2019). A review of automated methods for the detection of sickle cell disease. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 13, 309-324. <https://doi.org/10.1109/RBME.2019.2917780>
- Deng, X., Liu, Q., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2016). An improved method to construct basic probability assignment based on the confusion matrix for classification problem. *Information Sciences*, 340, 250-261. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.01.033>
- Gupta, K., & Chawla, N. (2020). Analysis of histopathological images for prediction of breast cancer using traditional classifiers with pre-trained CNN. *Procedia Computer Science*, 167, 878-889. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.427>
- Gupta, V., Vasudev, M., Doegar, A., & Sambyal, N. (2021). Breast cancer detection from histopathology images using modified residual neural networks. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 41(4), 1272-1287. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2021.08.011>
- Hong, J., Cheng, H., Zhang, Y.-D., & Liu, J. (2019). Detecting cerebral microbleeds with transfer learning. *Machine Vision and Applications*, 30(7), 1123-1133. <https://doi.org/10.1007/s00138-019-01029-5>
- Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size. *arXiv preprint arXiv:1602.07360*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1602.07360>

- Inik, Ö., Balcioglu, E., Ceyhan, A., & Ülker, E. (2019). Using convolution neural network for classification of different tissue images in histological sections. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 17(1), 101-104.
- Joseph, A. A., Abdullahi, M., Junaidu, S. B., Ibrahim, H. H., & Chiroma, H. (2022). Improved multi-classification of breast cancer histopathological images using handcrafted features and deep neural network (dense layer). *Intelligent Systems with Applications*, 14, 200066. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200066>
- Kallipolitis, A., Revelos, K., & Maglogiannis, I. (2021). Ensembling EfficientNets for the classification and interpretation of histopathology images. *Algorithms*, 14(10), 278. <https://doi.org/10.3390/a14100278>
- Kashyap, R. (2022). Breast cancer histopathological image classification using stochastic dilated residual ghost model. *International Journal of Information Retrieval Research (IJIRR)*, 12(1), 1-24. <http://dx.doi.org/10.4018/IJIRR.289655>
- Krishna, S., Suganthi, S., Bhavsar, A., Yesodharan, J., & Krishnamoorthy, S. (2023). An interpretable decision-support model for breast cancer diagnosis using histopathology images. *Journal of Pathology Informatics*, 14, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.jpi.2023.100319>
- Li, W., Long, H., Zhan, X., & Wu, Y. (2024). MDAA: multi-scale and dual-adaptive attention network for breast cancer classification. *Signal, Image and Video Processing*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11760-023-02976-3>
- Motlagh, M. H., Jannesari, M., Aboulkheyr, H., Khosravi, P., Elemento, O., Totonchi, M., & Hajirasouliha, I. (2018). Breast cancer histopathological image classification: A deep learning approach. *BioRxiv*, 242818. <https://doi.org/10.1101/242818>
- Nadr, K., & İnik, Ö. (2023, June). *Development of an effective deep learning model for breast cancer classification in histopathologic images*. 11th International Congress on Engineering, Architecture and Design, İstanbul, Türkiye.
- Sadique, F. L., Subramaiam, H., Krishnappa, P., Chellappan, D. K., & Ma, J. H. (2024). Recent advances in breast cancer metastasis with special emphasis on metastasis to the brain. *Pathology-Research and Practice*, 260, 155378. <https://doi.org/10.1016/j.prp.2024.155378>
- Sakib, S., Ahmed, N., Kabir, A. J., & Ahmed, H. (2019). An overview of convolutional neural network: Its architecture and applications. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints201811.0546.v4>
- Sankari, V. M. R., Umapathy, U., Alasmari, S., & Aslam, S. M. (2023). Automated detection of retinopathy of prematurity using quantum machine learning and deep learning techniques. *IEEE Access*, 11, 94306-94321. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3311346>
- Sharma, S., & Kumar, S. (2022). The Xception model: A potential feature extractor in breast cancer histology images classification. *ICT Express*, 8(1), 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.11.010>
- Spanhol, F. A., Oliveira, L. S., Petitjean, C., & Heutte, L. (2015). A dataset for breast cancer histopathological image classification. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering*, 63(7), 1455-1462. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2496264>
- Suzuki, K. (2017). Overview of deep learning in medical imaging. *Radiological Physics and Technology*, 10(3), 257-273. <https://doi.org/10.1007/s12194-017-0406-5>
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). *Going deeper with convolutions*. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Wang, P., Wang, J., Li, Y., Li, P., Li, L., & Jiang, M. (2021). Automatic classification of breast cancer histopathological images based on deep feature fusion and enhanced routing. *Biomedical Signal Processing and Control*, 65, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102341>
- WHO. (2024). Breast Cancer. World Health Organization. Access Date: 15.05.2024. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>
- Wu, H., & Gu, X. (2015). Towards dropout training for convolutional neural networks. *Neural Networks*, 71, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2015.07.007>
- Zerouaoui, H., Alaoui, O. E., & Idri, A. (2024). New design strategies of deep heterogenous convolutional neural networks ensembles for breast cancer diagnosis. *Multimedia Tools and Applications*, 83, 1-32. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18002-0>

- Zerouaoui, H., & Idri, A. (2022). Deep hybrid architectures for binary classification of medical breast cancer images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103226. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103226>
- Zhou, Y., Zhang, C., & Gao, S. (2022). Breast cancer classification from histopathological images using resolution adaptive network. *IEEE Access*, 10, 35977-35991. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3163822>



Research Article

Machine Learning Approach for Emotion Identification and Classification in Bitcoin Sentiment Analysis

Erol KINA^{*1}, Emre BİÇEK²

¹Van Yüzüncü Yıl University, Özalp Vocational School, Computer Science Department, 65800, Van, Turkey

²Van Yüzüncü Yıl University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 65100, Van, Turkey

Erol KINA, ORCID No: 0000-0002-7785-646X, Emre BİÇEK, ORCID No: 0000-0001-6061-9372

*Corresponding author e-mail: erolkina@yyu.edu.tr

Article Info

Received: 13.08.2024

Accepted: 23.09.2024

Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1532649](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1532649)

Keywords

Algorithms,
Bitcoin,
Machine learning,
NLP,
Sentiment analysis

Abstract: Bitcoin is the most valuable cryptocurrency and is renowned for its rapid and volatile price fluctuations in comparison to other currencies. This offers potential for the prediction of Bitcoin prices and has attracted the interest of researchers. Twitter (X) is one of the most widely used social media platforms. The aim of this study is to analyse the sentiment expressed in comments about bitcoin on the social media platform X using a variety of machine learning algorithms. A variety of machine learning techniques are used to classify user sentiment towards bitcoin. Moreover, the efficacy of standard bag-of-words and term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) methods is evaluated in comparison with machine learning approaches for the purpose of expressing text as numerical vectors. Finally, a keyword ranking was performed to determine the importance of each sentiment in the development of cryptocurrencies. The bag-of-words and TF-IDF methods were used, which facilitate the representation of text-based data. The best result was obtained with the decision trees algorithm (98.74% accuracy) using the TF-IDF method. The bag-of-words method was found to produce better results in general.

Bitcoin Duygu Analizinde Duygu Tanıma ve Sınıflandırma için Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Makale Bilgileri

Geliş: 13.08.2024

Kabul: 23.09.2024

Online December 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1532649](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1532649)

Anahtar Kelimeler

Algoritmalar,
Bitcoin,
DDİ,
Duygu analizi,
Makine öğrenmesi

Öz: Bitcoin en yüksek piyasa değerine sahip kripto para birimidir ve diğer para birimlerine kıyasla hızlı ve değişken fiyat dalgalanmalarıyla bilinir. Bu durum Bitcoin'in fiyat tahmini için fırsatlar sunmakta ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Twitter (X), en yaygın kullanılan sosyal medya platformlarından biridir. Bu çalışma kapsamında, makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak Bitcoin ile ilgili X yorumlarının duyarlılığı analiz edilmiştir. Bitcoin'e yönelik kullanıcı duyarlılığını sınıflandırmak için spesifik makine öğrenimi teknikleri kullanılmış ve metni sayısal vektörler olarak ifade etmek için standart kelime torbası ve terim frekansı-ters belge frekansı (TF-IDF) yöntemleri makine öğrenimi yaklaşımlarıyla karşılaştırılmıştır. Son olarak, kripto para birimlerinin gelişiminde her duygunun önemini belirlemek için anahtar kelime sıralaması yapılarak, metin tabanlı verilerin temsiliyi kolaylaştıran Bag-of-words ve TF-IDF yöntemleri kullanılmıştır. En iyi sonuç TF-IDF yöntemi kullanılarak karar ağaçları algoritmasıyla (%98.74 doğruluk) elde edilmiş, çalışmada Bag-of-words yönteminin genel olarak daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

1. Introduction

Bitcoin, the cryptocurrency with the highest market value, is actively traded on over 40 exchanges across more than 30 countries and facilitates transactions in a remarkably diverse range of fiat currencies and digital assets (Vumazonke & Parsons, 2023). Due to its relatively young age as a currency, Bitcoin exhibits significantly higher price volatility compared to conventional fiat currencies. This heightened volatility presents an intriguing opportunity for exploring the potential of price forecasting in the context of Bitcoin (Dutta et al., 2020; Gozbasi, 2021). Bitcoin's transparency is unparalleled compared to fiat currencies, as the latter only provides limited information on monetary activities and cash transactions. In today's social media ecosystem, the abundance of data enables us to extract users' perspectives on events, goods, supply, and desires. X, being one of the most widely accessed online social media platforms, serves as a communication channel for over 100 million active users each month, facilitating the exchange of ideas among individuals. Researchers have recently leveraged the power of machine learning to analyze sentiment in Bitcoin-related tweets as a means of predicting price volatility (Bulu et al., 2019; Sallis et al., 2021). Sentiment refers to the attitude or emotion conveyed through a statement or position. Sentiment analysis, as a branch of text analytics, delves into the underlying motivations behind an individual's feelings about a product or service. Textual emotions analytics leverages natural language processing (NLP) and machine learning (ML) techniques to assign numerical ratings to various entities, topics, themes, and categories present in a given phrase or sentence. Over the years, researchers have developed different approaches to sentiment analysis in Bitcoin sentiment analysis. X, with its extensive user base, generates a wealth of data that holds valuable insights to enhance market dynamics. Consequently, employing sentiment analysis is vital to comprehend users' requests, whether they are positive or negative. As the pioneering force behind the blockchain-based monetary revolution, Bitcoin exerts a disproportionate influence on the overall valuation of the cryptocurrency market. Hence, there is considerable interest within the machine learning and data mining communities in forecasting fluctuations in the price of bitcoin and providing direct explanations for these changes (Avci & Koca, 2023). Such information can aid in the better assessment of risks associated with the cryptocurrency industry. Machine learning approaches for emotion identification and classification in Bitcoin sentiment analysis have gained traction as a promising method to predict price volatility (Pradana & Hayaty, 2019). Many studies have been conducted on machine learning algorithms and social media sentiment analysis. People's methods of expressing themselves have shifted since the advent of the Internet. Blogs, internet forums, review sites, etc., have become the new standard for this. This user-created content is vital to people's daily lives. People who are considering making a purchase will typically read customer feedback about the product on the internet. Users can't possibly sift through all of the user-generated content. The use of sentiment analysis and similar methods allows this process to be automated. Due to their low correlations with other major financial assets and the advantages brought by blockchain technologies, cryptocurrencies have developed as a new class of financial assets in the asset management business in recent years, typically comprising a portion of riskier investment portfolios (Li et al., 2019).

Despite only 92% of the total supply of Bitcoins currently in circulation, the market capitalization of this cryptocurrency has surpassed \$588 Million according to www.coinmarketcap.com data, July - 2023. This unprecedented growth and interest in Bitcoin has led researchers to explore the connection between sentiment analysis and Bitcoin prices. Sentiment analysis primarily utilizes two methodologies: symbolic approaches, also referred to as the Knowledge base approach and machine learning techniques (Georgoula et al., 2015; Alasmari & Dahab, 2017). To accurately identify sentiments, a knowledge-based system requires a comprehensive repository of predefined emotions and a robust knowledge representation (Fakieh et al., 2023). Based on a comprehensive review of the existing literature, it is evident that there has been a scarcity of research dedicated to the analysis of sentiment toward Bitcoin utilizing X as a data source. Furthermore, to the best of our knowledge, no prior investigations have been conducted to establish a systematic ranking of keywords based on their association with specific sentiments. In light of this research gap, the present study attempts to fill this void by introducing a novel machine learning model for predicting user sentiment towards Bitcoin by harnessing X data. The results obtained from our model show marginal improvements over previous research efforts in this area. This scholarly contribution not only advances the field's understanding of sentiment analysis concerning Bitcoin using X data but also introduces an innovative approach to

keyword ranking about sentiment classification. Furthermore, we conducted keyword ranking to identify the most influential terms associated with each sentiment, which may impact the development of cryptocurrencies. This approach involves utilizing natural language processing techniques and machine learning algorithms to analyze sentiment in tweets related to Bitcoin (Tanwar et al., 2021).

To classify emotions, a machine learning approach employs a training set to build a sentiment classifier. Machine learning techniques offer advantages over the Knowledge base method as they do not necessitate a pre-established database encompassing all potential emotions. In our research, we employed multiple distinct machine learning methods to classify tweets. It is customary in sentiment analysis to consider various granularities, ranging from broad to specific. Sentiment analysis can be divided into two distinct levels of granularity: the coarse level, which focuses on identifying the overall tone of a document, and the fine level, which examines individual attributes. Hence, it is common practice to conduct sentiment analysis at different granularities, encompassing both broader and more specific aspects (Dass et al., 2020).

In classification tasks, machine learning approaches necessitate the utilization of both a training set and a test set. The training set comprises feature vectors that are assigned categorical labels and serve as input for the model construction. The objective of constructing a classification model is to accurately assign classes to input feature vectors based on the information gleaned from the training set. Predictions are then generated for the class labels of feature vectors that have not been previously observed, thus facilitating the evaluation and validation of the model's performance using a separate test set (Sami et al., 2021). In cases involving features with high interdependencies, previous research by Domingos & Pazzani (2017) revealed that naive Bayes showed strong performance while contradicting the basic assumption of naive Bayes, which assumes feature independence. The application of machine learning techniques in the context of the Bitcoin market represents a novel approach that has not been previously investigated. In a span of fifty days involving the buying and selling of Bitcoins (Shah & Zhang, 2014) employed Bayesian regression and achieved an 89% profit. Neethu & Rajasree (2013) introduced a novel feature vector to effectively classify tweets as either positive or negative and to extract individuals' opinions regarding products. Time series analysis provides a valuable methodology for examining the relationship between Bitcoin prices and a range of factors, including economic conditions, technological developments and even the sentiment expressed on X (Cambria et al., 2014). Despite the existence of numerous online platforms dedicated to sentiment analysis, the availability of a publicly accessible interactive online platform for dynamic adaptive sentiment analysis remains limited.

In his study Ibrahim (2021), the author employs the analysis of a corpus of tweets, which he manipulates and interprets, in order to predict the early movements of the cryptocurrency market. The primary objective is to showcase the efficacy of deep learning architectures in addressing challenges associated with sentiment analysis. Machine learning users frequently express challenges in determining the optimal size of the training data set, which can induce significant stress (Quinlan, 1992). To resolve such conflicts, Wang et al. (2020) propose a systematic approach through the analysis of real-world scenarios encompassing forecasting the popularity and sentiment of tweets, Facebook posts, Mashable blogs, Google News, Yahoo News, the US housing survey, and Bitcoin pricing.

The objective of this study is to conduct a sentiment analysis of comments related to Bitcoin on the social media platform X, employing a range of machine learning algorithms. Various machine learning techniques are applied to classify user sentiment regarding Bitcoin. In addition, the effectiveness of conventional bag-of-words and term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) methods is assessed in comparison to machine learning approaches for converting textual data into numerical vectors. Furthermore, a keyword ranking analysis was performed to evaluate the significance of different sentiments in the development of cryptocurrencies. Both the bag-of-words and TF-IDF methods, which enable the representation of textual data, were utilized.

2. Material and Methods

The workflow diagram for this study is presented below (Figure 1). The word clouds, created with the 50 most frequently used words, are presented in Figure 2.

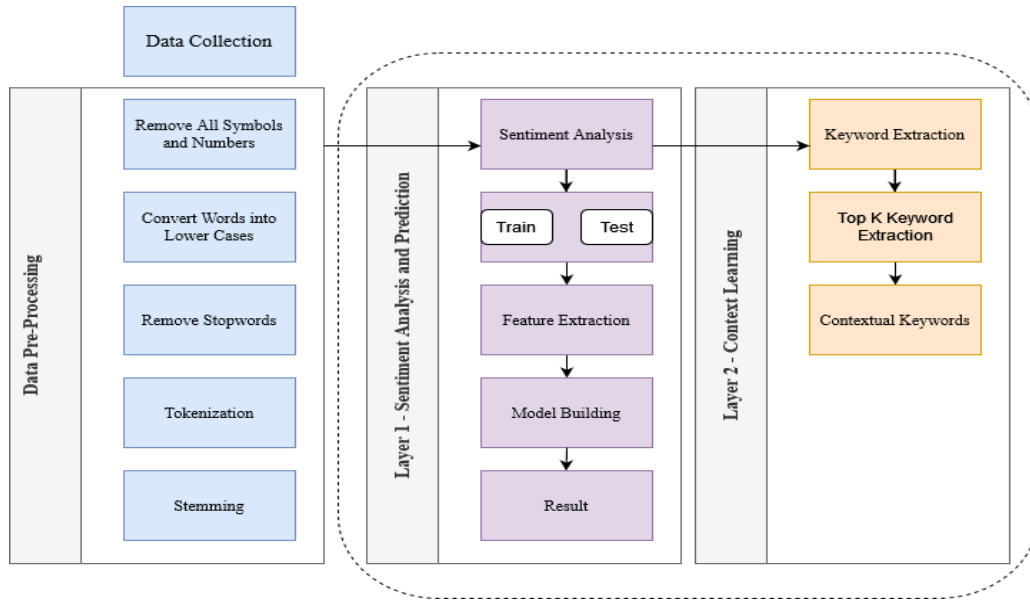
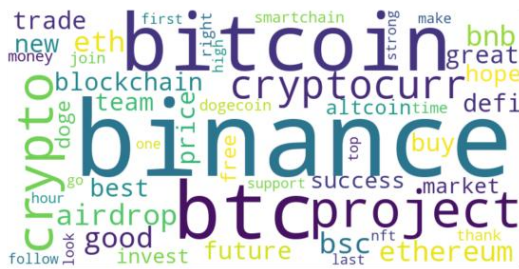


Figure 1. The workflow is as follows: collection of data, data preparation, pre-processing and feature extraction.



a)



b)



c)



d)

Figure 2. Opinions expressed by the top 50 keywords in a word cloud. a) Positive Sentiments b) Negative Sentiments c) Neutral Sentiments d) Overall Sentiments.

2.1. Acquisition and preparation of data

The primary source of tweets relevant to Bitcoin sentiment research is X, from which Bitcoin-related tweets were collected for multiple months in 2022 using the Kaggle platform (Anonymous, 2023a). The dataset comprises one million Bitcoin-related tweets, which underwent preprocessing steps, including the exclusion of non-English tweets, removal of emoji, non-printable characters, and common punctuation symbols (#, !, &, %, \$). In most cases, the more complex X handle "@person" was replaced with the term "username". Tokenization, a subsequent step, was performed to segment a text block into

individual words using a predetermined delimiter (Hasan et al., 2021). The final preprocessing step involved stemming, where all possible affixes were removed from index terms to assign a phrase to the appropriate index entry (Larkey et al., 2007; Alnaied et al., 2020). The data preparation process involved a combination of regular expressions (Elbagir & Yang, 2019) and the Natural Language Toolkit (NLTK) (Yogish et al., 2019).

2.2. Layer 1: Prediction and sentiment analysis

Utilizing sentiment analysis (Feldman, 2013), we employed a methodology that calculates the degree of engagement with each topic by initially determining the average number of retweets, likes, and followers associated with that topic, subsequently ranking the topics based on their level of engagement. To conduct sentiment analysis on the text corpus, we utilized the textblob package in Python (Loria, 2018). The sentiment index ranged from -1.0 to 1.0, with a value of -1.0 representing the most negative content and a value of 1.0 indicating the most positive text. It is worth noting that NLP algorithms yield numerical outputs. However, due to the current limitations, direct input of our text into the algorithm was not feasible. Consequently, we employed the bag-of-words and TF-IDF approaches to extract features from the text by converting them into numeric vectors. Bag of words: When attempting to explain text corpora, information extraction researchers primarily utilize the bag of words presentation. An error-free transformation from unstructured to structured data can be achieved with this straightforward approach (Zhang et al., 2010).

TF-IDF: The significance of a term in a document collection can be measured using the term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) metric, which combines the term frequency (TF) that quantifies the frequency of a term in a document and the inverse document frequency (IDF) that quantifies the importance of the term (Hakim et al., 2014). In our study, we aim to train our proposed model using various machine learning techniques, including Logistic Regression, Naïve Bayes, Decision Tree, Random Forest, XgBoost, and Support Vector Machine algorithms. Logistic Regression: Logistic Regression is a preferred regression analysis method when the dependent variable being studied can be categorized into two distinct categories, making it suitable for binary classification tasks (LaValley, 2008). The logistic function, also known as the sigmoid function, plays a critical role in the logistic regression methodology. This function transforms a real-valued input into a bounded range between 0 and 1, following an S-shaped curve, although it never exactly reaches the limits (Kleinbaum & Klein, 2002).

Support Vector Machine: The Support Vector Machine (SVM) is a classification algorithm that constructs a discrete hyperplane in the feature space of the training data and its samples to separate them (Suthaharan, 2016). SVM formulates an optimization problem to identify the optimal hyperplane that maximally separates the two sets of data in the training dataset (Joachims, 1999).

Naïve Bayes is a classification method that applies Bayes' Principle and assumes the independence of predictors to classify data (Sammur & Webb, 2011). The posterior probability is calculated using the likelihood, which represents the probability of the predictors, the prior probability of the class, and Bayes' theorem (Murphy, 2006).

Decision Tree is a problem-solving technique that utilizes a tree structure, where the leaves represent classes and the internal nodes denote attributes (Quinlan, 1992). The concept of information gain is employed to evaluate the impact of input attributes on the entropy change resulting from dataset partitioning (Nowozin et al., 2011).

Random Forest is an ensemble learning method comprising multiple classification or regression trees, each trained on analogous datasets obtained through bootstrapping. The predictions produced by these trees are then combined to yield a more accurate result (Rigatti, 2017). As processing power becomes more distributed, there is an increasing trend towards utilising advanced mathematical techniques in various fields. This is particularly evident in the era of "big data" and machine learning, where survival analysis has gained prominence as a methodology (Breiman, 2001). XGBoost, an advanced implementation of gradient boosting machines, has demonstrated its ability to surpass the computational limitations of enhanced tree methods, establishing itself as a versatile and state-of-the-art approach in various domains (Chen & Guestrin, 2016; Mitchell & Frank, 2017).

In the second phase of the analysis, a keyword ranking algorithm is employed to assess the relative significance of each keyword present in the text. Subsequently, the keywords are ordered based on their relative importance. From this ranked list, the top k keywords, where k is set to 50 in this study, are selected to provide an evaluation of the overall contextual representation.

In the initial experiment, the distribution of samples across different sentiment categories is determined by calculating the fraction assigned to each category. Subsequently, a subsequent experiment is conducted to evaluate the performance of different machine learning strategies on an independent test dataset, thereby demonstrating their effectiveness. Subsequently, the machine learning models are ranked based on their predictive accuracy, and the most promising model is chosen for sentiment analysis based on this ranking.

2.3. Preparing an experiment and deciding on parameters

The cleaned-up text underwent bag-of-words and TF-IDF transformations using the CountVectorizer and TfidfVectorizer modules from the scikit-learn library (version: 0.22.2) (Anonymous, 2023b) in Python (version: 3.7) (McGrath, 2023). Leveraging the Scikit-Learn module in Python facilitated the efficient development of a robust machine learning model. Both TF-IDF and bag-of-words methodologies were employed as feature extraction techniques, with a filter applied to exclude words that occurred fewer than 500 times in the texts.

2.4. Sentiment analysis

I have compiled a comprehensive Bitcoin X dataset extracted from the Kaggle database, consisting of 1,000,000 opinions specifically related to Bitcoin. Upon conducting an analysis of the sentiment expressed in these tweets, the findings reveal that out of the total dataset, 380.044 tweets are categorized as positive, 509.108 tweets exhibit a neutral sentiment, and 110.848 tweets convey a negative sentiment, as visually presented in Figure 3.

2.5. Evaluation matrix

In order to assess the accuracy of our predictions, we conducted an evaluation based on several performance metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. Accuracy (A) represents the ratio of correctly predicted instances to the total number of training samples, providing an overall measure of prediction correctness. Precision measures the proportion of true positive predictions over the total predicted positive instances, reflecting the classifier's ability to minimize false positive results. Recall (R), on the other hand, quantifies the proportion of true positive instances out of all actual positive samples, indicating the classifier's ability to identify positive instances correctly (Raaijmakers & Shiffrin, 1992). F1-score (F1), often referred to as the harmonic mean, offers a balanced measure between precision and recall, effectively capturing the trade-off between them. It is particularly useful in cases where the dataset is imbalanced and can handle false positive and false negative instances simultaneously (Chicco & Jurman, 2020; Narkhede, 2018).

3. Results and Discussion

Utilizing the available data, I constructed a model capable of distinguishing between positive, neutral, and negative sentiment labels. The initial step in dataset preparation involved eliminating potential sources of confusion. Following data cleaning and organization, the dataset was divided into training (80%) and testing (20%) sets. Feature extraction was performed using the bag of words and TF-IDF techniques, converting textual content into numerical vectors. Classification algorithms based on machine learning were then applied. The outcomes of various classification techniques are presented in Table 1 and Figure 5. Specifically, the Decision Tree algorithm achieved an accuracy of 98.74% with TF-IDF and 97.83% with bag-of-words, while SVM achieved accuracies of 93.09% and 97.38%, respectively. Naïve Bayes attained accuracies of 86.89% (TF-IDF) and 85.18% (bag-of-words), and Random Forest achieved accuracies of 97.55% (TF-IDF) and 97.02% (bag-of-words). Xgboost yielded an accuracy of 84.72% with bag-of-words and 84.24% with TF-IDF. It is notable that Xgboost exhibits

lower accuracy than Naive Bayes, particularly in the context of TF-IDF. With regard to TF-IDF and Bag-of-words, Decision Tree demonstrated the highest accuracy. Additionally, other performance indicators such as recall and F1-score were evaluated, as they provide insights into the model's ability to identify each sentiment accurately.

In terms of precision, recall, and f1-score, the decision tree model utilizing bag-of-words exhibits superior performance compared to other models, achieving precision, recall, and f1-score values of 97.71%, 97.57%, and 97.68%, respectively. The random forest model employing bag-of-words demonstrates a precision score of 97.45%, a recall score of 93.19%, and an f1-score of 94.76%. In the context of TF-IDF classification, Random Forest showcases notable performance with a precision score of 97.74%, a recall score of 93.84%, and f1-score of 95.66% (Figure 6). Figure 4 illustrates the log loss curve and corresponding loss values for each model, with Naïve Bayes exhibiting the highest loss value of 0.55 among the tested models. In the bag-of-words scenario, SVM attains the lowest loss value of 0.13. SVM emerges as the most effective model in discerning between positive, negative, and neutral classifications, boasting the lowest loss value among the evaluated models. Regarding accuracy, precision, recall, and f1-score, the decision tree model surpasses all other models, while bag-of-words demonstrates superior performance compared to TF-IDF in the majority of algorithms.

The word cloud representation in Figure 2 illustrates the prevalence of certain words in the sampled data. In order to identify the most commonly used terms associated with each sentiment, we applied context learning to the dataset. Following the sentiment identification process, we extracted the top 50 frequently occurring words through a keyword analysis. The resulting lists consist of the top 50 terms for positive, negative, and neutral sentiments, respectively. The top 50 most frequently occurring terms for each emotion are presented in Table 2.

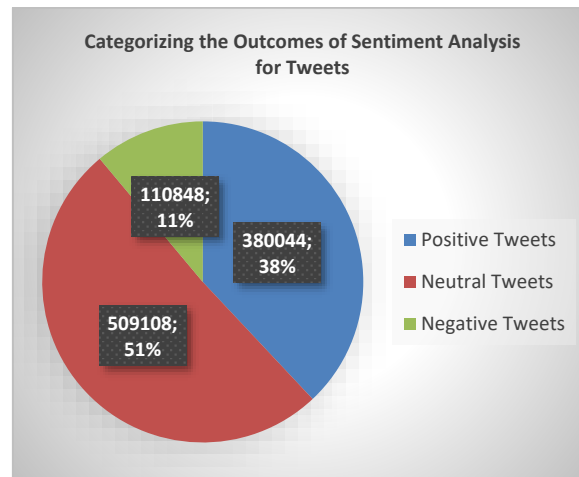


Figure 3. Sentiment analysis result.

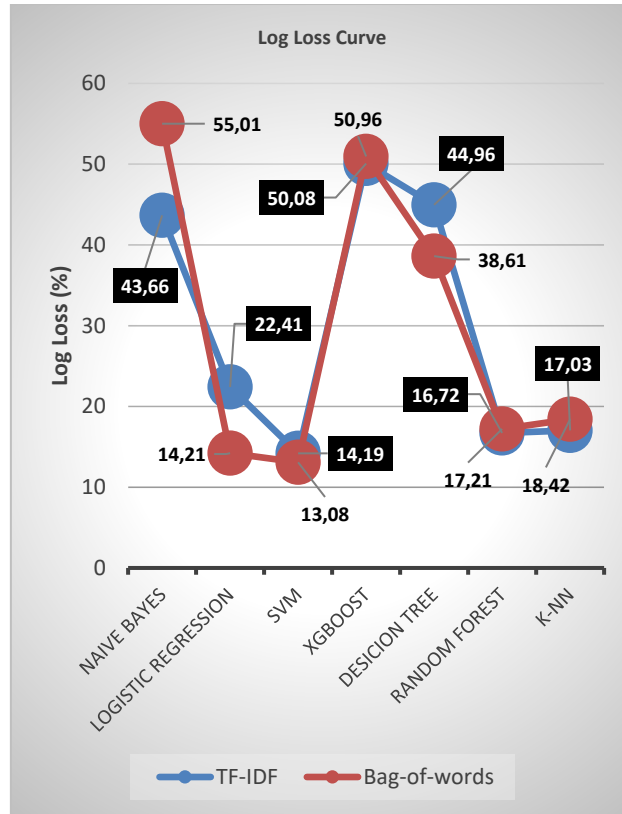


Figure 4. Analyzing the Bag-of-words and TF-IDF log loss curves side by side.

Table 1. Evaluating the performance of several machine learning models for sentiment analysis with Bag-of-words and TF-IDF as feature extractors

Feature Extraction	Algorithms	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
TF-IDF	Naïve Bayes	86.89	88.91	75.18	78.35
	Logistic Regression	87.72	91.21	74.47	78.42
	SVM	93.09	94.24	85.51	88.8
	XGBoost	84.24	88.42	70.45	74.32
	Decision Tree	98.74	97.71	97.57	97.68
	Random Forest	97.55	97.74	93.84	95.66
	K-NN	92.95	92.26	88.75	90.44
Bag-of-words	Naïve Bayes	85.18	78.75	85.24	80.65
	Logistic Regression	96.52	96.45	92.41	93.75
	SVM	97.38	97.18	97.16	97.66
	XGBoost	84.72	88.61	70.32	73.85
	Decision Tree	97.83	97.49	97.72	97.66
	Random Forest	97.02	97.45	93.19	94.76
	K-NN	92.19	92.11	88.07	89.65

Table 2. The top fifty terms encompass a diverse range of sentiments

Sentiment Type	Description	Top-50 Keywords
Positive	Discussions pertaining to mutual aid, social consciousness, and moral reinforcement are commonly observed among individuals. The analysis of Bitcoin's overall appeal is a topic of discussion, whereby people have received an overwhelming influx of expressions conveying gratitude and admiration, including from investors, developers, and other relevant stakeholders.	'bitcoin', 'btc', 'project', 'crypto', 'cryptocurr', 'airdrop', 'good', 'bsc', 'eth', 'ethereum', 'bnb', 'great', 'blockchain', 'binance', 'price', 'new', 'future', 'best', 'team', 'get', 'defi', 'trade', 'buy', 'hope', 'success', 'market', 'invest', 'free', 'doge', 'altcoin', 'like', 'dogecoin', 'time', 'binance', 'smartchain', 'join', 'money', 'thank', 'right', 'support', 'top', 'last', 'strong', 'one', 'look', 'nft', 'make', 'hour', 'follow', 'high', 'go', 'first',
Negative	The majority of individuals exhibit a negative sentiment, expressing concerns regarding family issues and displaying reluctance towards investment. Their primary attention is directed towards the most economically disadvantaged workers. Coins are being traded at prices lower than their face value. The involvement of influential investors, known as whales, intensifies when individuals experience losses in their coin holdings.	'bitcoin', 'btc', 'crypto', 'long', 'cryptocurr', 'buy', 'blockchain', 'ethereum', 'market', 'get', 'eth', 'unknown', 'wallet', 'binance', 'price', 'game', 'like', 'money', 'base', 'time', 'defi', 'people', 'make', 'trade', 'invest', 'use', 'green', 'mean', 'see', 'move', 'usd', 'one', 'current', 'day', 'play', 'signal', 'bnb', 'look', 'dogecoin', 'dont', 'altcoin', 'hard', 'fuck', 'still', 'doge', 'go', 'mine', 'think', 'year', 'follow', 'nft'
Neutral	Following the market conditions observed this year, maintaining a neutral stance can potentially contribute to the restoration of confidence, as it signifies the absence of expectations for further decline in the asset.	'bitcoin', 'btc', 'crypto', 'cryptocurr', 'ethereum', 'eth', 'airdrop', 'price', 'blockchain', 'binance', 'dogecoin', 'bnb', 'buy', 'trade', 'bsc', 'doge', 'market', 'day', 'altcoin', 'get', 'join', 'invest', 'defi', 'shop', 'money', 'gift', 'like', 'xrp', 'current', 'year', 'nft', 'valu', 'mine', 'ada', 'time', 'sell', 'cryptonew', 'stake', 'follow', 'project', 'moon', 'last', 'see', 'coin', 'let', 'hour', 'safemoon', 'usd', 'short', 'pump', 'move', 'token',
Overall	The collective sentiment of the general populace.	'bitcoin', 'btc', 'crypto', 'cryptocurr', 'project', 'airdrop', 'ethereum', 'eth', 'blockchain', 'price', 'binance', 'bsc', 'bnb', 'buy', 'trade', 'get', 'dogecoin', 'good', 'market', 'defi', 'invest', 'doge', 'altcoin', 'join', 'future', 'like', 'money', 'great', 'day', 'time', 'new', 'nft', 'team', 'hope', 'last', 'xrp', 'follow', 'one', 'see', 'look', 'best', 'hour', 'make', 'binance', 'smartchain', 'mine', 'go', 'support', 'use', 'year', 'thank', 'cryptonew',

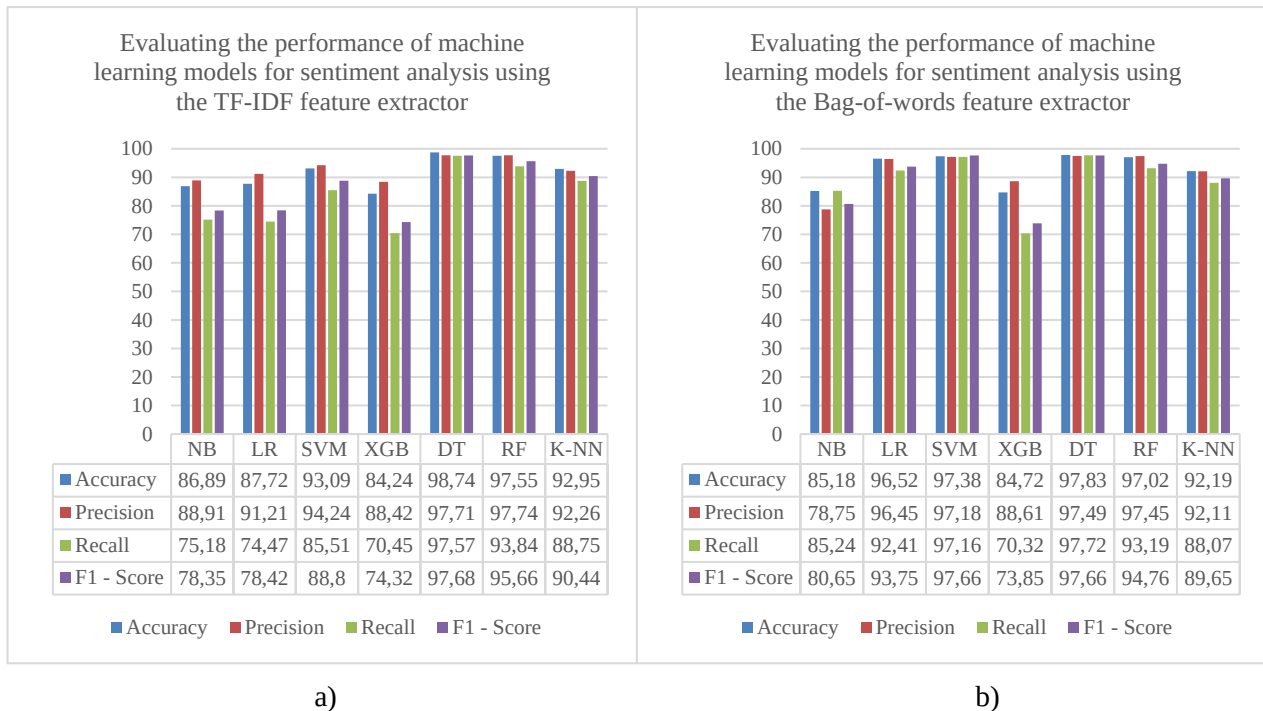


Figure 5. a) TF-IDF feature extractor b) Bag-of-words feature extractor.

The absence of such a platform is attributed to the requirement of adaptability to emerging data streams, which necessitates a comprehensive solution capable of accommodating evolving data sources. CloudFlows, as an open-source cloud-based scientific workflow platform, offers additional functionalities through its add-ons, enabling efficient analysis of data streams and facilitating machine learning processes (Kranjc et al., 2015). In aspect-based sentiment analysis, a cascaded framework based on particle swarm optimization (PSO) is employed to perform feature selection and classifier ensemble, aiming to enhance the accuracy of sentiment analysis by focusing on specific aspects or attributes (Akhtar et al., 2017). This approach leverages the optimization capabilities of PSO to iteratively refine the selection of features and create an ensemble of classifiers, thereby improving the overall performance of sentiment analysis in capturing nuanced sentiments toward different aspects (Barros et al., 2020). The distinctive approach to currency transfer and the potential hedging capabilities have propelled cryptocurrencies to the forefront of public interest in recent times. In order to ascertain the relationship between textual information derived from sources such as news articles and tweets and the direction of cryptocurrency prices, data mining techniques are employed. The objective is to utilize these techniques to infer patterns and correlations within the text documents, enabling a better understanding of the factors influencing cryptocurrency price movements (Patel et al., 2022). This study aims to investigate the relationship between fluctuations in Bitcoin price and the sentiment expressed by its users through the utilization of machine learning techniques. By analyzing user-generated data, the objective is to identify patterns and correlations between sentiment and price changes in order to gain insights into the dynamics of Bitcoin market (Suthaharan, 2016; Kinderis et al., 2018). Despite the utilization of various machine learning strategies and tools in sentiment analysis during elections, there is a critical need for an advanced method that remains at the forefront of the field. To address these challenges, the development of hybrid approaches, such as incorporating machine learning into sentiment analyzers, is underway to tackle these issues directly (Greaves et al., 2013; Rahman et al., 2018). In this study, a representative 10% random sample of X users will be employed to illustrate the application of deep learning for assessing market-level sentiment. The primary objective of this approach is to showcase the utilization of deep learning techniques in capturing and analyzing the expressed sentiments of users, thereby facilitating insights into the dynamics of sentiment at the market level (Andhale et al., 2021).

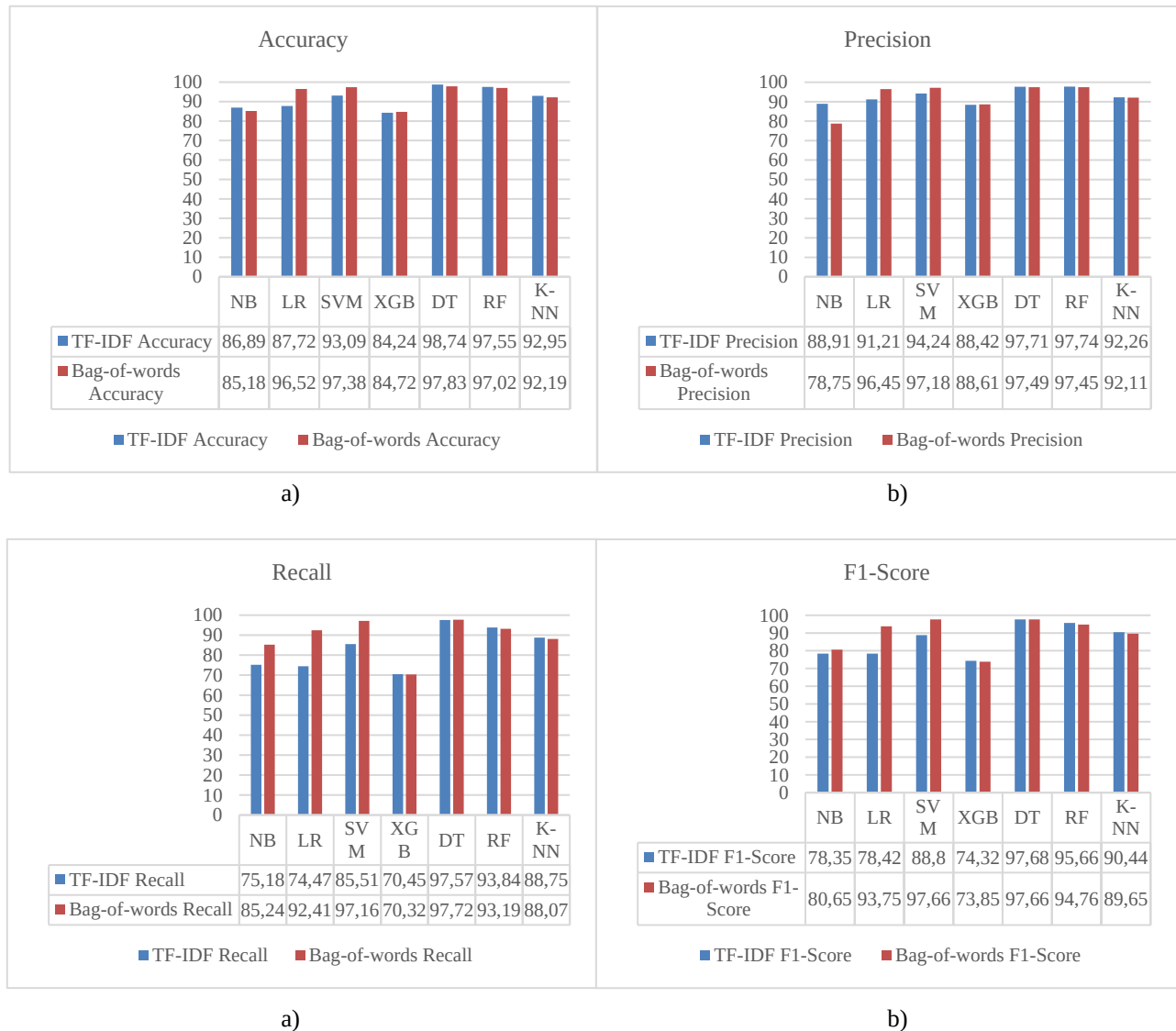


Figure 6. a) Accuracy b) Precision c) Recall d) F1-Score.

4. Conclusion

This research paper presents a novel approach for forecasting the future trajectory of Bitcoin prices through the integration of sentiment analysis and machine learning models. The exponential growth of social media has created a vast amount of data that necessitates effective evaluation and extraction of insights. Various techniques based on Symbolic and Machine Learning methodologies have been developed to infer an author's emotional state from text. Machine Learning strategies, in particular, offer enhanced productivity and reduced complexity compared to Symbolic methods. One promising application of these techniques is sentiment analysis on X data. However, challenges arise when attempting to identify emotionally impactful keywords within tweets containing multiple keywords. Despite these challenges, microblogging platforms and other social media channels serve as valuable sources of information on public opinion. However, it is important to acknowledge the existence of opportunities for the spread of disinformation. In this study, several machine learning approaches were used to analyse sentiment, and the proposed model was implemented after establishing the context of the dataset. In the future, this research can contribute to a comprehensive study of the evolving emotions and attitudes of individuals across different currencies.

References

- Akhtar, Md. S., Gupta, D., Ekbal, A., & Bhattacharyya, P. (2017). Feature selection and ensemble construction: A two-step method for aspect-based sentiment analysis. *Knowledge-Based Systems*, 125, 116–135. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.03.020>
- Alasmari, S. F., & Dahab, M. (2017). Sentiment detection, recognition and aspect identification. *International Journal of Computer Applications*, 177(2), 31-38. <https://doi.org/10.5120/ijca2017915675>
- Alnaied, A., Elbendak, M., & Bulbul, A. (2020). An intelligent use of stemmer and morphology analysis for Arabic information retrieval. *Egyptian Informatics Journal*, 21(4), 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2020.02.004>
- Andhale, S., Mane, P., Vaingankar, D. C., Karia, K., & Talele, K. (2021). Twitter sentiment analysis for COVID-19. In *2021 International Conference on Communication Information and Computing Technology (ICCICT)* (pp. 1-12), Mumbai, India. <https://doi.org/10.1109/iccict50803.2021.9509933>
- Anonymous. (2023a). Bitcoin sentiment analysis | Twitter data. *Kaggle*. Access date: July 23, 2023. <https://www.kaggle.com/datasets/gautamchettiar/bitcoin-sentiment-analysis-twitter-data>
- Anonymous. (2023b). Scikit-learn/scikit-learn: Scikit-learn 0.22.1. Access date: July 23, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3596890>
- Avcı, İ., & Koca, M. (2023). Predicting DDoS attacks using machine learning algorithms in building management systems. *Electronics*, 12(19), 4142. doi: <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS12194142>
- Barros, D. P., Moura, J., Freire, C. R., Taleb, A. C., De Medeiros Valentim, R. A., & De Moraes, P. S. G. (2020). Machine learning applied to retinal image processing for glaucoma detection: Review and perspective. *Biomedical Engineering Online*, 19(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00767-2>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
- Bulu, B., Yağar, F., Kopmaz, B., Şişman Kitapçı, N., Kitapçı, O., Aksu Kılıç, P., Köksal, L., & Mumcu, G. (2019). The content of Twitter messages of different health groups: The role of social media in health. *International Journal of Health Management and Tourism*, 4(3), 228–236. <https://doi.org/10.31201/ijhmt.644197>
- Cambria, E., Olsher, D., & Rajagopal, D. (2014). SENTICNeT 3: A common and common-sense knowledge base for cognition-driven sentiment analysis. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 28(1). <https://doi.org/10.1609/aaai.v28i1.8928>
- Chen, T., & 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). <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>
- Dass, S., Kannan, V. K., & Shyamala, K. (2020). Sentiment severity on location-based social network (LBSN) data of natural disasters. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(5), 6–12. <https://doi.org/10.35940/ijrte.e6631.018520>
- Domingos, P., & Pazzani, M. (2017). On the optimality of the simple Bayesian classifier under zero-one loss. *Machine Learning*, 29, 103-130. <https://rdcu.be/dgWb2>
- Dutta, A., Kumar, S., & Basu, M. (2020). A Gated Recurrent Unit approach to Bitcoin price prediction. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(2), 23. <https://doi.org/10.3390/jrfm13020023>
- Elbagir, S., & Yang, J. (2019). Twitter sentiment analysis using natural language toolkit and VADER sentiment. In *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists* (Vol. 122, p. 16)
- Fakieh, B., Al-Ghamdi, A. S. A.-M., Saleem, F., & Ragab, M. (2023). Optimal machine learning driven sentiment analysis on COVID-19 Twitter data. *Computers, Materials & Continua*, 75(1), 81–97. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.033406>

- Feldman, R. (2013). Techniques and applications for sentiment analysis. *Communications of the ACM*, 56(4), 82–89. <https://doi.org/10.1145/2436256.2436274>
- Georgoula, I., Pournarakis, D., Bilanakos, C., Sotiropoulos, D. N., & Giaglis, G. M. (2015). Using time-series and sentiment analysis to detect the determinants of Bitcoin prices. *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2607167>
- Gozbasi, O. (2021, July 12). Is Bitcoin a safe haven? A study on the factors that affect Bitcoin prices. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 11(4), 35-40. <https://econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/11602>
- Greaves, F., Ramirez-Cano, D., Millett, C., Darzi, A., & Donaldson, L. (2013). Use of sentiment analysis for capturing patient experience from free-text comments posted online. *Journal of Medical Internet Research*, 15(11), e239. <https://doi.org/10.2196/jmir.2721>
- Hâkim, A., Erwin, A., Eng, K., Galinium, M., & Muliady, W. (2014). Automated document classification for news article in Bahasa Indonesia based on term frequency inverse document frequency (TF-IDF) approach. In *6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)* (pp. 1–4).
- Hasan, K. M. A., Shovon, S. D., Joy, N. H., & Islam, S. (2021). Automatic labeling of Twitter data for developing COVID-19 sentiment dataset. In *2021 5th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)* (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1109/eict54103.2021.9733548>
- Ibrahim, A. (2021). Forecasting the early market movement in Bitcoin using Twitter's sentiment analysis: An ensemble-based prediction model. In *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/iemtronics52119.2021.9422647>
- Joachims, T. (1999). Svmlight: Support vector machine. *SVM-Light Support Vector Machine, University of Dortmund*, 19(4), 25. <http://svmlight.joachims.org/>
- Kinderis, M., Bezbradica, M., & Crane, M. (2018). Bitcoin currency fluctuation. In *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management* (pp. 31-41). <https://doi.org/10.5220/0006794000310041>
- Kleinbaum, D. G., & Klein, M. (2002). Analysis of matched data using logistic regression. In *Logistic Regression* (pp. 227–265). Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/0-387-21647-2_8
- Kranjc, J., Smailović, J., Podpečan, V., Grčar, M., Žnidaršič, M., & Lavrač, N. (2015). Active learning for sentiment analysis on data streams: Methodology and workflow implementation in the ClowdFlows platform. *Information Processing and Management*, 51(2), 187–203. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2014.04.001>
- Larkey, L. S., Ballesteros, L., & Connell, M. E. (2007). Light stemming for Arabic information retrieval. In: Soudi, A., Bosch, A.v., Neumann, G. (eds) *Arabic computational morphology. Text, speech and language technology*, vol 38. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6046-5_12
- LaValley, M. P. (2008). Logistic regression. *Circulation*, 117(18), 2395–2399. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.682658>
- Li, T., Chamrajnagar, A. S., Fong, X. R., Rizik, N. R., & Fu, F. (2019). Sentiment-based prediction of alternative cryptocurrency price fluctuations using gradient boosting tree model. *Frontiers in Physics*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00098>
- Loria, S. (2018). *Textblob Documentation* (Release 0.15, 2[8], 269)
- McGrath, M. (2023). *Python in easy steps*. Access date: 23.07.2023. https://openlibrary.org/books/OL26976831M/Python_in_easy_steps
- Mitchell, R., & Frank, E. (2017). Accelerating the XGBoost algorithm using GPU computing. *PeerJ*, 3, e127. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.127>
- Murphy, K. P. (2006). Naïve Bayes classifiers. *University of British Columbia*, 18(60), 1–8
- Narkhede, S. (2018). Understanding AUC-ROC curve. *Towards Data Science*, 26(1), 220–227.
- Neethu, M. S., & Rajasree, R. (2013). Sentiment analysis in Twitter using machine learning techniques. In *2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/icccnt.2013.6726818>

- Nowozin, S., Rother, C., Bagon, S., Sharp, T., Yao, B., & Kohli, P. (2011). Decision tree fields. In *International Conference on Computer Vision* (pp. 1668–1675). <https://doi.org/10.1109/iccv.2011.6126429>
- Patel, N., Parekh, B., Thakkar, N., Gupta, R., Tanwar, S., Sharma, G., & Sharma, R. (2022). Fusion in cryptocurrency price prediction: A decade survey on recent advancements, architecture, and potential future directions. *IEEE Access*, 10, 34511–34538. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3163023>
- Pradana, A. T., & Hayaty, M. (2019). The effect of stemming and removal of stopwords on the accuracy of sentiment analysis on Indonesian-language texts. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 4(4), 375–380. <https://doi.org/10.22219/kinetik.v4i4.912>
- Quinlan, J. R. (1992). *C4.5: Programs for Machine Learning*. <https://cds.cern.ch/record/2031749>
- Raaijmakers, J. G., & Shiffrin, R. M. (1992). Models for recall and recognition. *Annual Review of Psychology*, 43(1), 205–234.
- Rahman, S., Hemel, J. N., Anta, S. J. A., & Muhee, H. A. (2018). Sentiment analysis using R: An approach to correlate Bitcoin price fluctuations with change in user sentiments. *BRAC University Institutional Repository*. <http://dspace.bracu.ac.bd/xmlui/handle/10361/10163>
- Rigatti, S. J. (2017). Random Forest. *Journal of Insurance Medicine*, 47(1), 31–39. <https://doi.org/10.17849/insm-47-01-31-39.1>
- Sallis, J., Gripsrud, G., Olsson, U., & Silkoset, R. (2021). *Research methods and data analysis for business decisions*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-84421-9>
- Sami, O., Elsheikh, Y., & Almasalha, F. (2021). The role of data pre-processing techniques in improving machine learning accuracy for predicting coronary heart disease. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120695>
- Sammut, C., & Webb, G. I. (2011). *Encyclopedia of Machine Learning*. Springer Science & Business Media.
- Shah, D., & Zhang, K. (2014). Bayesian regression and Bitcoin. In *2014 52nd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)* (pp. 409–414). <https://doi.org/10.1109/allerton.2014.7028484>
- Suthaharan, S. (2016). *Machine learning models and algorithms for big data classification*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7641-3>
- Tanwar, S., Patel, N. A., Patel, S., Patel, J., Sharma, G., & Davidson, I. E. (2021). Deep Learning-Based Cryptocurrency Price Prediction Scheme with Inter-Dependent relations. *IEEE Access*, 9, 138633–138646. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3117848>
- Vumazonke, N., & Parsons, S. (2023). An analysis of South Africa’s guidance on the income tax consequences of crypto assets. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 26(1). <https://doi.org/10.4102/sajems.v26i1.4832>
- Wang, H., Yao, Y., & Salhi, S. (2020). Tension in big data using machine learning: Analysis and applications. *Technological Forecasting and Social Change*, 158, 120175. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120175>
- Yogish, D., Manjunath, T. N., & Hegadi, R. S. (2019). Review on Natural Language Processing Trends and Techniques using NLTK. In *Communications in Computer and Information Science* (pp. 589–606). https://doi.org/10.1007/978-981-13-9187-3_53
- Zhang, Y., Jin, R., & Zhou, Z. (2010). Understanding bag-of-words model: A statistical framework. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1(1–4), 43–52. <https://doi.org/10.1007/s13042-010-0001-0>



Research Article

Enhancing Network Security: A Comprehensive Analysis of Intrusion Detection Systems

Murat KOCA^{*1}, İsa AVCI²

¹Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 65080, Van, Türkiye

²Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 78000, Karabuk, Türkiye
Murat KOCA, [ORCID No: 0000-0002-6048-7645](https://orcid.org/0000-0002-6048-7645), İsa AVCI, [ORCID No: 0000-0001-7032-8018](https://orcid.org/0000-0001-7032-8018)

*Corresponding author e-mail: muratkoca@yyu.edu.tr

Article Info

Received: 07.09.2024

Accepted: 26.09.2024

Online December 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1545033](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1545033)

Keywords

CBPNN,
Cyber security,
FBPNN,
Intrusion detection systems (IDS),
Logistic regression,
Machine learning

Abstract: Given the increasing complexity and progress of intrusion attacks, effective intrusion detection systems have become crucial to protecting networks. Machine learning methods have become a potential strategy for identifying and reducing such attacks. This paper has conducted a comprehensive analysis of intrusion detection using machine learning methodologies. The aim is to thoroughly examine the current state of research, identify the barriers, and highlight potential solutions in this field. The study begins by analyzing the importance of intrusion detection and the limitations of traditional rule-based systems. Afterward, it explores the underlying principles and concepts of machine learning and how they are practically applied in the field of intrusion detection. This paper provides a comprehensive analysis of different machine learning algorithms, such as decision trees, neural networks, support vector machines, and ensemble methods. The primary objective of this study is to assess the effectiveness and limitations of employing these techniques for identifying various forms of intrusions. Three algorithms are used to classify the NSL-KDD dataset, namely Cascade Backpropagation Neural Networks (CBPNN), Layered Recurrent Neural Networks (LRNN), and Forward-Backward Propagation Neural Networks (FBPNN). Results have shown that CBPNN outperformed by achieving 95% accuracy.

Ağ Güvenliğini Geliştirme: Saldırı Algılama Sistemlerinin Kapsamlı Analizi

Makale Bilgileri

Geliş: 07.09.2024

Kabul: 26.09.2024

Online December 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1545033](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1545033)

Anahtar Kelimeler

CBPNN,
FBPNN,
Lojistik regresyon,
Makine öğrenmesi,
Saldırı tespit sistemleri (IDS),
Siber güvenlik

Öz: Siber saldırılarının artan karmaşıklığı ve ilerlemesi göz önüne alındığında, etkili saldırı tespit sistemlerinin varlığı ağ güvenliğinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Makine öğrenimi yöntemleri, bu tür saldırıları belirlemek ve azaltmak için potansiyel bir strateji haline gelmiştir. Bu makale, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak saldırı tespitinin kapsamlı bir incelemesini gerçekleştirmiştir. Amaç, mevcut araştırma durumunun kapsamlı bir analizini sunmak, engelleri belirlemek ve bu alandaki olası çözümleri vurgulamaktır. Makale, saldırı tespitinin önemini ve geleneksel kural tabanlı sistemlerin kısıtlamalarını inceleyerek başlamaktadır. Ardından, makine öğreniminin temel fikirleri ve kavramları ile saldırı tespiti alanındaki pratik uygulamalarına derinlemesine inmektedir. Bu çalışmada, karar ağaçları, sinir ağları, destek vektör makineleri ve topluluk yöntemleri dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenimi algoritmalarının kapsamlı bir incelemesi sunulmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, farklı saldırı türlerini tespit etmek için bu yöntemleri kullanmanın etkinliğini ve kısıtlamalarını incelemektir. NSL-KDD veri setini sınıflandırmak için üç algoritma kullanılmıştır: Basamaklı Geri Yayılımlı Sinir Ağları (CBPNN), Katmanlı Tekrarlayan Sinir Ağı (LRNN) ve İleri-Geri Yayılımlı Sinir Ağları (FBPNN). Yapılan çalışma sonucunda, CBPNN'nin %95 doğruluk elde ederek daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

1. Introduction

Network Systems have become indispensable in today's interconnected digital environment, serving as a vital component for both organizations and individuals. In order to ensure network security, especially in cloud environments, it is crucial to deploy efficient Intrusion Detection Systems (IDS) due to the growing intricacy and sophistication of intrusion attempts. Implementing intrusion detection is essential for protecting computer networks against unauthorized access, hostile behavior, and potential risks (Zhang et al., 2015; Khraisat et al., 2019; Koca et al., 2021). IDS uses advanced technology and methods to constantly watch and study network activities so that any strange behavior can be found and dealt with quickly (Biermann et al., 2001; Khraisat et al., 2019). This article explores the concept of IDS in computer networks, its significance, and the key methodologies employed in this field. The ever-evolving landscape of cyber threats necessitates robust measures to protect computer networks from potential attacks. IDS serve as the initial barrier against potential threats by continuously monitoring the flow of network data and promptly detecting any abnormal or harmful actions (Ozalp & Albayrak, 2022). IDS can be classified into two main types: Network-Based IDS (NIDS) and Host-Based IDS (HIDS). NIDS examines network traffic at critical junctures in the network, whereas HIDS concentrates on monitoring activities within individual hosts. This multifaceted strategy offers extensive safeguarding and facilitates swift action in the event of suspected security breaches (Rahul-Vigneswaran et al., 2020).

IDS utilize a range of procedures and strategies to efficiently identify intrusions and potential threats. Signature-based detection, often referred to as misuse detection, is comparing network traffic or host activity with a pre-established collection of signatures or patterns linked to recognized threats (García-Teodoro et al., 2009). It is an anomaly-based method that specifically aims to find deviations from established baselines or usual behaviors inside the network or host. This methodology has the capability to identify newly emerged or previously undiscovered forms of attacks. In addition, hybrid detection methods integrate the advantages of both signature-based and anomaly-based approaches to offer a more accurate and full IDS (Zhang et al., 2015; Avcı & Koca, 2023).

The first part of the study talks about why IDS are important and what problems traditional rule-based systems have when used in cloud environments. Cloud networks, characterized by their dynamic nature and large-scale data processing, present unique challenges for intrusion detection. It can be hard for old systems to change to the size and complexity of cloud environments. This makes them less good at finding complex attacks (Çakmak et al., 2021).

This paper explores the core principles and concepts of Machine Learning (ML) and their application in intrusion detection. ML algorithms possess the benefit of being adaptable and scalable, which makes them highly suitable for the ever-changing nature of cloud networks. Decision trees, neural networks, support vector machines, and ensemble methods are just some of the machine-learning techniques that are looked at in detail in this text. A comprehensive analysis is performed to assess the efficacy of several intrusion detection techniques in cloud systems, providing insights into their practical utility.

Furthermore, the paper conducts an empirical analysis using three machine learning algorithms to classify the NSL-KDD dataset (Rai, 2019): Cascade Backpropagation Neural Networks (CBPNN), Layered Recurrent Neural Network (LRNN) and Forward-Backward Propagation Neural Networks (FBPNN). This analysis demonstrates the practical application of machine learning approaches in detecting intrusions in cloud networks. It evaluates the performance of these techniques using a standardized dataset.

These works together enhance the existing knowledge on the subject of intrusion detection in computer networks. Researchers seek to optimize the accuracy and efficacy of intrusion detection systems by utilizing deep learning, machine learning, and tailored methodologies for various network configurations. This objective is to minimize potential risks and safeguard computer networks. This article emphasizes the significance of utilizing machine learning methods to improve intrusion detection in cloud networks. By adopting machine learning techniques, enterprises can enhance their capacity to efficiently identify and address attacks, thus fortifying the security of their cloud systems. The hybrid strategy described in this study yielded noteworthy outcomes.

2. Related Work

Intrusion detection attacks in computer networks are a vital area of research in network security. Several works have been conducted to enhance the capabilities of IDS and improve their accuracy in identifying and responding to malicious activities. [Gao et al. \(2020\)](#) investigates the utilization of deep learning methods to improve intrusion detection. The authors showcase the efficacy of deep learning algorithms in enhancing detection accuracy by amalgamating deep neural networks and feature engineering ([Gao et al., 2020](#)).

[Alazab et al. \(2011\)](#) provides an overview of ML algorithms used in NIDS. The paper evaluates both supervised and unsupervised learning methods, assessing their individual benefits and limitations in the context of IDS. This study explores the application of ML to enhance the efficiency of IDS.

[Can and Sahingoz \(2015\)](#), offers an extensive examination of intrusion detection techniques. The authors discuss signature-based, anomaly-based, and hybrid approaches, providing insights into their respective strengths and challenges. This review serves as a valuable resource for understanding state-of-the-art intrusion detection. [Mitchell & Chen \(2014\)](#) delves into intrusion detection in this unique context. The survey categorizes various intrusion detection techniques and discusses open research issues in the domain of wireless sensor networks. This work provides specialized insights into intrusion detection in this specific setting.

The study conducted by [Zhang et al. \(2015\)](#) investigates the application of deep learning techniques, particularly convolutional neural networks and recurrent neural networks, in the detection of network intrusions. The study encompasses datasets, performance evaluation measures, and issues related to deep learning-based Intrusion Detection System (IDS) models. These models, which utilize machine learning techniques, have garnered considerable interest for their ability to enhance the security of computer networks ([Zhang et al., 2015](#)). These models utilize the capabilities of machine learning algorithms to examine network traffic data and identify any intrusion activities. These algorithms acquire knowledge about the patterns and attributes linked to various sorts of intrusions by undergoing training using labeled datasets that consist of both normal and malicious network traffic. The process of creating a machine learning intrusion detection model involves several distinct stages. Initially, data is collected from several sources, such as network sensors or packet captures, to generate a dataset that encompasses details about network traffic. Preprocessing techniques such as data cleaning, feature extraction, and data normalization may be required for this dataset ([McHugh, 2000](#)).

Our research has made a significant contribution by thoroughly investigating and assessing ML methods for IDS. By assessing various algorithms, including deep learning models like CBPNN, FBPNN, and LRNN, on datasets such as NSL-KDD and using performance metrics like accuracy, precision, recall, and F1-score, the research demonstrates promising results in improving the accuracy and efficiency of IDS. Additionally, it highlights the importance of feature selection techniques and dataset preprocessing in enhancing model performance, thereby providing valuable insights for practitioners aiming to develop effective intrusion detection models. Comparatively, the publications mentioned provide broader overviews of intrusion detection techniques, including deep learning methods, machine learning algorithms, and specialized contexts, but may not delve as deeply into performance evaluation metrics and practical implementation steps.

3. Methodology

This paper presents an efficient NIDS that relies on ML and feature selection approaches. Three different algorithms, namely CBPNN, LRNN, and FBPNN, are used to conduct performance assessments for intrusion detection. Moreover, feature selection approaches are employed to ascertain crucial traits. The process is succinctly outlined in Figure 1.

Feature extraction plays a crucial role in selecting relevant attributes from the raw data that can effectively represent different types of network traffic and potential intrusion patterns. After the dataset has been prepared, ML algorithms can be utilized to train and construct the intrusion detection model. Multiple machine learning techniques can be employed, including decision trees, Support Vector Machines (SVM), Naive Bayes (NB), CBPNNs, and neural networks ([Sommer & Paxson, 2010](#)). The selection of an algorithm is contingent upon aspects such as the intricacy of the data, the need for interpretability, and the distinct attributes of the intrusion detection issue. The model is trained using a

dataset that has been tagged, enabling the algorithm to develop the capability to differentiate between regular and malicious patterns of network traffic. Assessing the performance and effectiveness of the intrusion detection model is essential for its evaluation. Metrics such as accuracy, precision, recall, and F1-score are frequently employed to evaluate the model's capacity to accurately classify both normal and hazardous data examples (Bahlali & Bachir, 2023).

The generalizability of the model can be evaluated by utilizing cross-validation approaches, such as k-fold cross-validation. Validating the model with distinct test datasets is crucial to ensure an impartial review. Nevertheless, there are difficulties in creating intrusion detection models utilizing machine learning. An obstacle that arises is the problem of class imbalance, when the quantity of normal examples greatly exceeds the quantity of malevolent instances, resulting in models that are prejudiced. Furthermore, the constant evolution of intrusion techniques and the appearance of new attack routes necessitate the ongoing update and retraining of the models. Additionally, it is crucial to guarantee the resilience of the model against adversarial assaults, as malicious individuals may deliberately modify network traffic to avoid being detected (Ghosh & Schwartzbard, 1999).

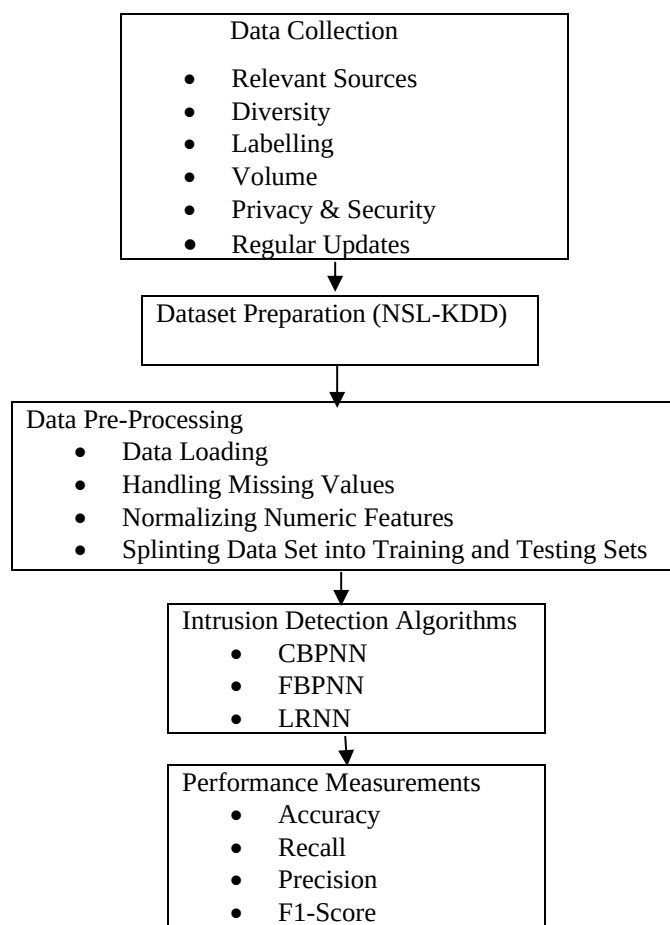


Figure 1. Summary of the research methodology used in the study.

Through the utilization of machine learning methods, these models are able to efficiently examine network traffic data and detect possible instances of intrusion. To ensure the reliability and efficiency of these models in real-life scenarios, it is essential to address challenges, including class imbalance, model updating, and robustness against adversarial attacks (Eskin et al., 2002).

3.1. Research design

This section presents a brief overview of the ML algorithms employed in this work. Moreover, this section outlines the specific benchmarks used in ML methods.

3.1.1 Cascade backpropagation neural network (CBPNN)

The CBPNN (Liu et al., 2016) is a variant of the backpropagation algorithm that has been utilized for classification tasks, including the classification of the NSL-KDD dataset (Yonan & Zahra, 2023). The NSL-KDD dataset is a highly utilized standard dataset in the field of intrusion detection research. It consists of network traffic data that has been categorized into normal and attack instances. The CBPNN network architecture comprises many stages or levels, with each level being trained independently using the usual backpropagation technique. A cascade structure is formed when the output of one level is used as the input for the following level. The aim of this approach is to overcome the constraints of conventional backpropagation algorithms, including sluggish convergence and vulnerability to becoming trapped in local optima.

The training procedure in CBPNN commences with the training of the first level, which typically comprises a smaller number of neurons and is trained to attain a specific degree of accuracy on the training set. Once the appropriate level of precision is attained, the weights of this stage are immobilized, and a new stage is included in the network. The next level is trained by including the outputs of the previous level as supplementary input features. This iterative process persists until the desired number of levels is reached or until the overall accuracy of the training set becomes stable. Each level inside the CBPNN can be seen as a separate classifier, and the final decision is made by combining the outputs of all levels.

The CBPNN is a dynamic structure, but its overall process can be generalized into a single equation that captures its feedforward, backpropagation, and weight update dynamics. Here's how it can be expressed in a condensed form: For the hidden neurons show in Equation 1:

$$\mathbf{w}^{(t+1)} = \mathbf{w}^{(t)} + \eta \cdot \delta^{(t)} \cdot \mathbf{x}^{(t)} \quad (1)$$

where:

- $\mathbf{w}^{(t)}$ represents the set of weights at iteration t ,
- η is the learning rate,
- $\delta^{(t)}$ is the backpropagated error or delta at iteration t (which includes the error calculated at each layer),
- $\mathbf{x}^{(t)}$ represents the input values (which can be outputs from the previous layer),
- The new weights $\mathbf{w}^{(t+1)}$ are updated incrementally through cascading neurons, meaning new hidden neurons and their connections are added iteratively to minimize error further.

In Equation 1 summarizes the core of the CBPNN, where weights are updated based on backpropagated errors and new neurons are added as necessary to improve network performance. The advantage of using CBPNN for classification tasks is that it allows for a hierarchical learning approach, where each level focuses on learning specific features or patterns. This can lead to improved classification accuracy compared to traditional backpropagation algorithms. Nevertheless, the selection of the number of levels and the structure of each level is essential and necessitates meticulous trial and adjustment in order to attain optimal performance. Researchers have investigated the application of CBPNN to improve the precision of intrusion detection in categorizing the NSL-KDD dataset. The researchers have achieved precise categorization of network data as either normal or instances of assault by utilizing the cascade structure and leveraging the hierarchical learning capabilities of CBPNN.

It should be emphasized that the performance of CBPNN, particularly its classification accuracy on the NSL-KDD dataset, is subject to variation based on factors such as the particular implementation, the selection of network architecture, and the adjustment of hyperparameters. Therefore, it is recommended to refer to research papers and studies specifically focused on the application of CBPNN to the NSL-KDD dataset for more detailed and up-to-date information on its classification performance.

3.1.2. Forward-Backward Propagation Neural Networks (FBPNN)

One kind of artificial neural network that finds extensive application in many domains is the FBPNN, which is another name for feed-forward neural networks with backpropagation. These

networks consist of multiple layers of interconnected nodes, commonly referred to as neurons or units. The information is transmitted in a unidirectional manner through the network, starting with the input layer, passing through the hidden layers, and ultimately reaching the output layer. This is why it is referred to as "feedforward". During the forward propagation phase, the input data is transmitted across the network, and each neuron calculates a weighted sum of its inputs, which is then subjected to an activation function. The output of each layer serves as the input for the subsequent layer until it reaches the output layer, which generates the final predictions or outputs. The sigmoid, tanh, and ReLU (Rectified Linear Unit) functions are commonly employed as activation functions in forward-backwards propagation neural networks.

FBPNN, the key operations include forward propagation (to compute the outputs) and backward propagation (to update weights based on the error). The process can be summarized in a single equation that combines both the forward and backward passes show in Equation 2:

$$\mathbf{w}^{(t+1)} = \mathbf{w}^{(t)} - \eta \cdot \nabla_{\mathbf{w}} \mathcal{L}(\mathbf{w}^{(t)}, \mathbf{x}^{(t)}, \mathbf{y}^{(t)}) \quad (2)$$

where:

- $\mathbf{w}^{(t)}$ is the set of weights at iteration t ,
- η is the learning rate,
- $\nabla_{\mathbf{w}} \mathcal{L}$ is the gradient of the loss function $\mathcal{L}$ with respect to the weights $\mathbf{w}^{(t)}$,
- $\mathcal{L}(\mathbf{w}^{(t)}, \mathbf{x}^{(t)}, \mathbf{y}^{(t)})$ is the loss function (e.g., mean squared error or cross-entropy), which depends on the weights $\mathbf{w}^{(t)}$, input data $\mathbf{x}^{(t)}$, and the actual target output $\mathbf{y}^{(t)}$
- The new weights $\mathbf{w}^{(t+1)}$, are updated by moving in the opposite direction of the gradient, minimizing the error.

In the Equation 2 represents the overall process of weight updating in FBPNN, combining both forward and backward propagation in a single step. Forward propagation computes the network output, and backward propagation computes the gradient to adjust weights, reducing the error.

Backpropagation, also known as backward propagation of mistakes, is the crucial process for training the network. It entails computing the gradient of the loss function with respect to the weights and biases of the network. Subsequently, this gradient is employed to modify the network parameters in the opposite direction of the gradient, with the objective of minimizing the loss function and enhancing the model's predictions. Backpropagation utilizes the chain rule of calculus to effectively calculate the gradients in a step-by-step manner, beginning with the output layer and progressing backwards through the network. The backpropagation algorithm iteratively modifies the weights and biases of the network using the computed gradients. This iterative process continues until convergence, which is the point at which the network achieves a state when making further adjustments to the parameters does not appreciably enhance the performance. The learning rate is a crucial hyperparameter that governs the magnitude of the parameter updates.

3.1.3. Layered Recurrent Neural Network (LRNN)

A LRNN is an extension of traditional Recurrent Neural Networks (RNNs), designed to handle complex, hierarchical, and multi-level dependencies in sequential data. By stacking multiple layers of recurrent networks, LRNNs can learn higher-order temporal dependencies across different layers, which allows them to capture both low-level and high-level patterns in sequential data. [Bengio et al. \(1994\)](#) discusses the challenges of learning long-term dependencies in RNNs and introduces deep architectures, which inspired LRNN development.

LRNNs are composed of several layers where each layer passes its hidden state to the next layer. This structure allows different layers to learn different levels of temporal abstraction. The lowest layer focuses on immediate dependencies, while the higher layers capture more abstract, long-term patterns. This hierarchical nature of LRNNs makes them powerful for modeling complex sequences, like those found in natural language processing and time-series forecasting.

- **Multi-Layered Structure:** Multiple layers of recurrent units allow the network to learn features at different levels of abstraction.
- **Improved Learning of Temporal Dependencies:** By having multiple layers, LRNNs can better capture both short- and long-term dependencies compared to shallow RNNs.
- **Depth-Enhanced Representation:** The depth provided by stacking recurrent layers allows LRNNs to represent temporal data in a hierarchical manner.

For a given layer, the hidden state $h_t^{(l)}$ at time step t can be described in Equation 3:

$$h_t^{(l)} = f(W^{(l)} \cdot h_{t-1}^{(l)} + U^{(l)} \cdot h_t^{(l-1)} + b^{(l)}) \quad (3)$$

- $h_t^{(l)}$ is the hidden state of layer l at time step t ,
- $W^{(l)}$ is the weight matrix for the hidden state of layer l ,
- $U^{(l)}$ is the weight matrix connecting the hidden state from the previous layer $l - 1$ to the current layer,
- $b^{(l)}$ is the bias for layer l ,
- f is the activation function (typically Tanh or ReLU).
- In the Equation 3 demonstrates the hierarchical nature of LRNNs, where each layer's hidden state depends on both its previous hidden state and the hidden state of the layer below it.

3.2. Dataset

The NSL-KDD dataset serves as a prevalent benchmark dataset for assessing the effectiveness of intrusion detection systems. The dataset was created as an enhanced iteration of the original KDD Cup 1999 dataset in order to overcome certain constraints and offer a more authentic and demanding setting for intrusion detection research (Tavallaee et al., 2009). The primary purpose of developing the NSL-KDD dataset was to address the limitations of the KDD Cup 1999 dataset, which had problems such as an uneven distribution of classes, redundant and irrelevant characteristics, and an unrealistic testing configuration. The NSL-KDD dataset is characterized by several important aspects.

3.2.1. Dataset composition

The NSL-KDD dataset comprises network traffic data obtained from a simulated computer network environment. The dataset consists of a training set and a testing set, each of which is further separated into two categories: the original version and the modified version.

3.2.2. Labeled instances

The dataset contains tagged instances of diverse network traffic, encompassing both regular traffic and a range of attack kinds. The assaults are classified into four primary categories: Denial of Service (DoS), Probe, Remote to Local (R2L), and User to Root (U2R).

3.2.3. Improved version

The NSL-KDD dataset addresses some of the limitations of the original KDD Cup 1999 dataset. It removes duplicate and redundant records, balances the class distribution, and incorporates a new set of features.

3.2.4. Feature selection

The dataset comprises 41 distinct features derived from network packets and connections. These properties encompass several elements of network traffic, including protocol type, service type, source and destination addresses, and time-related factors.

3.2.5. Training and testing sets

The NSL-KDD dataset provides separate training and testing sets to facilitate the development and evaluation of intrusion detection models. The training set comprises a substantial quantity of examples for the purpose of training, whereas the testing set enables researchers to assess the effectiveness of their models on unfamiliar data. Researchers have extensively utilized the NSL-KDD dataset to create and assess intrusion detection models, compare various methods, and investigate innovative techniques for enhancing network security. Its availability and consistent evaluation setting make it a valuable resource for the intrusion detection community.

3.3. Preprocessing

The preprocessing procedure for the NSL-KDD dataset involves several steps to handle missing values, normalize numeric features, and convert categorical variables into numerical representations.

- **Data Loading:** Load the NSL-KDD dataset into your programming environment. Ensure that you have the necessary libraries or packages to manipulate the dataset.
- **Handling Missing Values:** Check for missing values in the dataset. Missing values may appear as empty cells, NaN (Not a Number), or other placeholders.
- **Determine a suitable approach for managing absent values.** Possible strategies involve removing occurrences with missing values, replacing missing values with the mean, median, or mode, or using advanced imputation techniques like K-nearest neighbors or regression imputation.
- **Normalizing Numeric Features:** Identify the numeric features in the dataset that require normalization. Numeric features typically have a wide range of values.
- **Converting Categorical Variables:** Converting Categorical Variables by Identifying the categorical variables in the dataset. Categorical variables represent qualitative attributes and are typically in the form of text or discrete values.
- **Apply the Chosen Encoding Technique:** Transform the category variables into numerical ones by using the selected encoding method. In contrast to label encoding, which uses a distinct numerical label for each category, one-hot encoding uses binary columns to symbolize each category.
- **Split the Dataset:** Divide the dataset into two halves, one for training and one for testing; make sure that the ratio of attack to normal events is constant between the two. In most cases, a 70-30 or 80-20 split between training and testing is ideal.

4. Results and Discussion

We have evaluated three algorithms, namely CBPNN, FBPNN, and LRNN for IDS. Accuracy, recall, precision, and F1-score were among the many metrics used to assess each method's efficacy. The CBPNN approach achieved accuracy of 0.95, recall of 0.89, precision of 0.92 and F1-score of 0.91. Figure 2 demonstrates a significant level of precision, with the ability to effectively recognize both normal and attack cases.

Figure 3 shows that FBPNN exhibited a precision of 0.87, recall of 0.92, accuracy of 0.90, and F1-score of 0.89. Although slightly lower than the CBPNN algorithm, FBPNN still demonstrates robust performance in identifying intrusion instances.

In Figure 4, LRNN yielded a recall of 0.88, precision of 0.85, F1-score of 0.86, and accuracy of 0.87. While achieving lower metrics compared to the other two algorithms, LRNN still showcases reasonable performance in intrusion detection.

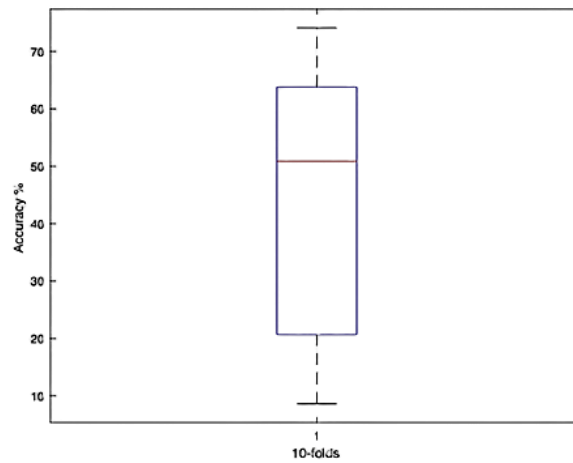


Figure 2. Accuracy of intrusion attack detection using CFBBNN.

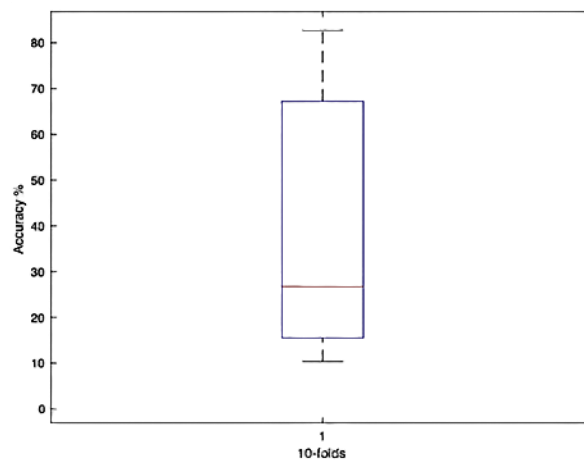


Figure 3. Accuracy of intrusion attack detection using FFNN.

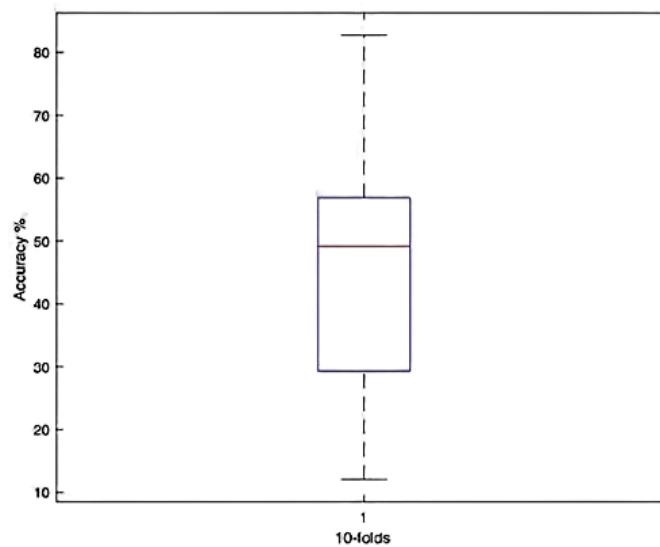


Figure 4. Accuracy of intrusion attack detection using LRNN.

Table 1 shows that CBPNN surpasses the other two algorithms in terms of precision, accuracy, and F1 scores. FBPNN has also exhibited exceptional performance, especially in terms of recall. Despite having relatively poor metrics, LRNN can nevertheless be regarded as a feasible choice for intrusion

detection. The selection of the most appropriate method is contingent upon specific requirements, dataset features, and the intended trade-offs between various performance measures. Therefore, further analysis and experimentation may be necessary to determine the optimal algorithm for a particular intrusion detection task.

Table 1. The feature importance of the NSL-KDD dataset

Algorithm	Accuracy	Recall	Precision	F1-Score
CBPNN	0.95	0.89	0.92	0.91
FBPNN	0.90	0.92	0.87	0.89
LRNN	0.87	0.88	0.85	0.86

Table 1 shows the significance of the features in the NSL-KDD dataset for the three algorithms, offering a further understanding of their behavior. This analysis aids in understanding which features contribute most significantly to the detection of intrusions, thus informing the design and improvement of IDS.

The evaluation of three ML algorithms CBPNN, FBPNN, and LRNN for intrusion detection has provided valuable insights into their performance using various metrics, including precision, recall, accuracy, and F1-score. CBPNN achieved notable results with a precision of 0.92, recall of 0.89, accuracy of 0.95, and an F1-score of 0.91, indicating high accuracy and effectiveness in detecting both normal and attack instances. These metrics demonstrate CBPNN's robust performance in identifying intrusions in Figure 4.

In contrast, FBPNN exhibited slightly lower precision at 0.87 but a higher recall of 0.92, resulting in an accuracy of 0.90 and an F1-score of 0.89, as shown in Figure 3. While its precision may be lower than CBPNN, FBPNN still showcases the strong performance, particularly in recall, indicating its ability to effectively capture instances of intrusion.

LRNN demonstrated a precision of 0.85, recall of 0.88, accuracy of 0.87, and F1-score of 0.86 in Figure 4. Although these metrics are relatively lower compared to CBPNN and FBPNN, LRNN still performs reasonably well in intrusion detection tasks.

Based on these results, it is evident that CBPNN outperforms the other two algorithms in terms of accuracy, precision, and F1 score. FBPNN also demonstrates strong performance, particularly in the recall. LRNN, although trailing behind in metrics, still presents itself as a viable option for intrusion detection.

However, it's important to note that the choice of the most suitable algorithm depends on specific requirements, dataset characteristics, and desired trade-offs between different performance metrics. Therefore, further analysis and experimentation may be necessary to determine the optimal algorithm for a particular intrusion detection task.

4. Conclusions

This study investigated the ways in which intrusion detection systems improved the use of machine learning methods. The objective was to develop efficient models with the ability to accurately identify and classify different types of network intrusions. The evaluation of each algorithm was conducted by considering its strengths, shortcomings, and appropriateness for intrusion detection tasks. The study used many datasets, including the NSL-KDD dataset, to evaluate the effectiveness of the machine learning models. Various performance metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score, were used to assess the effectiveness of the models. The findings indicate that machine learning approaches have shown encouraging outcomes in the field of intrusion detection. The study used machine learning models, namely CBPNN, FBPNN, and LRNN, to detect complex and sophisticated assaults. Among these models, CBPNN showed exceptional accuracy and performed well in identifying such attacks. Ensemble techniques, such as CBPNN and FBPNN, shown robust performance by harnessing the capabilities of several models to enhance detection accuracy. Furthermore, the use of feature selection approaches and dataset preparation significantly contributed to improving the performance of the models. The process of identifying and choosing pertinent characteristics enhanced the effectiveness and precision of detecting network breaches.

References

- Alazab, M., Venkatraman, S., Watters, P., & Alazab, M. (2011). Zero-day malware detection based on supervised learning algorithms of API call signatures. *AusDM*, 11, 171-182.
- Avcı, İ., & Koca, M. (2023). Cybersecurity attack detection model, using machine learning techniques. *Acta Polytechnica Hungarica*, 20(7), 2023–2052.
- Bahlali, A. R., & Bachir, A. (2023). Machine learning anomaly-based network intrusion detection: experimental evaluation. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 654 LNNS, 392–403. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28451-9_34
- Bengio, Y., Simard, P., & Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(2), 157-166. <https://doi.org/10.1109/72.279181>
- Biermann, E., Cloete, E., & Venter, L. M. (2001). A comparison of intrusion detection systems. *Computers & Security*, 20(8), 676–683. [https://doi.org/10.1016/S0167-4048\(01\)00806-9](https://doi.org/10.1016/S0167-4048(01)00806-9)
- Can, O., & Sahingoz, O. K. (2015). A survey of intrusion detection systems in wireless sensor networks. *6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization, ICMSAO 2015 - Dedicated to the Memory of Late Ibrahim El-Sadek*. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2015.7152200>
- Çakmak, M., Albayrak, Z., & Torun, C. (2021). Performance comparison of queue management algorithms in LTE networks using NS-3 simulator. *Technical Gazette*, 28(1), 135-142. <https://doi.org/10.17559/TV-20200411071703>
- Eskin, E., Arnold, A., Prerau, M., Portnoy, L., & Stolfo, S. (2002). A geometric framework for unsupervised anomaly detection. In Barbará, D., Jajodia, S. (Eds). *Applications of data mining in computer security. Advances in Information Security*, vol 6. (pp. 77–101). Springer, Boston. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0953-0_4
- Gao, Y., Li, X., Peng, H., Fang, B., & Philip, S. Y. (2020). Hincti: A cyber threat intelligence modeling and identification system based on heterogeneous information network. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 34(2), 708–722. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2020.2987019>
- García-Teodoro, P., Díaz-Verdejo, J., Maciá-Fernández, G., & Vázquez, E. (2009). Anomaly-based network intrusion detection: Techniques, systems and challenges. *Computers & Security*, 28(1–2), 18–28. <https://doi.org/10.1016/J.COSE.2008.08.003>
- Ghosh, A., & Schwartzbard, A. (1999). A study in using neural networks for anomaly and misuse detection. *Usenix.OrgAK Ghosh, A Schwartzbard8th USENIX Security Symposium (USENIX Security 99)*.
- Khraisat, A., Gondal, I., Vamplew, P., & Kamruzzaman, J. (2019). Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges. *Cybersecurity*, 2(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s42400-019-0038-7>
- Koca, M., Aydin, M., Sertbaş, A., & Zaim A. (2021). A new distributed anomaly detection approach for log IDS management based on deep learning. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 29(5), 2486–2501. <https://doi.org/10.3906/elk-2102-89>
- Liu, Y., Jing, W., & Xu, L. (2016). Cascading model based back propagation neural network in enabling precise classification. *2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, ICNC-FSKD 2016*, 7–11. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2016.7603142>
- McHugh, J. (2000). Testing intrusion detection systems: a critique of the 1998 and 1999 darpa intrusion detection system evaluations as performed by lincoln laboratory. *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC)*, 3(4), 262-294. <https://doi.org/10.1145/382912.382923>
- Mitchell, R., & Chen, I. R. (2014). A survey of intrusion detection in wireless network applications. *Computer Communications*, 42, 1–23. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2014.01.012>
- Ozalp, A. N., & Albayrak, Z. (2022). Detecting cyber attacks with high-frequency features using machine learning algorithms. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(7), 2022–2213. <https://doi.org/10.12700/APH.19.7.2022.7.12>
- Rahul-Vigneswaran, K., Poornachandran, P., & Soman, K. (2020). A compendium on network and host based intrusion detection systems. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 601, 23–30. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1420-3_3

- Rai, S. (2019). NSL-KDD dataset [Dataset]. Kaggle. Access date: 26.12.2024. <https://www.kaggle.com/datasets/sanketrai/nslkdd-dataset>
- Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*, 305–316. <https://doi.org/10.1109/SP.2010.25>
- Tavallaei, M., Bagheri, E., Lu, W., & Ghorbani, A. (2009). A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set. *Second IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CISDA.2009.5356528>
- Yonan, J., & Zahra, N. (2023). Node intrusion tendency recognition using network level features based deep learning approach. *Babylonian Journal of Networking*, 2023, 1–10. <https://doi.org/10.58496/BJN/2023/001>
- Zhang, Y., Huang, H., He, H., Teng, J., & Wang, Z. (2015). Efficient distributed semantic based data and service unified discovery with one-dimensional semantic space. *Journal of Network and Computer Applications*, 49, 78–87. <https://doi.org/10.1016/J.JNCA.2014.11.008>



Research Article

Biogenic Synthesis, Characterization and Degradation of Methylene Blue Dye of Zinc Oxide Nanoparticles from Different Zinc Salts Using *Cinnamomum verum* Extract

Burcu AYDOĞDU^{*1}, İlkay ÜNAL²

¹Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 62000, Tunceli, Türkiye

²Munzur University, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture Education, Department of Gastronomy and Culinary Arts, 62000, Tunceli, Türkiye

Burcu AYDOĞDU, ORCID No: 0000-0002-3309-1995, İlkay ÜNAL, ORCID No: 0000-0002-1587-4187

*Corresponding author e-mail: burcuaydogdu@munzur.edu.tr

Article Info

Received: 20.07.2024

Accepted: 11.11.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1518986

Keywords

Biogenic,
DPPH,
Methylene blue dye,
Total phenolic content,
Zinc oxide nanoparticle

Abstract: In this study, zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) were synthesized using *Cinnamomum verum* extract from different zinc salts such as zinc acetate, zinc nitrate, zinc sulfate, and zinc chloride. The synthesized ZnONPs were characterized using X-ray diffraction (XRD), dynamic light scattering (DLS), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and transmission electron microscopy (TEM). Additionally, The photocatalytic activities of ZnO nanoparticles were tested in the presence and absence of sunlight. *Cinnamomum verum* extract was analyzed for DPPH radical scavenging activity and total phenolic content (TPC). The study results showed that the type of zinc salt used significantly affects the morphology, size, and crystal structure of the ZnO nanoparticles. ZnONPs synthesized from zinc acetate (ZnONPsA) showed superior photocatalytic activity in the presence and absence of sunlight.

Cinnamomum verum Ekstraktı Kullanılarak Farklı Çinko Tuzlarından Elde Edilen Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Biyojenik Sentezi, Karakterizasyonu ve Metilen Mavisinin Bozunması

Makale Bilgileri

Geliş: 20.07.2024

Kabul: 11.11.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1518986

Anahtar Kelimeler

Biyojenik,
Çinko oksit nanopartikül,
DPPH,
Metilen mavisi boyası,
Toplam fenolik içerik

Öz: Bu çalışmada çinko asetat, çinko nitrat, çinko sülfat ve çinko klorür gibi farklı çinko tuzlarından *Cinnamomum verum* ekstraktı kullanılarak çinko oksit nanopartikülleri (ZnONP'ler) sentezlendi. Sentezlenen ZnONP'ler, X-ışını kırınımı (XRD), dinamik ışık saçılımı (DLS), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) kullanılarak karakterize edildi. Ayrıca ZnO nanopartiküllerinin fotokatalitik aktiviteleri güneş ışığının varlığında ve yokluğunda test edildi. Tarçın ekstraktı DPPH radikal temizleme aktivitesi ve toplam fenolik içerik (TPC) açısından analiz edildi. Çalışma sonuçları, kullanılan çinko tuzunun türünün ZnO nanopartiküllerinin morfolojisini, boyutunu ve kristal yapısını önemli ölçüde etkilediğini gösterdi. Çinko asetatından (ZnONPsA) sentezlenen ZnONP'ler her iki durumda da üstün fotokatalitik aktivite gösterdi.

1.Introduction

Nanotechnology has wide applications in many fields, including medicine, electronics, environmental science, and materials engineering, as it involves the design, production, and application of materials, devices, and systems at the nanometer scale (Naiel et al., 2022). Nanoparticles exhibit several important properties that make them so interesting such as their high surface-to-volume ratio, chemical reactivity, optical properties. These feature make nanoparticles more reactive than bulk materials (Khan et al., 2019). Zinc oxide (ZnO) nanoparticles, one of the most important functional nanoparticles, are a semiconductor with a high exciton energy (60 meV) and a wide band gap (3.37 eV)

(Bhandari et al., 2023). Zinc oxide (ZnO) nanoparticles have attracted great attention due to their various uses in electronics, optoelectronics, catalysis and biomedical applications (Sajid & Płotka-Wasyłka, 2020; Zhou et al., 2023). ZnO nanoparticles have outstanding properties such as high surface area, chemical stability, photocatalytic activity, and biocompatibility, making them ideal candidates for sunscreens, antimicrobial coatings, and wastewater treatment applications (Fahmy et al., 2016; Tănase et al., 2021). Methylene blue (MB) dye is used as an important model pollutant in water pollution and environmental cleanup. MB is a synthetic dye widely used in the textile industry and other industries and is soluble in water. Effective and sustainable methods are needed to reduce the environmental impacts of such organic pollutants (Venkatesan et al., 2022; Fito et al., 2023). In addition, ZnO nanoparticles exhibiting variable morphologies have a very strong antibacterial effect on gram-negative and gram-positive bacteria (Sirelkhatim et al., 2015). Nanoparticles can be synthesized using physical, chemical, and biological methods. Physical and chemical synthesis of nanoparticles involves methods like ball milling, laser ablation, and sol-gel processes; however, these methods come with disadvantages such as high costs, requiring special equipment and potential environmental and health risks from toxic chemicals (Iravani et al., 2014; Nyabadza et al., 2023). In recent years, green synthesis of nanoparticles has emerged as a sustainable alternative by using natural sources to reduce metal salts into nanoparticles. This method uses natural sources such as plant extracts, microorganisms, and even biowaste to reduce metal ions to their nanoparticle form (Kulkarni et al., 2023; Osman et al., 2024). Plant extracts are widely used for nanoparticle synthesis due to several advantages. This process is environmentally friendly as well as cost effective, using the rich phytochemical composition of plants as reducing, coating and stabilizing agents (Kazemi et al., 2023). Gold (Au), silver (Ag), platinum (Pt), palladium (Pd), zinc oxide (ZnO), titanium dioxide (TiO₂), copper oxide (CuO) and iron oxide (Fe₃O₄) are synthesized from biological resources like plant extracts, which act as reducing and stabilizing agents (Zuhrotun et al., 2023; Aigbe & Osibote, 2024; Prabu & Losetty, 2024; Saod et al., 2024). *Cinnamomum verum* is widely used in traditional medicine due to its medicinal properties. *Cinnamomum verum* plants are rich in bioactive compounds such as polyphenols, flavonoids, and terpenoids, which exhibit potent antioxidant and antimicrobial activities (Błaszczuk et al., 2021; Das et al., 2022). These phytochemicals are effective in the synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnONPs). Despite the extensive literature on the effect of synthesis parameters on ZnO formation, the role of synthesis parameters in the evolution of ZnO photocatalytic properties is still not fully understood. Catalysis is a photochemical oxidative process in which the semiconductor surface is activated by UV light and produces free radicals (Prasad et al., 2020). Factors such as the synthesis method, the presence of surface contaminants, and counterions from the precursors used in the synthesis affect the catalytic activity of the material. In addition, a relationship needs to be established between synthesis parameters, morphological properties, and photocatalytic activity of ZnO particles (Rezapour & Talebian, 2011).

This study investigated the synthesis of ZnONPs by biogenic synthesis method with different zinc salts and the synthesis parameters were correlated with the photocatalytic activity of the material using MB degradation as a probe reaction. The precipitation method and different precursor salts were investigated for the photoactivity of the products. *Cinnamomum verum* extract was also used as a substrate for biological synthesis. The aim of this study was to gain a better understanding of how the synthesis method affects the structural, morphological and photocatalytic activity of ZnO in determining their roles.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

All chemicals used in the study were of analytical grade and did not undergo any further purification. Zinc acetate (Zn(CH₃CO₂)₂·2H₂O, 98%), Zinc Nitrate (Zn(NO₃)₂·6H₂O, 98%), Zinc Sulfate (ZnSO₄·7H₂O, 99%), Zinc Chloride (ZnCl₂, 85%), Potassium hydroxide (KOH, 85%) were obtained from Sigma-Aldrich. The *Cinnamomum verum* was purchased from the local market.

2.2. Preparation of plant extract

Cinnamomum verum purchased from the spice shop was washed thoroughly with distilled water to remove impurities. The extract concentration was prepared by dissolving 0.5 g of the plant material

in 50 mL of distilled water, and then incubated at 40°C for 24 hours. The extract was then filtered through white band filter paper and kept at 4°C (Aydoğdu et al., 2024).

2.3. Determination of antioxidant activity /capacity of *Cinnamomum verum* extract

2.3.1. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay

DPPH assay is a widely used method to measure the antioxidant capacity. This method is based on the reduction of the free form of DPPH, which is a radical, in the presence of antioxidants (Kedare & Singh, 2011). DPPH assay was performed according to the Marin-Flores et al. (2021) method (Marin-Flores et al., 2021). Briefly, 2.9 mL of DPPH reagent (0.1 mM in ethanol) was added to 0.1 mL of *Cinnamomum verum* extract or standard and mixed vigorously. The reaction mixture was stored in the dark at room temperature for 30 min, and the color change of DPPH was measured against a blank at 518 nm using UV-Vis spectrophotometer. Calibration was performed with six Trolox standards in the range of 5-100 mg/L. Linear calibration curves were drawn with $R^2=0.9982$ (Figure 1), and the results were calculated as Trolox equivalents per gram of dry sample. The percentage of inhibition was calculated using the following formula:

$$\text{Inhibition \%} = \frac{A_{(\text{control})} - A_{(\text{test sample})}}{A_{(\text{control})}} \times 100 \quad (1)$$

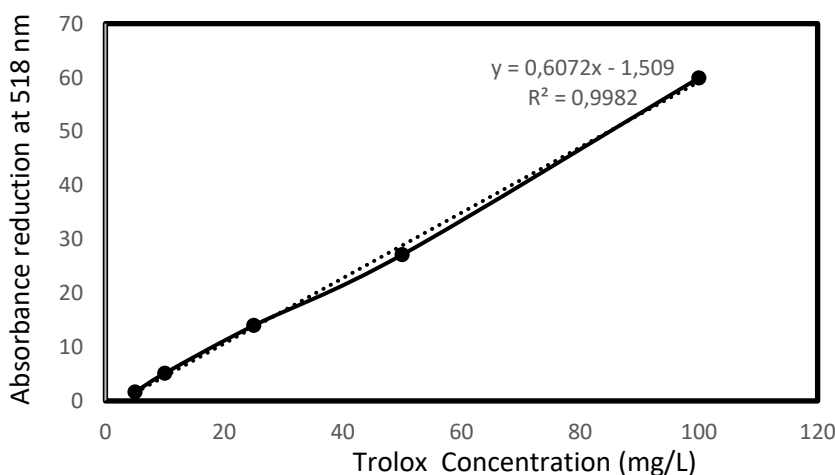


Figure 1. Trolox concentration vs absorbance of DPPH standard curve.

2.3.2. Determination of total phenolic contents

Total phenolic contents (TPC) were determined according to Folin-Ciocalteu's methods (Libbey & Walradt, 1968). Firstly, 0.5 mL of *Cinnamomum verum* extract, 1 mL of 1N Folin-Ciocalteu reagent and 1 mL of 20% Na_2CO_3 (w/v) were mixed. Then, the mixture was incubated at room temperature for 2 hours and measured with a UV-Vis spectrophotometer at 765 nm. A calibration curve was determined in the concentration range of 25-1000 mg/mL ($y = 0.00008x - 0.0068$; $R^2 = 0.9981$; y is absorbance, x is gallic acid concentration). The results were given as mg gallic acid equivalent (GAE)/1 mg *Cinnamomum verum* extract.

2.4. Green synthesis of ZnONPs using different zinc salts

ZnONPs were synthesized from four different zinc salts using *Cinnamomum verum* extract. 25 mL of 0.1 M zinc salts solutions were prepared separately. 25 mL of 0.1 M zinc salt solutions were prepared separately and kept in a 60°C water bath for 1 hour. 25 mL of *Cinnamomum verum* extract was added to the zinc salt solutions and the pH was adjusted to 6 with 1 M KOH solution. The mixture was left in the shaking water bath at 60°C for another 2 hours. Then, the solution was centrifuged at 5000 rpm for 15 min, washed several times with distilled water, and dried in an oven at 40 °C for 24 h (Aydoğdu et al., 2024). Figure 2 shows the stages of ZnO nanoparticle synthesis synthesized from four different zinc salts using *Cinnamomum verum* extract and green synthesis mechanism for producing ZnO

nanoparticles. Biosynthesis nanoparticles were coded as ZnONPsC (chloride salt), ZnONPsA (acetate salt), ZnONPsS (sulphate salt), ZnONPsN (nitrate salt).

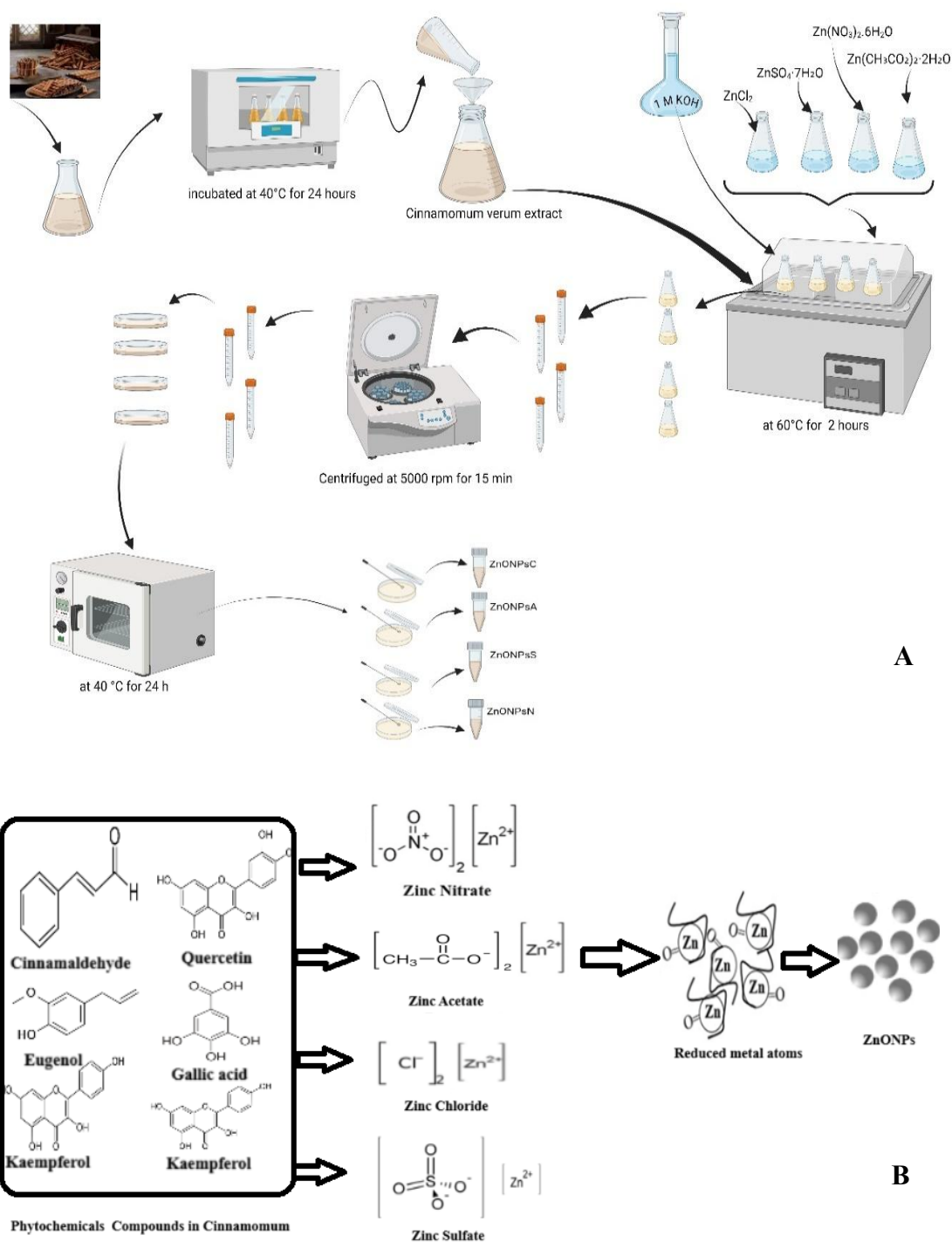


Figure 2. A) Schematic showing of ZnO NP synthesis from different zinc salts B) Green synthesis mechanism for producing ZnO nanoparticles.

2.5. Characterization of zinc oxide nanoparticles

X-ray diffractometer (XRD) was determined using Rigaku Miniflex (Japan) over the 2θ angle range from 20° to 80. Particle size and zeta potential value were determined using a Malvern Zetasizer

Nano ZSP. For Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis, ATR-FTIR 6700 Jasco (Japan) was used in the range of 4000–400 cm⁻¹. Structural feature of NPs was determined using transmission electron microscopy/TEM (JEOL Brand, JEM-1011). DPPH, TCP and methylene blue degradation measurements were determined by UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu UV-1800).

2.5.1. Catalytic activity on degradation of methylene blue (MB) dye

The catalytic activity of the synthesized ZnO NPs was evaluated by MB degradation under direct sunlight and in the dark. 15 mL of MB (100 ppm, pH: 10) was placed in a beaker containing 15 mg ZnONPs. The mixture was stirred on a magnetic stirrer at 145 rpm for 90 minutes and then centrifuged at 5000 rpm for 5 minutes. The absorbance was measured with a UV-visible spectrometer at 664 nm and the photodegradation percentage of MB (photocatalytic efficiency of ZnO) in aqueous medium was calculated by the following equations:

$$\eta = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

where η is photodegradation percentage, C_0 is the initial dye concentration without catalyst and C is the final dye concentration with catalyst after 90 min (Saeed et al., 2015).

3. Results and Discussion

3.1. DPPH radical scavenging of *Cinnamomum verum* extract

The *Cinnamomum verum* extract with a concentration of 10 g/L that is DPPH free radical scavenging activity was found to be 128 mg/L, indicating its strong antioxidant properties. This high value suggests that *Cinnamomum verum* extract can effectively neutralize free radicals, making it a potent natural antioxidant source. Previous studies reported that *Ceylon Cinnamomum* showed 60.49 ± 0.48 to 107.69 ± 2.01 mg Trolox equivalent (Abeysekera et al., 2013). With a different approach, Sudan et al. performed DPPH radical scavenging assay of aqueous Cinnamon bark extracts and reported that they showed high radical scavenging activity with IC₅₀ 122 mg/ml (Sudan et al., 2013).

3.2. Total Phenolic Contents of *Cinnamomum verum* extract

The total phenolic content of the *Cinnamomum verum* extract was found to be 290,62 mg Gallic Acid Equivalents per gram (mg GAE/g). This high phenolic content indicates that *Cinnamomum verum* extract is rich in phenolic compounds, which contribute significantly to its antioxidant properties. Song et al. (2010) measured the total phenolic content of 56 Chinese medicinal herbs by the Folin-Ciocalteu method. They determined that the plants had TPC values between 0.18 ± 0.01 and 59.43 ± 1.03 mgGAE/g (Song et al., 2010).

3.3. XRD results

The XRD results of ZnONPs synthesized with different salts are given in Figure 3. The XRD spectra of ZnONP samples showed an intense diffraction peak corresponding to (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004) and (202) planes (JCPDS 36-1451) (Talam et al., 2012) (Table 1). The average nanoparticle crystallite size was calculated from the XRD peak using the Debye-Scherrer equation. Crystallite size varied between samples. ZnONPsC had the smallest crystallite size (20.04 nm) and ZnONPsS was the largest (24.34 nm). The XRD data clearly shows that all four ZnO nanoparticle samples have similar crystallographic structures but differ in crystallite sizes. This variation could impact their physical and chemical properties (Abdullah et al., 2024).

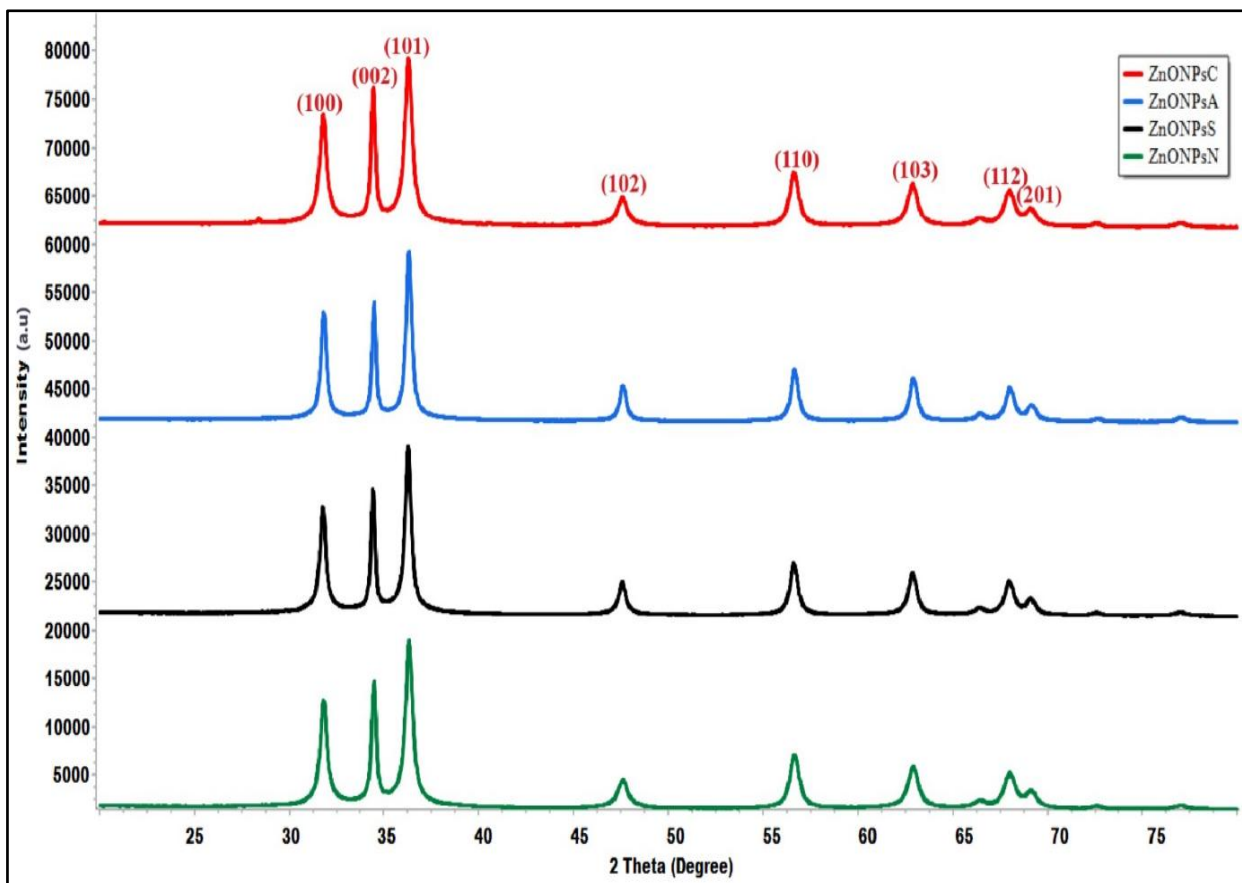


Figure 3. X-ray diffraction pattern of ZnONPsC, ZnONPsA, ZnONPsS and ZnONPsN.

Table 1. Average XRD crystallite size of the ZnONPs

Peak Number	Planes	2θ			
	hkl	ZnONPsC	ZnONPsA	ZnONPsS	ZnONPsN
1	100	31.8	31.82	31.78	31.82
2	002	34.44	34.48	34.43	34.48
3	101	36.29	36.31	36.28	36.32
4	102	47.57	47.60	47.57	47.6
5	110	56.63	56.65	56.61	56.66
6	103	62.88	62.91	62.87	62.91
7	112	67.98	67.99	67.95	68.01
8	201	69.10	69.14	69.10	69.14
Crystallite Size(nm)		20.04	22.09	24.34	21.38

3.4. FT-IR Results

Functional groups of phytochemicals responsible for the synthesis of ZnONPs were determined by FT-IR (Figure 4). The FTIR broad peak at 3400 cm^{-1} displayed in the spectra of *Cinnamomum verum* extract confirms the intermolecular hydrogen bonding. The FTIR bands for *Cinnamomum verum* extract recorded at 2353 cm^{-1} , 2148 cm^{-1} , and 1636 cm^{-1} indicate the presence C–H, N=N and C=C bendings respectively (Figure 4) (Baratta et al., 2003). The bands observed at 1191 cm^{-1} and 1118 cm^{-1} were assigned to alcohols and phenolic groups, C–N stretching vibrations of aliphatic and aromatic amines (Sangeetha et al., 2011). The band at 704 cm^{-1} is attributed to N–H deformation bands. Similar spectra were obtained for ZnONPs synthesized using *Cinnamomum verum* extract (Figure 4). The bands observed in the ranges of $3900\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$, $3500\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ and at approximately $\sim 2900\text{ cm}^{-1}$ were assigned to O–H stretching of alcohols and C–H stretching of alkanes. In the spectrum of all ZnONPs,

the absorption peaks at approximately $1581\text{--}1572\text{ cm}^{-1}$ belong to C=C stretching and similarly, the absorption peaks at approximately $1407\text{--}1384\text{ cm}^{-1}$ belong to C–C stretching vibrations. These C=C stretching and C–C stretching vibrations are due to polyphenols responsible for the reduction and stabilization of NPs. The bands at around $\sim 890\text{ cm}^{-1}$ are attributed to primary amine bands. The peaks in the region between around 600 cm^{-1} are assigned to ZnO (Figure 4) (Taş et al., 2000).

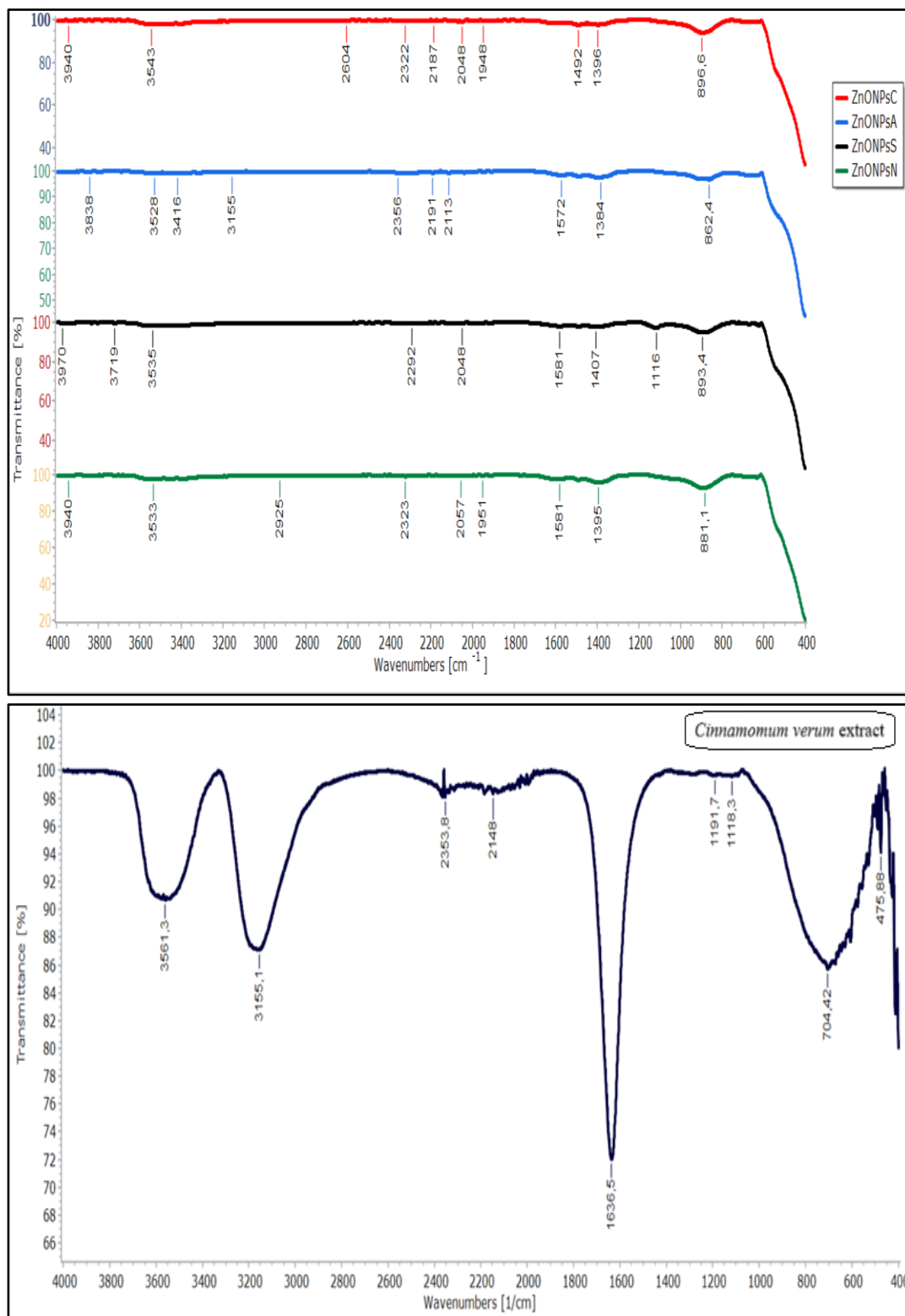


Figure 4. Fourier transform infrared pattern of ZnONPsC, ZnONPsA, ZnONPsS, ZnONPsN and *Cinnamomum verum* extract.

3.5. TEM results

TEM analysis was used to determine the morphologies and sizes of ZnONPs synthesized with different zinc salts (Figure 5). The results show that the significant impact of different zinc salts on the morphology and size of ZnONPs. ZnONPsC exhibited a mixture of rhombic, spherical, hexagonally clustered and wide-size distribution. ZnONPsA and ZnONPsS showed the formation of needle-shaped and flower-like structure morphology. This may be due to the ions promoting anisotropic growth. ZnONPsN produced more irregularly shaped such as spherical, nanorods nanoparticles with a broader size distribution ranging from 40 to 100 nm and some aggregation, due to the rapid release of nitrate ions which accelerates nucleation. This rapid nucleation might lead to less controlled growth, resulting in varied shapes and sizes. These findings demonstrate the significant effect of zinc salt type on the resulting morphology of zinc oxide nanoparticles. Previous studies have reported similar results ([Mayekar, 2014](#); [Shankar & Rhim, 2019](#); [Abdelkader et al., 2022](#)).

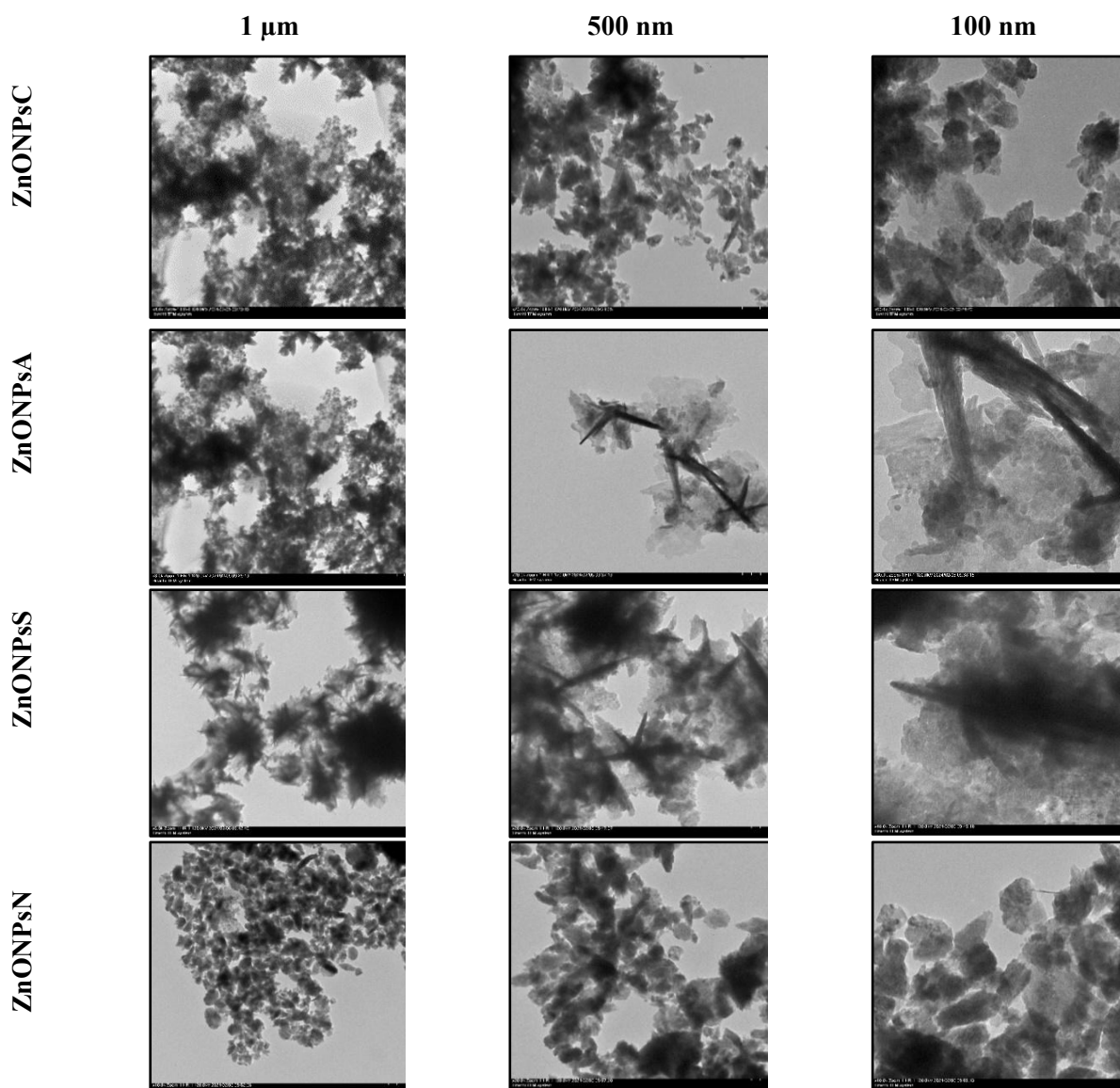


Figure 5. TEM images of ZnONPs synthesized from different zinc salts.

3.6. DLS and Zeta potential results

Zeta potential and dynamic light scattering (DLS) analysis were used to determine the size distribution and surface charge properties of the nanoparticles. Zeta potential provides important information about the stability of nanoparticles. High zeta potential values (above +30 mV or below -30 mV) indicate strong repulsive forces between particles, indicating that the suspension is stable. Conversely, low zeta potential values increase the likelihood of particles coming closer together, leading to agglomeration or sedimentation (Rasmussen et al., 2020). According to the zeta potential results, ZnONPsS had the highest zeta potential value with -23 ± 0.7 mV (Figure 6c) followed by ZnONPsN with -22.7 ± 0.7 mV (Figure 6d). ZnONPsC zeta potential value was found to be 21.5 ± 0.8 mV (Figure 6a). ZnONPsA showed the lowest zeta potential value at -9.56 ± 1.02 mV (Figure 6b). The zeta potential of nanoparticles is affected by their size, shape, surface functionalization, and chemical composition. Smaller nanoparticles and different geometries influence charge distribution, while modifications like chemical groups and coatings change surface charges, impacting the zeta potential (Leroy et al., 2011; Ovanesyan et al., 2016). Sulfate and nitrate ions, due to their high charge density, cause higher negative surface charges on the surface of the nanoparticles. These ions can bind more tightly on the surface of zinc oxide nanoparticles through electrostatic attraction, thereby increasing the surface charge density (Pourrahimi et al., 2014). Zinc acetate, zinc nitrate, zinc sulfate, and zinc chloride are all highly soluble in water. Specifically, zinc acetate has a solubility of approximately 430 g/L, zinc sulfate about 540 g/L, zinc nitrate around 1840 g/L, and zinc chloride has an extremely high solubility of approximately 4320 g/L. It was observed that nanoparticles synthesized from zinc chloride had a high size distribution (Table 2). In general, the nanoparticle size distribution increased due to the increase in the solubility of the salts (ZnONPsA < ZnONPsN < ZnONPsS < ZnONPsC). The high solubility of zinc salt can further accelerate nucleation, reduce control over particle growth, and cause a wider distribution of particle sizes and more aggregation. Another important factor in DLS analysis is the polydispersity index (PDI). PDI is a critical parameter to determine the homogeneity of the size distribution of particles. A PDI value between 0.05 and 0.7 indicates a monodisperse particle size distribution, while a value greater than 0.7 indicates a broad particle size distribution (Danaei et al., 2018). According to the results in Table 2, the PDI value of the nanoparticles is ZnONPsA < ZnONPsC < ZnONPsN < ZnONPsS. However, only ZnONPsS was found to have a broad size distribution with a value greater than 0.7.

Table 2. Zeta potential value and size distribution of ZnONPs synthesized from different zinc salts

Samples	T (°C)	Z-Ave (nm)	PdI	ZP (mV)	Mobility (μmcm/Vs)	Conductivity (mS/cm)
ZnONPsC	25	1866	0,518	-21,5	-1,686	0,00811
ZnONPsA	25	400,6	0,376	-9,56	-0,7505	0,00978
ZnONPsS	25	880,4	0,725	-23	-1,8	0,00539
ZnONPsN	25	802,3	0,53	-22,7	-1,782	0,00798

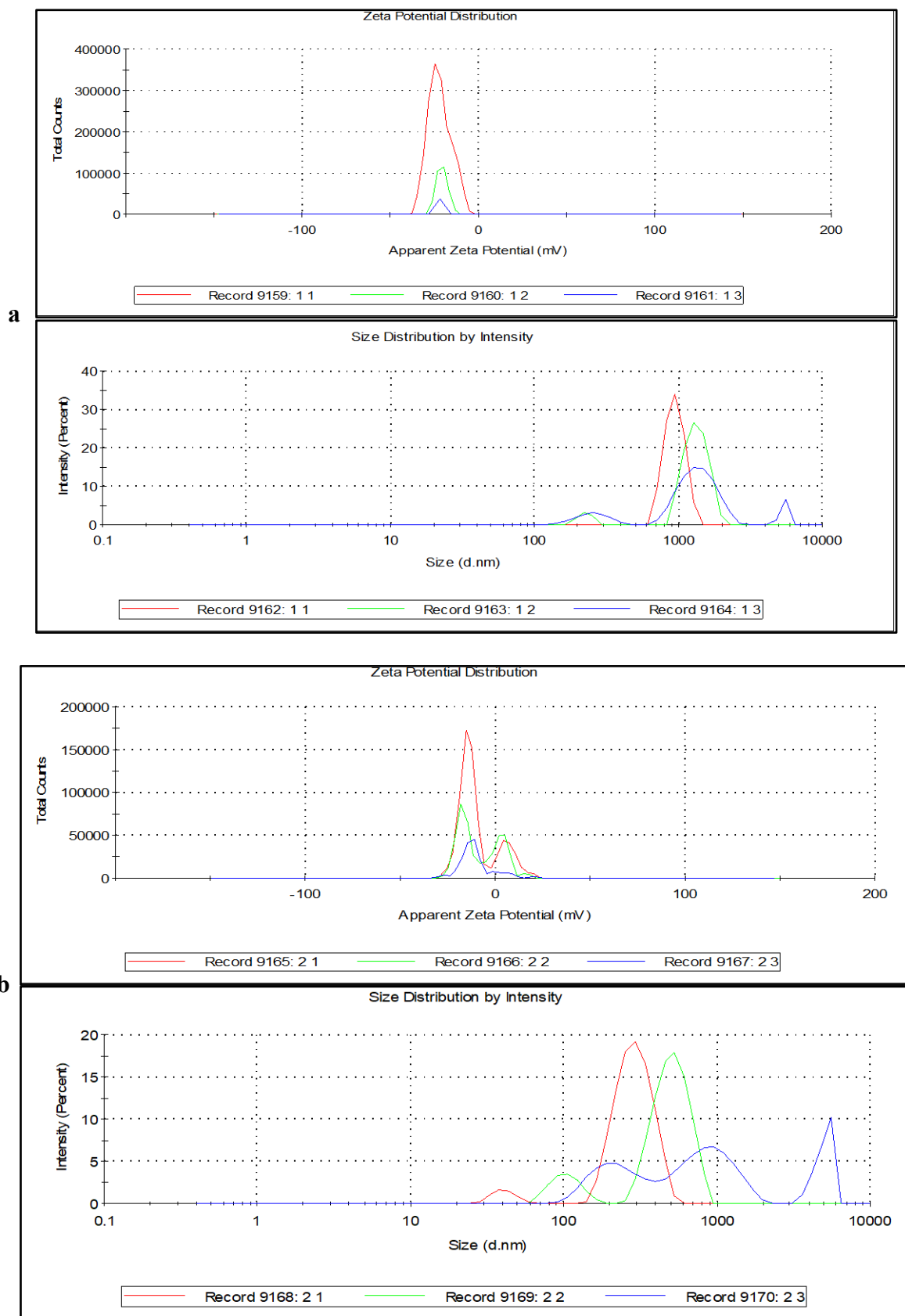


Figure 6. Zeta potential and size distribution graphs of ZnO NOPs synthesized from different zinc salts
a) ZnONPsC b) ZnONPsA c) ZnONPsS d) ZnONPsN.

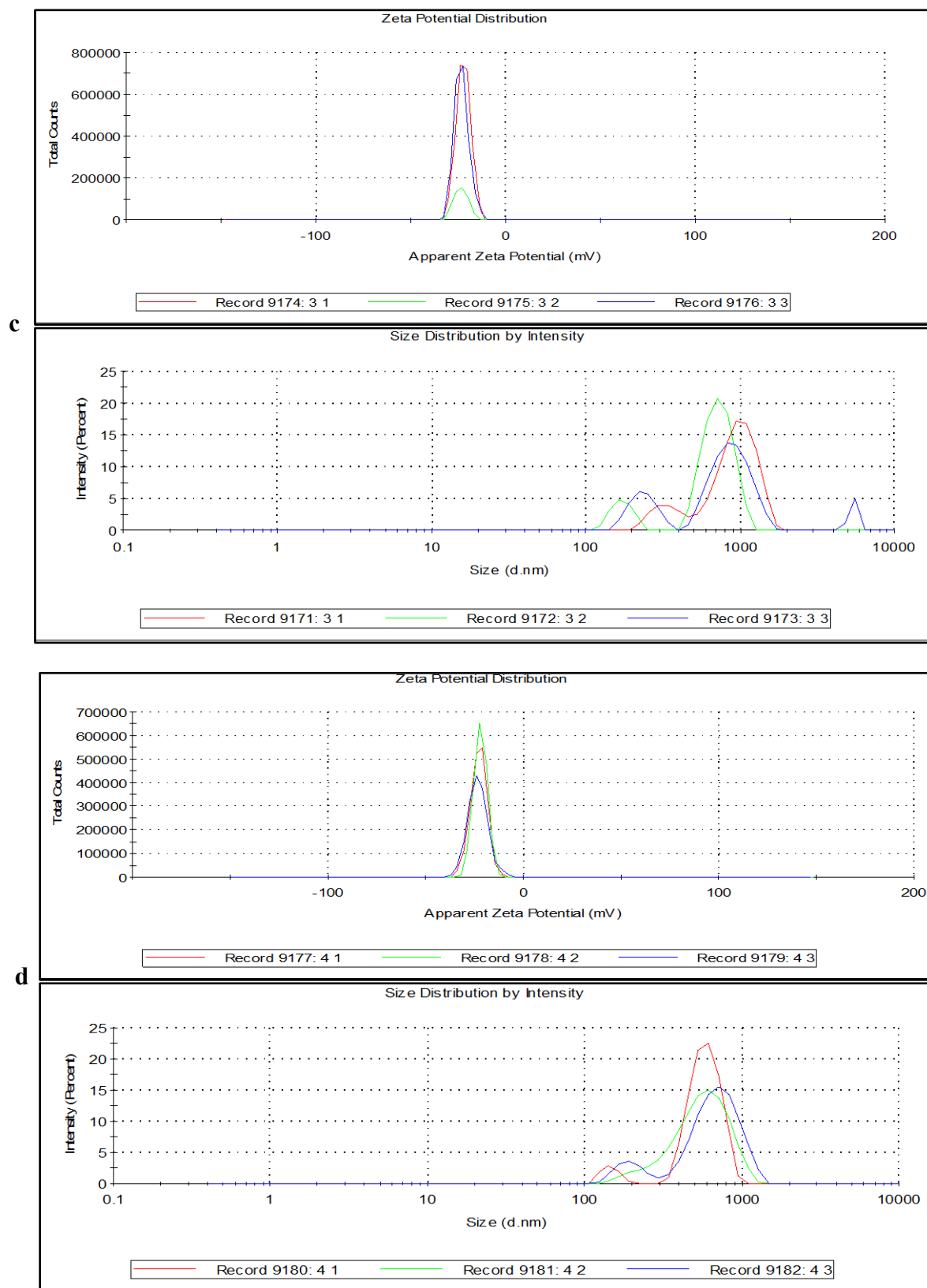


Figure 6. Zeta potential and size distribution graphs of ZnO NOPs synthesized from different zinc salts a) ZnONPsC b) ZnONPsA c) ZnONPsS d) ZnONPsN (continue).

3.7. Effect of ZnO nanoparticle on photodegradation of MB

The effect on the photocatalytic efficiency of ZnONPs synthesized using different salts is presented in the graph in the presence and absence of sunlight (Figure 7). The percentage of photodegradation in the absence of sunlight is significantly lower for all samples than in the presence of sunlight. The Photocatalytic activity in the presence of sunlight is relatively high for all samples, indicating the effectiveness of the ZnO nanoparticles under photocatalytic conditions. ZnONPC has the highest removal efficiency in sunlight (79.431%), closely followed by ZnONPN (78.976%). The Photocatalytic activity of absence sunlight is much lower, with ZnONP A showing the highest removal (20.88%) and ZnONP N the lowest (3.43%). The increase in crystallite size, calculated from XRD data, results in a higher available surface area for the adsorption of more oxygen and the photogeneration of more electrons and holes (Steffy et al., 2018). Various factors affect the photocatalytic activity of the material, including surface area, particle size, adsorption, and calcination temperature (Gaim et al., 2019). The differences in crystallite size among the samples do not appear to significantly impact their efficiency in sunlight, although there is a noticeable variance in their performance in the absence of sunlight. The data suggests that ZnO nanoparticles are highly effective as photocatalysts for dye removal when exposed to sunlight. Addinately, photochemicals transferred from plant extracts during biosynthesis may be effective in the formation of radicals required for the photocatalytic degradation of MB.

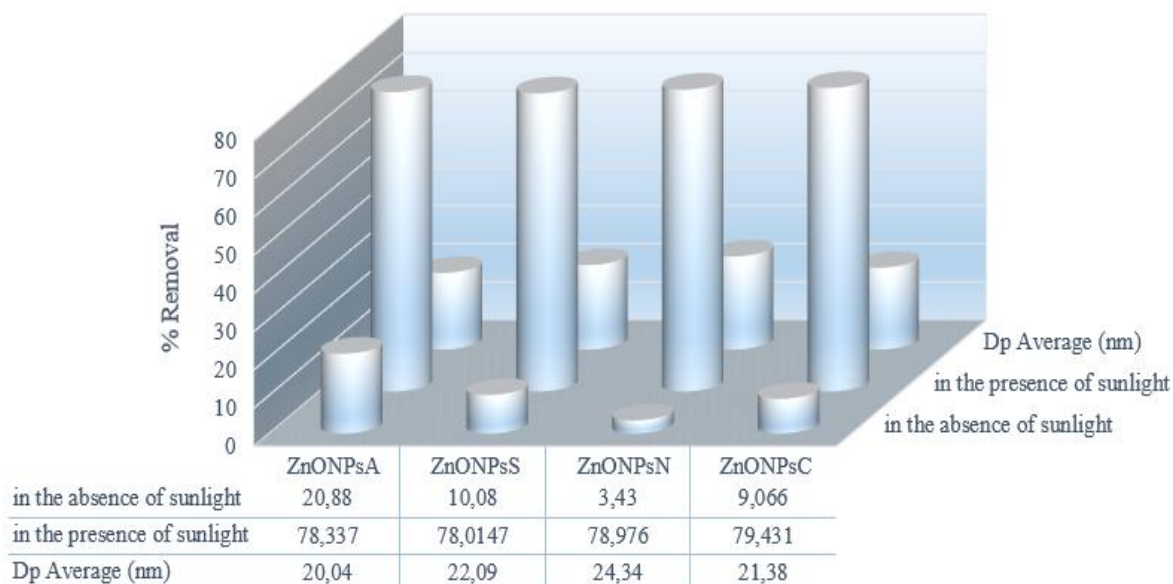


Figure 7. Photodegradability of MB dye by the ZnONPs catalyst in the presence and absence of sunlight.

4. Conclusion

In this research, ZnONPs were successfully biosynthesized using *Cinnamomum verum* extract and a unique eco-friendly route was provided to synthesize ZnO NPs with size and morphology characteristics using different zinc salts (zinc acetate, zinc nitrate, zinc sulfate and zinc chloride). XRD, DLS, FT-IR and TEM confirmed that the different zinc salts used in the synthesis process significantly affect the morphology, size and crystal structure of the resulting nanoparticles. Zinc chloride salts synthesized rhombic, spherical and hexagonally clustered ZnONPs with a wide size distribution. At the same time, zinc acetate and zinc sulfate formed needle-shaped and flower-like structures, respectively, probably due to the ions promoting anisotropic growth. Additionally, nitrate salt produced more irregularly shaped nanoparticles, such as spherical and nanorods, with a wider size distribution. All ZnONPs exhibited similar crystal structures with different sizes. Different zinc salts are critical in determining the characteristics and effectiveness of ZnO nanoparticles. ZnONPsA showed the highest photocatalytic efficiency in degrading methylene blue (MB) dye. In particular, needle-shaped and

flower-like ZnO particles were found to exhibit a remarkable efficiency increase compared to spherical particles. It was observed that the photocatalytic efficiency was not affected by the size of ZnO particles, but the geometrical factor was significant. Additionally, *Cinnamomum verum* extract has been found to have strong antioxidant properties by DPPH testing and total phenolic content analysis. Synthesized through a green, biogenic method. This study highlights the synthesis of ZnO nanoparticles with an environmentally friendly method and the importance of their applications in biomedical fields. Moreover, the photocatalytic ability of ZnO nanoparticles can be exploited in environmental protection strategies.

Author Contributions

The first and second authors conceived the main conceptual ideas. The first author performed the experiment. The second author wrote the article with the support of the first author. All authors read and approved the final version of the paper.

Conflicts of Interest

All the authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This research did not receive any funding. We acknowledge the author for their contributions

References

- Abdelkader, D. H., Negm, W. A., Elekhawy, E., Eliwa, D., Aldosari, B. N., & Almurshedi, A. S. (2022). Zinc Oxide nanoparticles as potential delivery carrier: Green synthesis by aspergillus niger endophytic fungus, characterization, and in vitro/in vivo antibacterial activity. *Pharmaceutics*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ph15091057>
- Abdullah, J. A. A., Guerrero, A., & Romero, A. (2024). efficient and sustainable synthesis of zinc salt-dependent polycrystal zinc oxide nanoparticles: comprehensive assessment of physicochemical and functional properties. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/app14051815>
- Abeysekera, W. P. K. M., Premakumara, G. A. S., & Ratnasooriya, W. D. (2013). In vitro antioxidant properties of leaf and bark extracts of ceylon cinnamon (*cinnamomum zeylanicum blume*). *Tropical Agricultural Research*, 24(2), 128-138.
- Aigbe, U. O., & Osibote, O. A. (2024). Green synthesis of metal oxide nanoparticles, and their various applications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13(January), 100401. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100401>
- Aydoğdu, B., Aytar, M., & Ünal, İ. (2024). Comparison of characteristics and antimicrobial activity of synthesized zinc oxide and magnetite iron oxide nanoparticles using four different plant extracts. *Cumhuriyet Science Journal*, 45(1), 20–28. <https://doi.org/10.17776/csj.1370606>
- Baratta, G. A., Domingo, M., Ferini, G., Leto, G., Palumbo, M. E., Satorre, M. A., & Strazzulla, G. (2003). Ion irradiation of CH₄-containing icy mixtures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 209(August), 283–287. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(02\)02010-4](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(02)02010-4)
- Bhandari, K. P., Sapkota, D. R., Jamarkattel, M. K., Stillion, Q., & Collins, R. W. (2023). Zinc oxide nanoparticles—solution-based synthesis and characterizations. *Nanomaterials*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nano13111795>
- Błaszczuk, N., Rosiak, A., & Kałużna-Czaplińska, J. (2021). The potential role of cinnamon in human health. *Forests*, 12(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/f12050648>

- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., & Mozafari, M. R. (2018). Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 57. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>
- Das, G., Gonçalves, S., Basilio Heredia, J., Romano, A., Jiménez-Ortega, L. A., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2022). Cardiovascular protective effect of cinnamon and its major bioactive constituents: An update. *Journal of Functional Foods*, 97(January 2023). <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105045>
- Fahmy, M. D., Jazayeri, H. E., Razavi, M., Hashemi, M., Omidi, M., Farahani, M., Salahinejad, E., Yadegari, A., Pitcher, S., & Tayebi, L. (2016). Biomedical Applications of Intelligent Nanomaterials. *Intelligent Nanomaterials: Second Edition*, 13(10), 199–245. <https://doi.org/10.1002/9781119242628.ch8>
- Fito, J., Abewaa, M., Mengistu, A., Angassa, K., Ambaye, A. D., Moyo, W., & Nkambule, T. (2023). Adsorption of methylene blue from textile industrial wastewater using activated carbon developed from Rumex abyssinicus plant. *Scientific Reports*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32341-w>
- Gaim, Y. T., Tesfamariam, G. M., Nigussie, G. Y., & Ashebir, M. E. (2019). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of n-doped cu2o/zno nanocomposite on degradation of methyl red. *Journal of Composites Science*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/jcs3040093>
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S. V., & Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(6), 385–406.
- Kazemi, S., Hosseingholian, A., Gohari, S. D., Feirahi, F., Moammeri, F., Mesbahian, G., Moghaddam, Z. S., & Ren, Q. (2023). Recent advances in green synthesized nanoparticles: from production to application. *Materials Today Sustainability*, 24, 100500. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100500>
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Kulkarni, D., Sherkar, R., Shirsathe, C., Sonwane, R., Varpe, N., Shelke, S., More, M. P., Pardeshi, S. R., Dhaneshwar, G., Junnuthula, V., & Dyawanapelly, S. (2023). Biofabrication of nanoparticles: sources, synthesis, and biomedical applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11(May), 1–26. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1159193>
- Leroy, P., Tournassat, C., & Bizi, M. (2011). Influence of surface conductivity on the apparent zeta potential of TiO2 nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 356(2), 442–453. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.01.016>
- Libbey, L. M., & Walradt, J. P. (1968). 3,5-di-Tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) as an artifact from diethyl ether. *Lipids*, 3(6), 561. <https://doi.org/10.1007/BF02530903>
- Marin-Flores, C. A., Rodríguez-Nava, O., García-Hernández, M., Ruiz-Guerrero, R., Juárez-López, F., & Morales-Ramírez, A. de J. (2021). Free-radical scavenging activity properties of ZnO sub-micron particles: size effect and kinetics. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1665–1675. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.050>
- Mayekar, J. (2014). Role of salt precursor in the synthesis of zinc oxide nanoparticles. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(03), 43–45. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0303008>

- Naiel, B., Fawzy, M., Halmy, M. W. A., & Mahmoud, A. E. D. (2022). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Sea Lavender (*Limonium pruinsum* L. Chaz.) extract: characterization, evaluation of anti-skin cancer, antimicrobial and antioxidant potentials. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24805-2>
- Nyabadza, A., McCarthy, É., Makhesana, M., Heidarinassab, S., Plouze, A., Vazquez, M., & Brabazon, D. (2023). A review of physical, chemical and biological synthesis methods of bimetallic nanoparticles and applications in sensing, water treatment, biomedicine, catalysis and hydrogen storage. *Advances in Colloid and Interface Science*, 321(August). <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103010>
- Osman, A. I., Zhang, Y., Farghali, M., Rashwan, A. K., Eltaweil, A. S., Abd El-Monaem, E. M., Mohamed, I. M. A., Badr, M. M., Ihara, I., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2024). Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(2), 841–887. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01682-3>
- Ovanesyan, Z., Aljzmi, A., Almusaynid, M., Khan, A., Valderrama, E., Nash, K. L., & Marucho, M. (2016). Ion-ion correlation, solvent excluded volume and pH effects on physicochemical properties of spherical oxide nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 462, 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.10.019>
- Pourrahimi, A. M., Liu, D., Pallon, L. K. H., Andersson, R. L., Martínez Abad, A., Lagarón, J. M., Hedenqvist, M. S., Ström, V., Gedde, U. W., & Olsson, R. T. (2014). Water-based synthesis and cleaning methods for high purity ZnO nanoparticles-comparing acetate, chloride, sulphate and nitrate zinc salt precursors. *RSC Advances*, 4(67), 35568–35577. <https://doi.org/10.1039/c4ra06651k>
- Prabu, P., & Losetty, V. (2024). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Macroptilium Lathyroides* (L) leaf extract and their spectroscopic characterization, biological activity and photocatalytic dye degradation study. *Journal of Molecular Structure*, 1301(August 2023), 137404. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.137404>
- Prasad, C., Liu, Q., Tang, H., Yuvaraja, G., Long, J., Rammohan, A., & Zyryanov, G. V. (2020). An overview of graphene oxide supported semiconductors based photocatalysts: Properties, synthesis and photocatalytic applications. *Journal of Molecular Liquids*, 297, 111826. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111826>
- Rasmussen, M. K., Pedersen, J. N., & Marie, R. (2020). Size and surface charge characterization of nanoparticles with a salt gradient. *Nature Communications*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15889-3>
- Rezapour, M., & Talebian, N. (2011). Comparison of structural, optical properties and photocatalytic activity of ZnO with different morphologies: Effect of synthesis methods and reaction media. *Materials Chemistry and Physics*, 129(1–2), 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.04.012>
- Saeed, K., Khan, I., Shah, T., & Park, S. Y. (2015). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of silver nanoparticles/amidoxime-modified polyacrylonitrile nanofibers. *Fibers and Polymers*, 16(9), 1870–1875. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-5373-z>
- Sajid, M., & Płotka-Wasyłka, J. (2020). Nanoparticles: Synthesis, characteristics, and applications in analytical and other sciences. *Microchemical Journal*, 154(November 2019), 104623. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104623>
- Sangeetha, G., Rajeshwari, S., & Venkatesh, R. (2011). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by aloe barbadensis miller leaf extract: Structure and optical properties. *Materials Research Bulletin*, 46(12), 2560–2566. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2011.07.046>

- Saad, W. M., Al-Janaby, M. S., Gayadh, E. W., Ramizy, A., & Hamid, L. L. (2024). Biogenic synthesis of iron oxide nanoparticles using Hibiscus sabdariffa extract: Potential for antibiotic development and antibacterial activity against multidrug-resistant bacteria. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 8(January), 100397. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100397>
- Shankar, S., & Rhim, J. W. (2019). Effect of Zn salts and hydrolyzing agents on the morphology and antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 1105–1109. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00835-z>
- Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., Hasan, H., & Mohamad, D. (2015). Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3), 219–242. <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>
- Song, F. L., Gan, R. Y., Zhang, Y., Xiao, Q., Kuang, L., & Li, H. B. (2010). Total phenolic contents and antioxidant capacities of selected chinese medicinal plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(6), 2362–2372. <https://doi.org/10.3390/ijms11062362>
- Steffy, K., Shanthi, G., Maroky, A. S., & Selvakumar, S. (2018). Synthesis and characterization of ZnO phytonanocomposite using Strychnos nux-vomica L. (Loganiaceae) and antimicrobial activity against multidrug-resistant bacterial strains from diabetic foot ulcer. *Journal of Advanced Research*, 9, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.11.001>
- Sudan, R., Bhagat, M., Gupta, S., Chitrarakha, & Devi, T. (2013). Comparative analysis of cytotoxic and antioxidant potential of edible Cinnamomum verum (bark) and Cinnamomum tamala (Indian bay leaf). *Free Radicals and Antioxidants*, 3(2), 70-73. <https://doi.org/10.1016/j.fra.2013.05.005>
- Talam, S., Karumuri, S. R., & Gunnam, N. (2012). Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles. *ISRN Nanotechnology*, 2012, 1–6. <https://doi.org/10.5402/2012/372505>
- Tănase, M. A., Marinescu, M., Oancea, P., Răducan, A., Mihaescu, C. I., Alexandrescu, E., Nistor, C. L., Jinga, L. I., Dițu, L. M., Petcu, C., & Cinteza, L. O. (2021). Antibacterial and photocatalytic properties of ZnO nanoparticles obtained from chemical versus Saponaria officinalis extract-mediated synthesis. *Molecules*, 26(7), 2072. <https://doi.org/10.3390/molecules26072072>
- Taş, A. C., Majewski, P. J., & Aldinger, F. (2000). Chemical preparation of pure and strontium-and/or magnesium-doped lanthanum gallate powders. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(12), 2954–2960. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.2000.tb01666.x>
- Venkatesan, S., Suresh, S., Ramu, P., Arumugam, J., Thambidurai, S., & Pugazhenthiran, N. (2022). Methylene blue dye degradation potential of zinc oxide nanoparticles bioreduced using Solanum trilobatum leaf extract. *Results in Chemistry*, 4(September), 100637. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100637>
- Zhou, X. Q., Hayat, Z., Zhang, D. D., Li, M. Y., Hu, S., Wu, Q., Cao, Y. F., & Yuan, Y. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture. *Processes*, 11(4), 1193. <https://doi.org/10.3390/pr11041193>
- Zuhrotun, A., Oktaviani, D. J., & Hasanah, A. N. (2023). Biosynthesis of gold and silver nanoparticles using phytochemical compounds. *Molecules*, 28(7), 3240. <https://doi.org/10.3390/molecules28073240>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Yalıtım Malzemesi Poliüretan Köpüğün Alev Direncini Arttıracak Reçine Katkılı Poliüretan Kompozit Sentezi

Sinem KARMAHMUTOĞLU, Merve KOZAN, Sefa ARAS, Derya ÜNLÜ*

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 16310,
Bursa, Türkiye

Sinem KARMAHMUTOĞLU, [ORCID No: 0009-0006-8383-014X](#), Merve KOZAN, [ORCID No:0009-0006-5855-0736](#), Sefa ARAS, [ORCID No: 0000-0001-8085-234X](#), Derya ÜNLÜ, [ORCID No: 0000-0001-5240-5876](#)

*Sorumlu yazar e-posta: derya.unlu@btu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 21.06.2024
Kabul: 28.10.2024
Online Aralık 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1502963](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1502963)

Anahtar Kelimeler

Polimer kompozit,
Resorsinol-formaldehit
reçinesi,
Rijit poliüretan köpük,
Termal dayanım,
Yalıtım

Öz: Rijit poliüretan köpükler (RPUF) en popüler, enerji verimi yüksek ve çok yönlü yalıtım malzemeleri arasında yer almaktadır. RPUF, özellikle binalarda verimli ve konforlu yalıtım malzemesi olarak kullanımının yanı sıra enerji maliyetlerini de önemli ölçüde azaltmaktadır. RPUF'ların, alevlenebilir olması uygulama alanlarını ciddi şekilde kısıtlamaktadır. Kömür verimi ve alev dirençleri artırıldığında kısıtlı uygulama alanları da ortadan kaldırılabilir. Resorsinol-formaldehit (RF) reçinesi yüksek kömür verimi ve alev direnci ile ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada da düşük kömür verimli ve alev dirençli RPUF'un hazırlanma aşamasında, yüksek kömür verimine ve oldukça düşük alevlenebilirliğe sahip RF reçinesi dahil edilmiştir. İlk olarak RF reçinesi sentezlenmiştir. İkinci aşamada poliöl karışımı ve poliizosiyanat birleştirilerek karıştırılıp RPUF'lar hazırlanmıştır. Son aşamada poliöl karışımı ve poliizosiyanat ile karıştırılmış RF reçinesi birleştirilerek karıştırılıp rijit poliüretan-resorsinol-formaldehit kompozitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit köpük numuneleri için termogravimetrik analiz (TGA), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Görünür yoğunluk ve dikey yanma testi uygulanmıştır. RPUF'larda ağırlıkça RF içeriğindeki artışla birlikte köpüklerin yanma dayanımı artmıştır. Reçinesiz poliüretan köpüğü ilk 10 saniyede tamamen yanarken, %20 RF reçinesi içeren köpüğün (RF20-RPUF) doğrusal yanma hızı reçinesiz poliüretan köpüğe göre %91.33 daha düşüktür.

Synthesis of Resin Additive Polyurethane Composite to Increase Flame Resistance of Insulation Material Polyurethane Foam

Article Info

Recieved: 21.06.2024
Accepted: 28.10.2024
Online December 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1502963](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1502963)

Keywords

Insulation,
Polymer composite,
Resorcinol-formaldehyde
resin,
Rigid polyurethane foam,
Thermal stability

Abstract: Rigid polyurethane foams (RPUF) are among the most popular, energy-efficient, versatile insulation materials. RPUF is used as an efficient and comfortable insulation material, especially in buildings, significantly reducing energy costs. The flammability of rigid polyurethane foams severely restricts their application areas. Limited application areas can be eliminated when the char yield and flame resistances are increased. Resorcinol-formaldehyde (RF) resin stands out with its high char yield and flame resistance. This study included RF resin with high char yield and very low flammability in the preparation of rigid polyurethane foam with low char yield and flame resistance. Firstly, the RF resin was synthesised. In the second stage, polyol mixture and polyisocyanate were combined and mixed to prepare RPUFs. In the last stage, the RF resin was mixed with a polyol mixture, polyisocyanate was mixed and rigid polyurethane-resorcinol-formaldehyde composites were prepared. Thermogravimetric analysis

(TGA), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), scanning electron microscopy (SEM), apparent density and vertical burning test were performed for the prepared composite foam samples. The combustion resistance of RPUF increased with the increase in RF content by weight. While resin-free polyurethane foam burns completely in the first 10 seconds, the linear burning rate of foam containing 20% RF resin (RF20-RPUF) is 91.33% lower than that of resin-free polyurethane foam.

1. Giriş

Isı yalıtım malzemesi, yapıştırıcı ve kaplama malzemesi olarak kullanılan poliüretan polimerleri günlük hayatta hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden poliüretanlar birçok araştırmaya konu olmuşlardır. Poliöl ve izosiyanat arasında reaksiyon ile elde edilen poliüretanlar, poliölde bulunan -OH ve izosiyanatta bulunan -NCO grupları arasındaki reaksiyon sonucunda oluşan üretan bağı ile adını almış polimerlerdir (Gama ve ark., 2018).

Poliüretan köpükler (PUF) de benzer şekilde ana hammadde olarak polioller ve poliizosiyanatlar kullanılarak oluşturulmaktadır (Agrawal ve ark., 2019). PUF'ların, gözenekli köpük formunu alması için, şişirme ajanı, yüzey aktif madde ve katalizör gereklidir.

PUF'lar için yapılan yeni çalışmalar ısı yalıtım köpük malzemeleri alanına büyük katkılar sağlayarak endüstriyel sektör uygulamalarını ciddi derecede arttırmıştır. Rijit poliüretan köpükler (RPUF) yapı yalıtım malzemeleri olarak ön plana çıkmaktadır (Zheng ve ark., 2014). Mükemmel ısı yalıtım özelliği yanı sıra kimyasal direnci, düşük ısıl iletkenliği ve elektriksel yalıtkanlığı nedeniyle RPUF'lar yalıtım, beyaz eşya, otomobil, ulaşım ve uçak endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gözenekli yapısından dolayı da RPUF'lar düşük yoğunlukları ile hammadde tasarrufu da sağlamaktadır (Yan ve ark., 2012). Ancak bu köpüklerin ısıl direnci halen daha tatmin edici düzeyde değildir. Ayrıca yanıcı özelliği nedeniyle de uygulama alanları kısıtlanmaktadır. Ayrıca PUF'ların kullanımında yanma meydana geldiğinde insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek ciddi miktarda ısı ve zararlı maddeler salınımı yaptığı bilinmektedir. RPUF yapıları yanma sonucunda kömürleşmektedir. Polimer malzemelerin kömür verimleri ile alev geciktiriciliği arasındaki ilişki bulunduğu bilinmektedir ve RPUF'ların kömür verimleri oldukça düşüktür (Zheng ve ark., 2014). RPUF kömür verimi yaklaşık olarak %8.1 olduğu görülmüştür (Qiu ve ark., 2021). RPUF'ların kömür verimi artırılarak alev dirençleri de geliştirilebilir.

RPUF'ların zayıf alev direnci geleneksel olarak alev geciktiricilerin kullanımıyla artırılır ve RPUF'lar için kullanılan çok çeşitli alev geciktiriciler mevcuttur. Alev geciktiriciler halojenli, fosfor bileşikler gibi organik maddeler veya metal oksitler/hidroksitler, metal boratlar gibi inorganik maddeler olabilir. Katı/sıvı formda katkı maddesi olarak kullanılabilirler veya polimer omurgasına dahil edilebilirler. Sıvı alev geciktiriciler yüksek yüklemelerde yüzeye göç edebilir. Öte yandan, büyük miktarda katı alev geciktiricilerin kullanımı da mekanik davranışı kötüleştirebilir. Fosfor içeren polioller gibi reaktif alev geciktiriciler, yüzeye doğru göç etmeyen ve daha uzun süre etkili kalan katkılara örnektir. Ek olarak, polimerik/oligomerik katkılar bazen polimerik olmayan katkılara tercih edilir, çünkü bunlar buharlaşmaya, göçe vb. diğer etkilere karşı daha dirençlidir. Ayrıca, yapılarında heteroatomik bağlar içeren monomerlerin, homoatomik bağlara kıyasla daha büyük bağlanma enerjisi nedeniyle daha iyi alev direnci gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada da polimerik reçinelerin kullanılması tercih edilmiştir (Wang ve ark., 2017; Vini ve ark., 2019).

Fenolik reçineler, yapılarında bulunan aromatik halkalar ve halkalara bağlı olan hidroksil grupları sayesinde yüksek kömür verimlerine sahiptirler (Daniel ve ark., 2020). Ayrıca boyutsal kararlılık, yüksek ısı ve alev dirençleri sergilemektedirler (Kumar ve ark., 2017). Fenolik bir reçine olarak RF reçinesi yüksek kömür verimine ve piroliz ısısına sahiptir (Daniel ve ark., 2019). RF reçinesi kömür verimi %45.8 olduğu görülmüştür (Gupta & Kandasubramanian, 2015). RF reçineleri, yüksek mukavemet, şiddetli hava koşullarına karşı dayanıklılık ve yapısında yüksek yapışabilirliğe sahip bağlar bulundurmaktadır (Badhe & Kandasubramanian, 2014; Kumar ve ark., 2017). Çoğu reçine grubu kürlenmesi için, kürlenme ajanı ya da yüksek sıcaklık ve basınçlara gereksinim duymaktadır. Bu noktada, RF reçinesi ön plana çıkaran en önemli özelliği oda sıcaklığında kürlenebilme yeteneğine sahip olmasıdır ve bu özelliğinden dolayı enerji tasarrufu sağlayan bir reçinedir (Badhe & Kandasubramanian,

2014). RF reçinesi oda sıcaklığında kürlenebilmesi ve PUF şişme aşamasının oda sıcaklığında karıştırılması ile elde edilmesi göz önüne alındığında her iki polimerik yapının ikili uyumluluk sağlayacağı öngörülebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, RPUF yapılarının düşük kömür verimi ve yanıcılığının dezavantajları, RF reçinesinin PUF'a dahil edilmesi ile ortadan kaldırılabilir.

Bu çalışmada, iyi ısı yalıtım özelliklerine ancak düşük kömür verimi ve yanıcı özelliklere sahip PUF'a, yüksek kömür verimi ve alev dayanımına sahip RF reçinesinin dahil edilerek üstün özelliklere sahip RPUF'ların üretimi amaçlanmıştır. Böylece PUF'ların ısı yalıtım özelliğinin yanı sıra alev dayanımını da birlikte bulunduran kompozitlerin üretilmesi sağlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında PUF'lara, RF reçinesinin dahil edildiği bir çalışmaya rastlanmamış olması çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada polimerik metilen difenil diizosiyanat (yoğunluk 1.232 g/cm³, 430 mPa.s viskozite Merck), polieter poliol (1.115 g/cm³ yoğunluk, 340 mPa.s viskozite, 460 mg KOH/g hidroksil sayısı ve ortalama poliol fonksiyonelliği 4.7), trietilendiamin (ağırlıkça %0.4 çözelti, Sigma Aldrich) ve dibutiltin dilaurat (ağırlıkça %1.2 çözelti, Sigma Aldrich), pentan (%98, Merck) ve polisilikon (%1), resorsinol (%99.8, Kimetsan), sodyum hidroksit (%98, Merck), formaldehit (ağırlıkça %37 ve ağırlıkça %10 metanol, Tekkim) kimyasalları kullanılmıştır.

2.2. Resorsinol-formaldehit (RF) reçinesi sentezi

Üç boyunlu cam reaktör içerisinde resorsinol, formaldehit içerisinde homojen şekilde çözündürülmüştür. Ağırlıkça %60 formaldehit, ağırlıkça %40 resorsinol kullanılmıştır. Resorsinol ve formaldehit katalizör ilavesi sonrasında ekzotermik reaksiyon gösterdiğinden cam reaktör su banyosuna yerleştirilmiştir. Resorsinol ve formaldehit homojen karışımı sürekli karıştırılırken %10 sulu sodyum hidroksit çözeltisi damla damla ilave edilerek pH değeri 6.50-7.00 arasında tutulmuştur. Reaksiyon ekzotermik olduğundan su banyosu yardımıyla karışımın sıcaklığının 60°C üzerine çıkması engellenmiştir. Reaksiyon 55-60°C'de 20 dakika sürdürülmüştür. Daha sonra 30°C'ye soğutularak viskoz şeffaf RF reçinesi elde edilmiştir.

2.3. Karışım A ve karışım B hazırlanması

2.3.1. Karışım A hazırlanması

Polimerik metilen difenil diizosiyanat (pMDI) beher içerisine alınarak 500 rpm'de mekanik olarak sürekli karıştırılırken toplan karışım ağırlığı temel alınarak ağırlıkça %5-10-15 ve 20 içerecek şekilde sentezlenen viskoz RF reçinesi karışım içerisine ilave edilmiştir ve 30 dakika karıştırılmıştır.

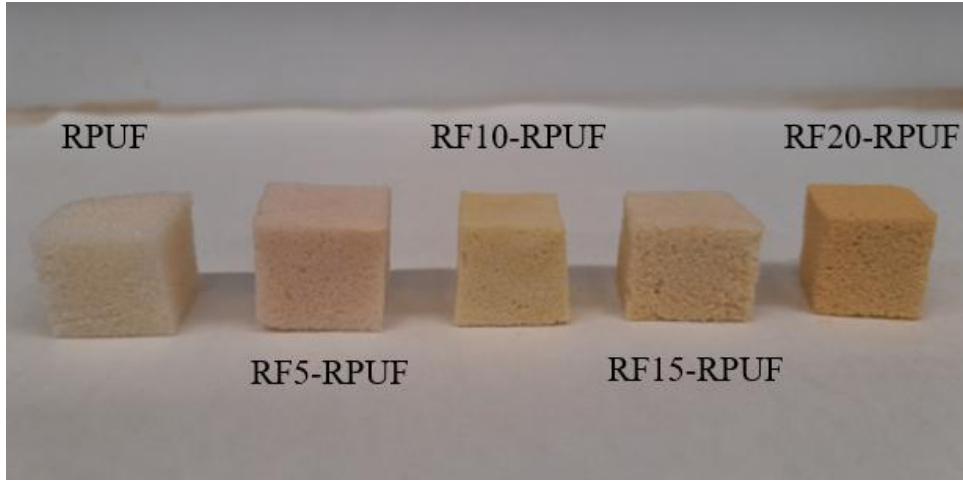
2.3.2. Karışım B hazırlanması

Poliol beher içerisine alınarak 500 rpm'de sürekli olarak mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılırken toplam karışım ağırlığı temel alınarak ağırlıkça %93.4 poliol, %0.5 trietilendiamin ve %0.5 dibutiltin dilaurat (katalizör), % 2.8 pentan (şişirici ajan) ve %2.8 polisilikon oil (yüzey aktif madde) içerecek şekilde karışım oluşturulmuştur ve 30 dakika boyunca karıştırılmıştır.

2.4. Rijit poliüretan-resorsinol-formaldehit kompozit köpüklerin (RF-RPUF) üretimi

Karışım B mekanik olarak 2000 rpm karıştırma hızında karıştırılırken karışım A (farklı ağırlık yüzdelerinde RF reçinesi içeren karışım) hızlıca ilave edilmiştir. Karışım A / Karışım B ağırlıkça oranı 13/10 olacak şekilde ayarlanmıştır. Karışımlar 15-20 saniye sonunda beherde köpürmeye başladığı anda şişirme kabına aktarılmıştır ve kabın ağzı kapatılmıştır. Kabı tamamen kaplayan kompozitler kaptan çıkarılarak test edilmek üzere RPUF (Reçine içermeyen rijit poliüretan köpük), RF5-RPUF, RF10-

RPUF, RF15-RPUF ve RF20-RPUF olarak adlandırılmışlardır. Şekil 1’de üretilen köpüklerin görselleri yer almaktadır.



Şekil 1. Sentezlenen PUF numuneleri.

2.5. Resorsinol-formaldehit reçinesi ve RF-PUF köpük kompozitlerinin karakterizasyonu

Hazırlanan RF, PUF ve RF-PUF kompozitlerinin karakterizasyonu FTIR, SEM ve TGA ile analiz edilmiştir. RPUF’a RF reçinesinin dahil edilmesinin poliüretan yapısı üzerindeki değişimi FT-IR ile incelenmiştir. FTIR analizi, Perkin Elmer/Spectrum Two FTIR cihazı yardımıyla oda sıcaklığında 400 - 4000 cm^{-1} tarama aralığında gerçekleştirilmiştir. Tarama sayısı ve çözünürlük değerleri sırasıyla 64 ve 4 cm^{-1} olarak ayarlanmıştır. Köpük numunelerinin gözenekliliği ve RF reçinesinin poliüretan yapıdaki gözenek yapısına etkisi SEM ile analiz edilmiştir. SEM analizi numunelerin altın kaplanması sonrası Carl Zeiss/Gemini 300 - Bruker/Xflash 6-100 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RF, RPUF ve RF-RPUF termal dayanımlarının için TGA kullanılmıştır. Analiz TA Instruments/SDT 650 marka/model TGA cihazı kullanılarak oda sıcaklığı ile 800°C aralığında ve 10°C/dk ısıtma hızında, azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.

2.6. Köpüklerin görünen yoğunluğu

Kumpas yardımıyla köpük numuneleri 3cm*3cm*3cm (Genişlik x uzunluk x kalınlık) olarak belirlendikten sonra kesilmiştir. Hassas terazi kullanılarak belirli ölçülerde kesilen köpük numuneleri tartılmıştır. Köpüklerin yoğunluğun doğru belirlenmesi için 10 adet köpük numunesi kesilip tartılarak ortalaması alınmıştır (Paciorek-Sadowska ve ark., 2012; Lee ve ark., 2016; Burgaz & Kendirlioglu, 2019; Tang ve ark., 2019). Görünür yoğunluk değeri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Görünür yoğunluk} = \text{Ağırlık}/(\text{genişlik}*\text{uzunluk}* \text{kalınlık}) \quad (1)$$

2.7. Köpüklerin dikey yanma testleri

Kumpas yardımıyla 125mm-13mm-3mm boyutlarında köpük numuneleri kesilmiştir. Üç ayaklı laboratuvar standına monte edilen tutucu ile numune, dikey pozisyonda üst uçtan 6 mm kadar tutturulmuştur. Köpük numunesi alt ucundan başlanarak üst tutucuya doğru 25 mm ve 100 mm uzunluğu işaretlenmiştir. Dikey olarak tutturulmuş köpük numunesinin alt kısmına 10 mm uzaklıkta bek aparatı 45° açı şeklinde konumlandırılmıştır. Köpük numunesi alt kısmında 300 mm uzaklıkta zemine pamuk yaydırılmıştır. Bek alev uzunluğu, 20 mm olarak ayarlanmıştır. Bek ateşlenip alev boyu stabil kaldıktan sonra dikey konumlandırılmış köpük numunesi 10 saniye boyunca alev konumu değiştirilmeden numune alt ucu aleve maruz bırakıldıktan sonra alevden uzaklaştırılmıştır. Numune yanma ucu alev verilmeye başlandığında, 10 saniye süre sonra bek alevi uzaklaştırıldığında yanma olmadığında, test en fazla üç kez tekrarlanmıştır. Eğer ilk 10 saniye maruziyeti sonrası alev uzaklaştırıldıktan sonra halen

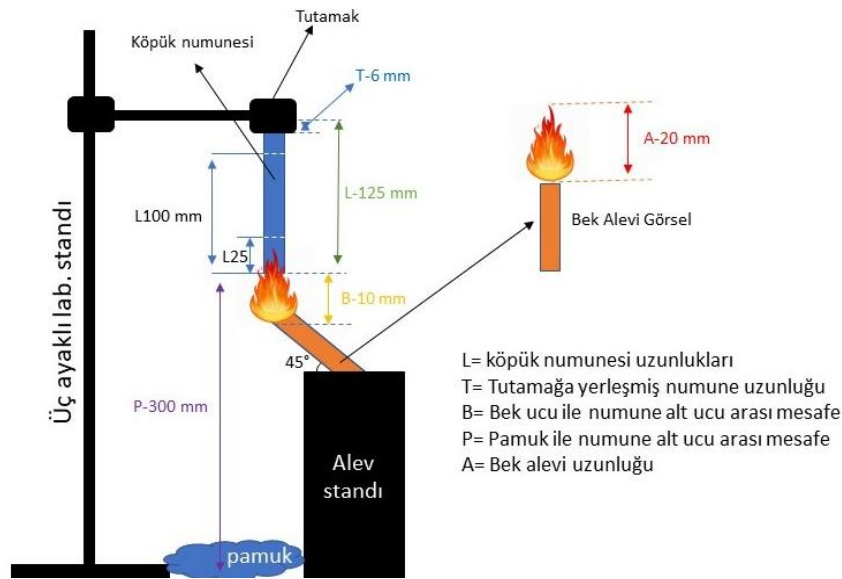
daha yanmaya devam ederse 25 mm çizgisinden sonra süre tutularak ve yanmanın söndüğü noktadaki hasarlı kısım (L) mm cinsinden ölçülmüştür. Süreler kronometre yardımıyla ölçülmüştür. Her bir numuneye üçer adet dikey yanma testi yapılmıştır.

Doğrusal yanma hızları (V) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Süreler saniye cinsinden kaydedilerek hesaplamada dakika olarak alınmıştır.

$$V = 60 \cdot L / t \quad (2)$$

Eşitlik 2’de L=yanma sonrası mm cinsinden hasarlı bölüm, t= kaydedilen süredir.

Test edilen üç numunenin doğrusal yanma hızları ortalaması alınmıştır. Deney düzeneği Şekil 2’de olduğu gibi ayarlanmıştır. Mesafeler zarar görmüş bölgenin en üst kısmı temel alınarak kumpas yardımıyla hassas şekilde ölçülmüştür. Köpük numunesinde yanma meydana gelmesi durumunda, yanma esnasında numuneden kopan parçacıkların numune altına yerleştirilmiş olan pamuğa düştüğünde pamuğu yakıp yakmadığı da ayrıca not edilmiştir.



Şekil 2. Dikey yanma testi düzeneği.

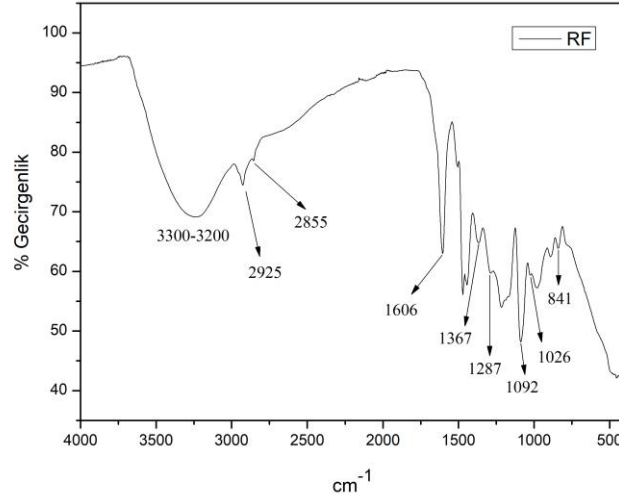
3. Bulgular

3.1. Karakterizasyon sonuçları

3.1.1. RF reçinesinin FTIR analizi

Sentezlenen RF reçinesinin yapısı FTIR analizi ile araştırılmıştır. Şekil 3’te RF reçinesinin FTIR spektrumu yer almıştır.

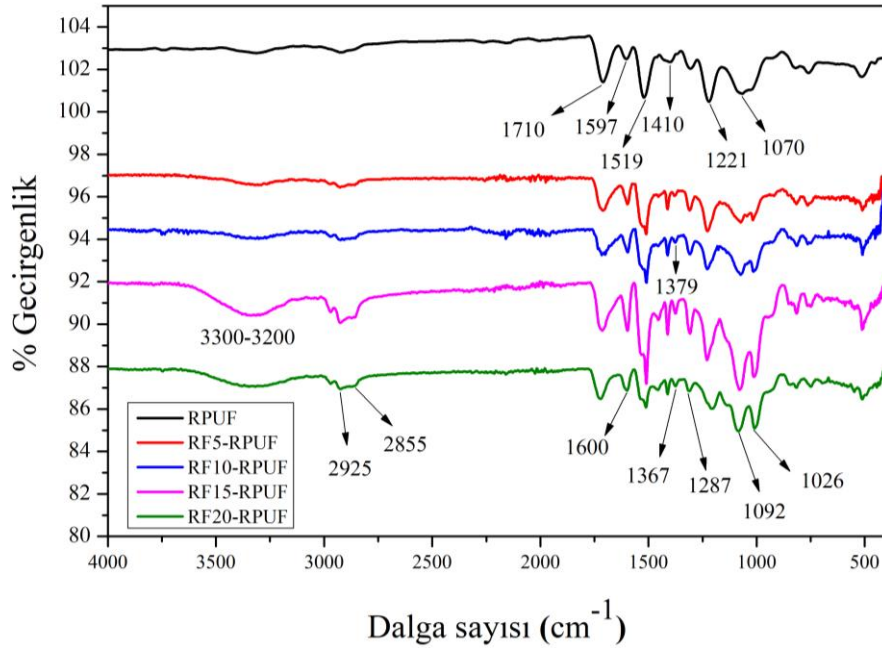
Şekil 3’teki FTIR spektrumunda, 3200-3300 cm⁻¹ geniş pik aralığı resorsinol halkasında ve metilol bağlarında yer alan hidroksil gruplarına atfedilir (Liang ve ark., 2000; Aghabararpour ve ark., 2018; Higashimoto ve ark., 2021). 2925 cm⁻¹ ve 2855 cm⁻¹ pikleri, RF polimerinin yapısında yer alan metilen köprülerine atfedilmektedir (Badhe & Kandasubramanian, 2014; Hu ve ark., 2014; Aghabararpour ve ark., 2018). 606 cm⁻¹ piki C=C bağı aromatik halkalı yapı gruplarının varlığını işaret etmektedir (Gyan & Kandasubramanian, 2016; Attia ve ark., 2017; Aghabararpour ve ark., 2018). 1603 cm⁻¹’de gözlenen pik ise formaldehitte bulunan C=O gruplarından kaynaklanmaktadır (Zorba ve ark., 2008). 1367 cm⁻¹ piki C-H, C-C, C-O, fenolik hidroksil ve metilol gruplarında yer alan -OH bağ titreşimlerine atfedilmektedir (Faris ve ark., 2017; Gore ve ark., 2018; Higashimoto ve ark., 2021). 1287 cm⁻¹ piki aromatik (resorsinol) yapılarıdaki C-H ve C-OH bağlarına atfedilmektedir (Zhao ve ark., 2019; Higashimoto ve ark., 2021). 1026 cm⁻¹ ve 1092 cm⁻¹ pikleri RR yapısındaki eterlerin varlığından kaynaklanmaktadır (Fathy ve ark., 2016; Attia ve ark., 2017).



Şekil 3. RF reçinesinin FTIR spektrumu.

3.1.2. RPUF ve RF-RPUF köpüklerinin FTIR analizi

Çalışma kapsamında üretilen RPUF, %5 RF reçineli rijit poliüretan köpük (RF5-RPUF), %10 RF reçineli rijit poliüretan köpük (RF10-RPUF), %15 RF reçineli rijit poliüretan köpük (RF15-RPUF) ve %20 RF reçineli rijit poliüretan köpük (RF20-RPUF) numunelerinin FTIR spektrumları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. RPUF, RF5-RPUF, RF10-RPUF, RF15-RPUF ve RF20-RPUF numunelerinin FTIR spektrumları.

Şekil 4’teki FTIR spektrumlarında, köpüklerin RF reçinesindeki karakteristik piklerinin (3200-3300, 2925, 2855, 1600, 1367, 1287, 1026 ve 1092 cm^{-1}) yer aldığı görülmektedir. Bu piklerin yanı sıra poliüretan yapısından kaynaklı yeni piklerde FTIR spektrumlarında belirmiştir.

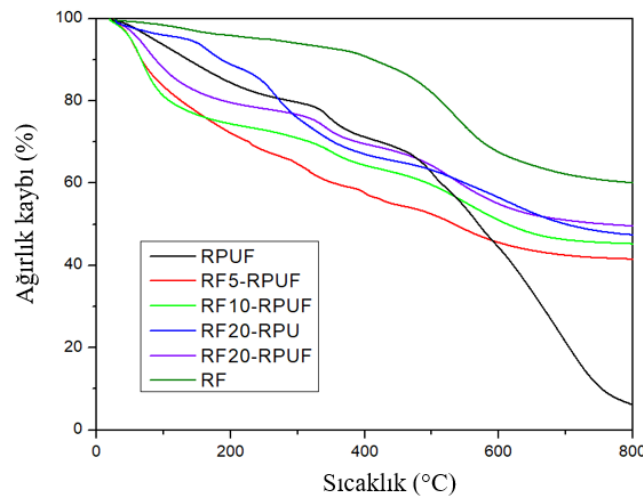
Poliüretana ait pikler ele alındığında, 1519 cm^{-1} piki N-H bağlarını ve 1221 cm^{-1} piki C-O bağ gerilmelerine atfedilmektedir (Burgaz & Kendirlioglu, 2019; Qiu ve ark., 2021). 1410 ve 1710 cm^{-1} ’de beliren pikler, izosiyanat halkasının varlığını göstermektedir (Paciorek-Sadowska ve ark., 2012;

Bryśkiewicz ve ark., 2016). 1597 cm^{-1} 'deki pik benzen halkasında yer alan C=C bağlarına atfedilmektedir (Burgaz & Kendirlioglu, 2019). 1379 cm^{-1} ve 1070 cm^{-1} pikleri, polieter poliolde yer alan CH_3 ve C-O-C bağlarına atfedilmektedir (Qiu ve ark., 2021). 1224 cm^{-1} piki, eter gruplarının varlığına atfedilmektedir (Wei ve ark., 2018). 1515 cm^{-1} 'de görünen pik, C-N bağlarının varlığını işaret etmektedir (Huang & Wang, 2017).

RPUF köpüğünde yer almayan ancak artan RF reçinesi içeriğiyle birlikte belirgin hale gelen 3200-3300 cm^{-1} geniş pik aralığı, RF reçinesinde yer alan hidroksil gruplarının köpükte artmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde köpüklerdeki RF reçinesinin oranının artmasıyla FTIR spektrumlarında RF reçinesinin karakteristik pikleri daha belirgin hale gelmiştir.

3.1.3. RF, RPUF ve RF-RPUF köpüklerinin TGA analizi

Çalışma kapsamında hazırlanan reçine ve köpüklerin termal dayanımları Termogravimetrik analiz (TGA) ile incelenmiştir. Şekil 5'te RF, RPUF ve RF-RPUF kompozit köpüklerinin TGA termogramları yer almaktadır.

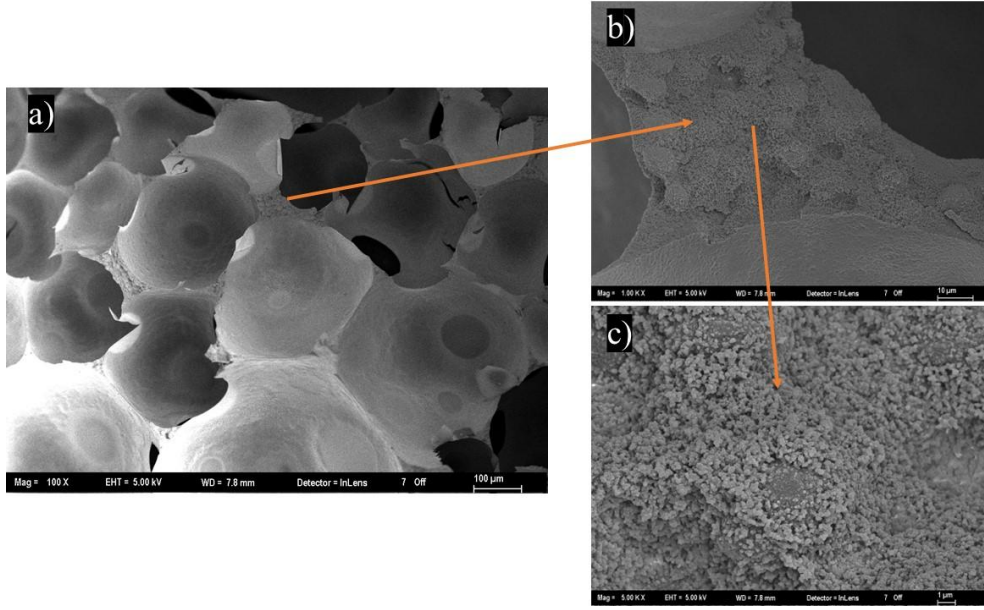


Şekil 5. RF, RPUF ve RF-RPUF köpüklerinin TGA termogramları.

Şekil 5 incelendiğinde, RPUF köpüğünün termal dayanımının oldukça düşük olduğu görülmektedir. RPUF köpüğünün 800°C'deki kömür kalıntı verimi %6.4'tür. En yüksek termal dayanımına ise RF reçinesi sahiptir. RF reçinesinin kömür kalıntı verimi ise %60.2'dir. RF-RPUF kompozitlerinin kömür kalıntı verimleri ele alındığında, artan reçine miktarıyla birlikte kömür kalıntı verimleri artmıştır ve RF20-RPUF kompozit köpüğünün kömür kalıntı verimi %49.7 olmuştur. Başlangıç bozunma sıcaklıkları (Ti) incelendiğinde RF 494,2 °C, PUF 461,7 °C, RF5-RPUF 477,6°C, RF10-RPUF 488,4°C, RF15-RPUF 489,2 °C ve RF20-RPUF 492,4 °C olduğu görülmüştür. RPUF köpüklerine RF reçinesinin katılması termal dayanımı ve başlangıç bozunma sıcaklığını gözle görülür şekilde artırmıştır. RPUF köpüklerine RF reçinesinin katılması termal dayanımı gözle görülür şekilde artırmıştır. Ancak %15 RF ilavesi ve %20 RF ilavesi benzer termal özellikler göstermiştir. RPUF köpüğündeki düşük termal dayanım poliüretanın düşük termal dayanımından ve poliüretanın köpürmesi için ilave edilen ajanlardan/katkı maddelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. RF reçinesinin yüksek termal dayanımı ise yapısındaki yüksek aromatik halkalardan ve çapraz bağlı termoset özelliğinden ileri gelmektedir.

3.1.4. SEM analizi

PUF'a RF reçinesinin eklenmesi ile oluşturulan RF20-RPUF köpüğünün SEM görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

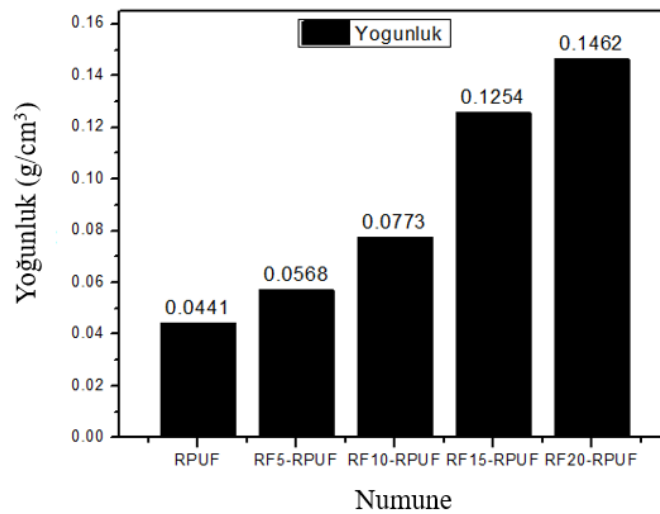


Şekil 6. RF20-RPUF köpüğünün SEM görüntüsü a)100x büyütme, b)1000x büyütme ve c)5000x büyütme.

Şekil 6’da RF20-RPUF kompozit köpüğünün SEM görüntüsü yer almaktadır. Şekil 6a’da köpüğün gözenek yapısı görünmektedir. Gözenek boyutlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 6b ve 6c’de köpüklerin gözenek duvarlarının iç kısımlarına RF reçinesinin neredeyse homojen şekilde parçacıklar halinde dağıldığı görülmektedir. RF reçinesinin yüksek termal dayanımı ele alındığında köpükler içerisine dağılan reçine RF-RPUF kompozit köpüklerinin de TGA ve dikey yanma testlerinde termal dayanımlarını artırmıştır.

3.2. RPUF ve RF-RPUF köpüklerinin görünen yoğunluğu

Çalışma kapsamında üretilen köpüklerin görünür yoğunlukları, köpüklerinin ağırlıklarının hassas terazide tartılması ve köpüğün geometrik hacmine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Köpüklerin görünür yoğunlukları g/cm^3 cinsinden hesaplanmıştır. Şekil 7’de köpüklerin görünür yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 7. RPUF ve RF-RPUF köpüklerinin ortalama görünür yoğunlukları.

Şekil 7 ve Çizelge 1’de görüldüğü gibi üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri köpük içerisindeki reçine miktarındaki artışla artmıştır. Bunun nedeni reçinenin yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7’de de görüldüğü gibi RPUF (reçinesiz köpük) ortalama yoğunluğu 0.0441 g/cm^3 iken RF20-RPUF kompozit köpüğünün ortalama yoğunluğu 0.1462 g/cm^3 değerine kadar çıkmıştır.

Çizelge 1. Kompozit köpüklerin yoğunluk değerleri

Numune	Yoğunluk	Standart sapma
RPUF	0.0441	0.001
RF5-RPUF	0.0568	0.002
RF10-RPUF	0.0773	0.0013
RF15-RPUF	0.1254	0.0012
RF20-RPUF	0.1462	0.0024

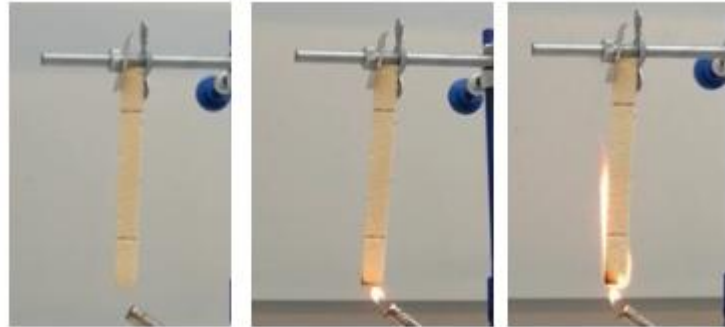
3.3. Köpüklerin dikey yanma testi sonuçları

Çalışma kapsamında yapılan dikey yanma testi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Dikey yanma testi verileri

	L _{ortalama} (mm)	Standart sapma (mm)	t _{ortalama} (sn)	V _{ortalama} (mm/dk)
RPUF	75	1.1	5	900
RF5-RPUF	75	1.2	9	500
RF10-RPUF	50	0.5	16	188
RF15-RPUF	27	0.6	14	116
RF20-RPUF	13	0.2	10	78

Şekil 8’de dikey yanma testi için örnek bir görsel yer almaktadır.



Şekil 8. Dikey yanma testinde RF10-RPUF numunesi.

RPUF numunesi alev ile temas edildi anda yanmaya başlamıştır ve alev uzaklaştırıldığında 5 saniyede numune alt ucundan üst ucuna kadar tamamen alev almıştır. İlk 10 saniyede RPUF numuneleri hızla alev alıp zarar gördüğünden söndürülmüştür ve ikinci 10 saniyelik yanma deneyi tekrarlanmamıştır. Numunenin yanması sırasında numune altında bulunan pamuğa herhangi damlama olmamıştır ve pamuk alev almamıştır. RF5-RPUF numunesi ilk 10 saniyelik alev maruziyetinde alev almıştır ve alev uzaklaştırıldıktan sonra 75 mm mesafeye (25 mm ile 100 mm arasındaki mesafe) ortalama 9 saniyede ulaşmıştır ve herhangi bir damlama yapmamıştır. RF10-RPUF numunesi, ilk 10 saniyelik alev sonrası 50 mm mesafeye (yanma sonrasında ölçülen zarar görmüş bölge uzunluğu) kadar 16 saniye yanarak çıkmıştır sonrasında kendiliğinden sönmüştür. RF10-RPUF numunesi ikinci 10

saniyelik testte tutuşmamıştır, üçüncü 10 saniyelik alev maruziyetinde tutuşmaya başlamıştır ancak alev uzaklaştırıldıktan sonra hızlıca sönmüştür. RF15-RPUF numunesi ilk 10 saniyelik alev maruziyetinden sonra tutuşmaya başlamıştır ve yanma şiddeti oldukça düşüktür. Alev uzaklaştırıldıktan sonra 27 mm mesafeyi, 24 saniye boyunca hafif yanarak katetmiştir ardından sönmüştür. İkinci 10 saniyelik alev maruziyetinde yanmamıştır. Üçüncü 10 saniyelik alev maruziyetinde tutuşmuştur alev uzaklaştırıldıktan hemen sonra sönmüştür ve ilk yanma mesafesinin üzerine çıkmamıştır. RF20-RPUF numunesi ilk 10 saniyelik alev maruziyeti sonrasında yanma gözlenmiştir 13 mm mesafe ve 10 saniye boyunca yanmıştır ardından sönmüştür. İkinci ve üçüncü 10 saniye alev maruziyetinde tutuşma gözlenmemiştir.

RPUF'larında ağırlıkça RF içeriğindeki artışla birlikte köpüklerin yanma dayanımı artmıştır. Öyle ki reçinesiz RPUF ilk 10 saniyede hızlıca tamamen yanarken, %20 RF reçinesi içeren köpük (RF20-RPUF) aleve karşı daha yüksek direnç göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar karakterizasyon testlerinden elde edilen sonuçlarla da uyumludur. TGA analizinde katkısız RPUF köpüğünün termal dayanımının oldukça düşük olduğu görülürken, artan reçine miktarıyla birlikte termal dayanımının arttığı görülmüştür. Bu durum ilave edilen RF reçinesinin yapısındaki yüksek aromatik halkalardan ve çapraz bağlı termoset özelliğinden ileri gelmektedir. Yapılan FTIR analizinde de RF reçinesinin yapısında bulunan aromatik halkaların varlığı görülmüştür. Ayrıca köpüklerin gözenek duvarlarının iç kısımlarında RF reçinesinin homojen parçacıklar halinde dağılması da RF reçinesinin yüksek termal dayanımı ele alındığında RF-RPUF kompozit köpüklerinin TGA ve dikey yanma testlerinde termal dayanımlarını arttırdığı söylenebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada RPUF'ların, düşük ısı direnci ve alevlenebilir olması gibi problemleri ortadan kaldırmak için yüksek kömür verimine ve piroliz ısısına sahip RF reçinesi kullanılarak ısı direnci yüksek kompozitler geliştirilmiştir. Sentezlenen kompozitler FTIR, SEM, TGA kullanılarak karakterize edilmiştir. Köpükteki RF reçine miktarının artması ile RF reçinesinin karakteristik pikleri daha belirgin hale gelmiştir. Bu da köpük ile reçinenin karışımının göstergesidir. TGA analizi sonucunda RPUF köpüğünün termal dayanımının oldukça düşük olduğu görülmüştür. RPUF köpüğünün 800°C'deki kömür kalıntı verimi %6.4'tür. RF-RPUF kompozitlerinin kömür kalıntı verimleri ele alındığında, artan reçine miktarıyla birlikte kömür kalıntı verimleri artmıştır ve RF20-RPUF kompozit köpüğünün kömür kalıntı verimi %49.7 olmuştur. RPUF köpüklerine RF reçinesinin katılması termal dayanımı gözle görülür şekilde arttırmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde ise köpüğün gözenek yapısı görülmektedir. RF reçinesi eklenmesi ile köpüklerin gözenek duvarlarının iç kısımlarında reçinenin homojen parçacıklar halinde dağıldığı görülmüştür. Ayrıca kompozit köpüklerin yoğunlukları ölçülmüş, köpük içerisindeki reçine miktarındaki artış ile yoğunluğunda arttığı görülmüştür. Dikey yanma testleri sonucunda RPUF'larında ağırlıkça RF içeriğindeki artışla birlikte köpüklerin yanma dayanımı artmıştır. Reçinesiz RPUF ilk 10 saniyede hızlıca tamamen yanarken, %20 RF reçinesi içeren köpük aleve karşı yüksek direnç göstermiştir. RF20-RPUF köpüğün doğrusal yanma hızı reçinesiz RPUF'a göre %91.33 daha düşüktür. Bu oran %5 RF reçinesi içeren köpük için %44.44 iken, %10 RF reçinesi içeren köpükte %79.11, %15 RF reçinesi içeren köpükte ise %87.11'dir. Bu değerler TGA sonucunu da destekleyerek RF'in RPUF'un yanma hızına etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar kömür verimi iyileştirilmiş ve alev direnci artırılmış rijit poliüretan-resorsinol-formaldehit kompozitlerin başarı ile sentezlendiğini göstermektedir. Yapılan literatür araştırmalarında PUF'lara, RF reçinesinin dahil edildiği çalışmalara rastlanmamış olması dolayısıyla çalışma oldukça özgün olup, elde edilen sonuçların oldukça iyi olması ile poliüretanın sahip olduğu düşük alev direnci problemini ortadan kaldırmak için literatüre ve uygulamaya önemli bir çözüm yolu sunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012208035 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Aghabararpour, M., Mohsenpour, M., Motahari, S., & Abolghasemi, A. (2018). Mechanical properties of isocyanate crosslinked resorcinol formaldehyde aerogels. *Journal of Non-Crystalline Solid*, 481, 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.11.048>
- Agrawal, A., Kaur, R., & Walia, R. S. (2019). Investigation on flammability of rigid polyurethane foam-mineral fillers composite. *Fire and Materials*, 43(8), 917-927. <https://doi.org/10.1002/fam.2751>
- Attia, S. M., Abdelfatah, M. S., & Mossad, M. M. (2017). Characterization of pure and composite resorcinol formaldehyde aerogels doped with silver. *Journal of Physics: Conference Series*, 869, 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/869/1/012036>
- Badhe, Y., & Kandasubramanian, B. (2014). Novel hybrid ablative composites of resorcinol formaldehyde as thermal protection systems for re-entry vehicles. *RSC Advances*, 4, 28956. <https://doi.org/10.1039/C4RA03316G>
- Bryskiewicz, A., Zieleniewska, M., Przyjemska, K., Chojnacki, P., & Ryszkowska, J. (2016). Modification of flexible polyurethane foams by the addition of natural origin fillers. *Polymer Degradation and Stability*, 132, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.05.002>
- Burgaz, E., & Kendirlioglu, C. (2019). Thermomechanical behavior and thermal stability of polyurethane rigid nanocomposite foams containing binary nanoparticle mixtures. *Polymer Testing*, 77, 105930. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105930>
- Daniel, A., Gudivada, G., Srikanth, I., & Kandasubramanian, B. (2019). Effect of zirconium diboride incorporation on thermal stability and ablation characteristics of carbon fiber reinforced resorcinol formaldehyde composites. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58, 18623-18634. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03469>
- Daniel, A., Srikanth, I., & Kandasubramanian, B. (2020). Effect of boron nitride addition on ablation characteristics of carbon fiber reinforced resorcinol formaldehyde composites. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59 (43), 19299–19311. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c03818>
- Faris, A. H., Rahim, A. A., Ibrahim, M. N. M., Hussin, M. H., Alkurdi, A. M. & Salehabadi, A. (2017). Investigation of oil palm based kraft and auto-catalyzed organosolv lignin susceptibility as a green wood adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 74, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.01.006>
- Fathy, N. A., Rizk, M. S. & Awad, R. M. (2016). Pore structure and adsorption properties of carbon xerogels derived from carbonization of tannic acid-resorcinol-formaldehyde resin. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 119, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.03.017>
- Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: past, present and future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
- Gore, P., Khraisheh, M. & Kandasubramanian, B. (2018). Nanofibers of resorcinol–formaldehyde for effective adsorption of As (III) ions from mimicked effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 11729–11745. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1304-z>
- Gupta, R., & Kandasubramanian, B. (2015). Hybrid caged nanostructure ablative composites of octaphenyl-POSS/RF as heat shields. *RSC Advances*, 5(12), 8757-8769. <https://doi.org/10.1039/C4RA10905H>
- Gyan, D. S. & Kandasubramanian, B. (2016). Ionic liquid microseeded WC/RF ablative composite for heat shielding. *RSC Advances*, 6, 65152–65161. <https://doi.org/10.1039/C6RA09285C>
- Higashimoto, S., Sasakura, Y., Tokunaga, R., Takahashi, M., Kobayashi, H., Jiang, J. & Sakata, Y. (2021). Synthesis, characterization and photocatalytic properties of robust resorcinol-formaldehyde polymer fine particles. *Applied Catalysis A: General*, 623, 118240. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2021.118240>
- Hu, Y., Geng, W., You, H., Wang, Y., & Loy, D. A. (2014). Modification of a phenolic resin with epoxy- and methacrylate-functionalized silica sols to improve the ablation resistance of their glass fiber-reinforced composites. *Polymers*, 6, 105–113. <https://doi.org/10.3390/polym6010105>

- Huang, G., & Wang, P. (2017). Effects of preparation conditions on properties of rigid polyurethane foam composites based on liquefied bagasse and jute fibre. *Polymer Testing*, 60, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.04.006>
- Kumar, V., Singh, S., & Kandasubramanian, B. (2017). Thermal ablation and laser shielding characteristics of Ionic liquid-microseeded functionalized nanoclay/resorcinol formaldehyde nanocomposites for armor protection. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(14), 1542-1555. <https://doi.org/10.1080/03602559.2017.1280684>
- Lee, S. M., Park, I. K., Kim, Y. S., Kim, H. J., Moon, H., Mueller, S., & Jeong, Y. I. (2016). Physical, morphological, and wound healing properties of a polyurethane foam-film dressing. *Biomaterials Research*, 20, (1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40824-016-0063-5>
- Liang, C., Sha, G. & Guo, S. (2000). Resorcinol–formaldehyde aerogels prepared by supercritical acetone drying. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 271, 167–170. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(00\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(00)00108-3)
- Qiu, Q., Yang, X., Zhang, P., Wang, D., Lu, M., Wang, Z., ... & Li, J. (2021). Effect of fiber surface treatment on the structure and properties of rigid bagasse fibers/polyurethane composite foams. *Polymer Composites*, 42, 2766–2773. <https://doi.org/10.1002/pc.26011>
- Paciorek-Sadowska, J., Czapryński, B., Liszkowska, J., & Piszczek, K. (2012). Preparation of rigid polyurethane foams with powder filler. *Journal of Polymer Engineering*, 32, 71–80. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2011-0108>
- Tang, G., Zhou, L., Zhang, P., Han, Z., Chen, D., Liu, X., & Zhou, Z. (2019). Effect of aluminum diethylphosphinate on flame retardant and thermal properties of rigid polyurethane foam composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140, 625–636. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08897-z>
- Vini, R., Thenmozhi, S., & Murugavel, S. C. (2019). Synthesis, characterization and thermal degradation kinetics of azomethine-based halogen-free flame-retardant polyphosphonates. *High Performance Polymers*, 31(1), 86-96. <https://doi.org/10.1177/0954008317752073>
- Wang, K., Morgan, A.B., & Benin, V. (2017). Preparation and studies of new phosphorus-containing diols as potential flame retardants. *Fire and Materials*. 41(8), 973-982. <https://doi.org/10.1002/fam.2432>
- Wei, Q., Oribayo, O., Feng, X., Rempel, G. L., & Pan, Q. (2018). Synthesis of Polyurethane Foams Loaded with TiO₂ Nanoparticles and Their Modification for Enhanced Performance in Oil Spill Cleanup. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57, 8918–8926. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b01037>
- Yan, D., Xu, L., Chen, C., Tang, J., Ji, X., & Li, Z. (2012). Enhanced mechanical and thermal properties of rigid polyurethane foam composites containing graphene nanosheets and carbon nanotubes. *Polymer International*, 61, 1107–1114. <https://doi.org/10.1002/pi.4188>
- Zhao, X., Zhang, M., Sun, X., Li, X. & Li, J. G. (2019). Comprehensive understanding of the formation process on monodisperse resorcinol-formaldehyde polymer and carbon spheres and their use as substrates for surface-enhanced raman spectroscopy. *Applied Surface Science*, 506, 144591. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144591>
- Zheng, X., Wang, G., & Xu, W. (2014). Roles of organically-modified montmorillonite and phosphorous flame retardant during the combustion of rigid polyurethane foam. *Polymer Degradation and Stability*, 101, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.015>
- Zorba, T., Papadopoulou, E., Hatjiissaak, A., Paraskevopoulos, K.M., & Chrissafis, K. (2008). Urea-formaldehyde resins characterized by thermal analysis and FTIR method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92, 29–33. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8731-2>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Çaldıran (Van) İlçe Merkezi Deprem Risk Haritasının Oluşturulması

Sacit MUTLU^{*1}, Ufuk GÜNDAY²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Güvenlik Meslek Yüksekokulu, Acil Durum ve Afet Yönetimi Programı, 65080, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Sacit MUTLU, ORCID No: 0000-0003-1632-722X, Ufuk GÜNDAY, ORCID No: 0009-0000-8986-3598

*Sorumlu yazar e-posta : sacitmutlu@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 31.09.2024

Kabul: 24.10.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1541330

Anahtar Kelimeler

Afet riski,
Çaldıran Depremi,
Deprem tehlike haritası,
Yer bilimsel veri

Öz: Van Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan Çaldıran ilçesi önemli aktif tektonik hatlara oldukça yakın bir konumdadır. Yakın geçmişte meydana gelen yıkıcı depremler ilçenin deprem tehlikesini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle ilçede Çaldıran Fayı'nın 1976 yılında ürettiği Mw:7.3 büyüklüğündeki depremde 3840 kişi hayatını kaybetmiş, 9232 bina hasar görmüş olup 2000 km²'lik bir alandaki evlerin %80'i ağır hasar görmüştür. Ayrıca çalışma alanı tarihte önemli yerleşim merkezlerine ev sahipliği yaptığı için, bölgedeki yıkıcı tarihsel deprem kayıtları da bulunmaktadır. Çaldıran ilçesinde ilk tehlike deprem olmakla birlikte, zemin özellikleri, karbondioksit gazı çıkışı ve yapı stoğu verileri de tehlike ve risk boyutunu artırmaktadır. Çalışmanın ilk etabında Çaldıran ilçesi ile ilgili yapılan çalışmalar derlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri tabanına eklenerek bir veri grubu oluşturulmuştur. Sonraki süreçte Çaldıran İlçesi'nde saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm veriler altı adet veri grubu ile Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) ile analize tabi tutulmuştur. Sonuç olarak Çaldıran ilçe merkezi içerisinde yer alan yapıların yaklaşık %77'si uygun olmayan alan, yapı kalitesi, yapı kat sayısı, aletsel ve tarihsel deprem verileri ve faya uzaklık kriterlerine bağlı olarak yüksek risk içermektedir.

Creating the Earthquake Risk Map of Çaldıran (Van) District Center with Geographic Information Systems and Analytical Hierarchy Process (AHP)

Article Info

Received: 31.09.2024

Accepted: 24.10.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1541330

Keywords

Çaldıran Earthquake,
Disaster risk,
Earthquake hazard map,
Geoscientific data

Abstract: The Çaldıran District, located in the northeast of Lake Van, is situated in close proximity to significant active tectonic faults. Recent destructive earthquakes have clearly highlighted the seismic hazard of the district. Notably, the 7.5 magnitude earthquake generated by the Çaldıran Fault in 1976 resulted in 3,840 fatalities, with 9,232 buildings damaged, and approximately 80% of the houses within a 2,000 km² area sustained severe damage. Furthermore, due to its historical role as a major settlement area, the study region also contains records of destructive historical earthquakes. While the Çaldıran District's primary hazard is related to seismic activity, factors such as soil properties, carbon dioxide emissions, and building stock data further exacerbate the hazard and risk levels. In the initial phase of the study, existing research on the Çaldıran District was compiled and integrated into a Geographic Information Systems (GIS) database to create a comprehensive dataset. Subsequently, fieldwork was conducted in the Çaldıran District. All collected data were analyzed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) with six distinct data sets. As a result, approximately 77% of the structures within the Çaldıran District center are classified as high risk based on criteria such as unsuitable land, building quality, number of building floors, instrumental and historical earthquake data, and distance from fault lines.

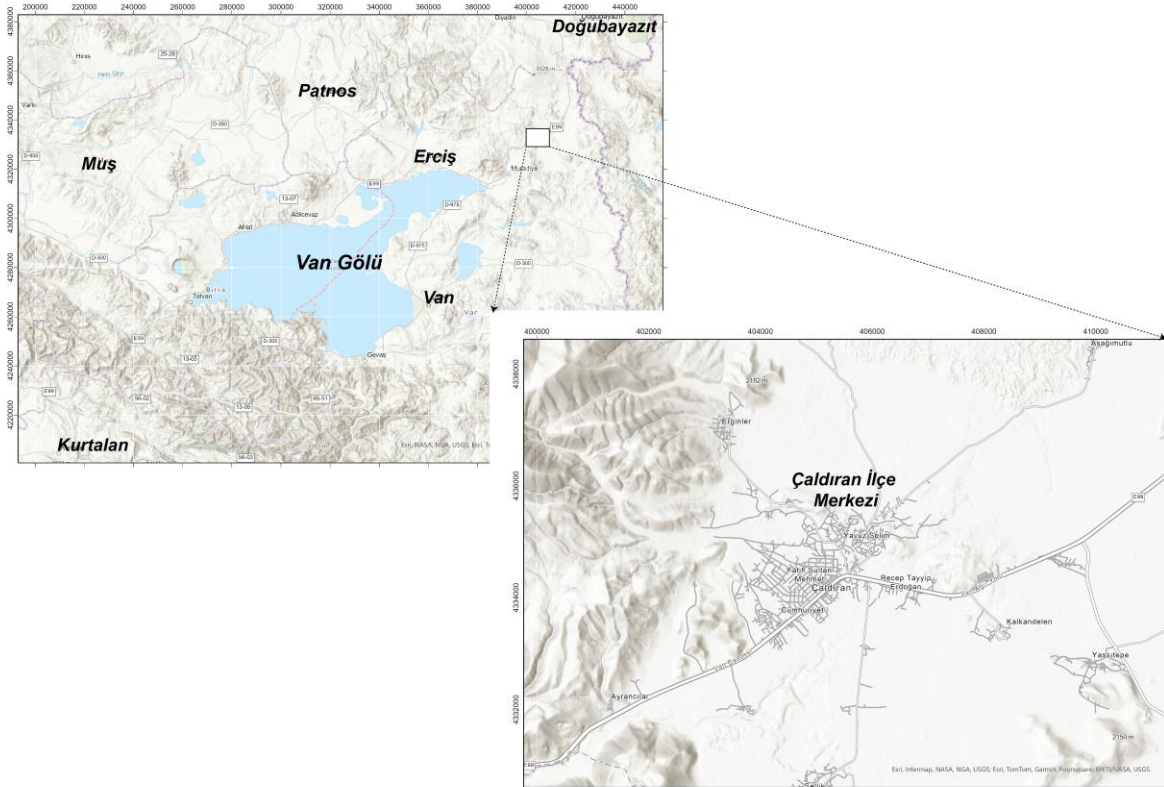
1. Giriş

Bu çalışma sismik hareketlerin fazlaca olduğu ve 1976 yılında büyük bir yıkıcı depreme maruz kalan Van ilinin Çaldıran ilçesi üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). İlçede 1976 yılında Mw:7.3 büyüklüğündeki depremde 3840 kişi hayatını kaybetmiş, 9232 bina hasar görmüş olup 2000 km²'lik bir alandaki evlerin %80'i ağır hasar görmüştür (Toksöz ve ark., 1977; Gülkan ve ark., 1978; Şaroğlu, 1985). Çaldıran İlçesi ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nin en doğu ucunda yer almaktadır (Şekil 1). İnceleme alanının kuzeybatısında Erzurum ili, güneybatısında Diyarbakır ili, doğusunda ise İran bulunmaktadır. İnceleme alanının konumuna lokal ölçekte bakıldığında, kuzeybatısında Erciş ilçesi, güneybatısında Van Gölü, ve kuzeydoğusunda Ağrı Dağı (5137 m) bulunmaktadır. Çaldıran ilçesi neotektonik olarak Doğu Anadolu Kısılma Bölgesi içerisinde bulunmaktadır (Şengör ve Yazıcı, 2020). İlçeyi etkileyebilecek en önemli aktif fay Çaldıran fayıdır. Çaldıran fayı Van Gölü'nün 100 km kuzeydoğusunda yer alır ve yaklaşık 50 km uzunluğunda doğrultu atımlı bir faydır (Şaroğlu ve Güner, 1979). Çaldıran fayı batıda Tatak ve Erciş fayları, doğuda ise Kuzey Tebriz fayı ile büyük bir deformasyon alanının bir parçasıdır (Şaroğlu ve Güner, 1979; Reilenger vd., 2006). Bölgede neotektonik döneme bağlı olarak birçok farklı türde aktif fay mevcuttur. Çaldıran Fayı'nın kuzeyinde Balıkgölü Doğubayazıt, Iğdır ve Sardarapat fayları yer alırken güneyinde ise Hasantimur ve Erciş fayları yer alır (Emre ve ark., 2013). Bu denli aktif fay zonları ile sismik etkinliği yüksek olan bir bölgenin tehlike ve risk değerlendirmesinin yapılması oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca bölge ve yakın civarında yapılan çalışmalar tehlike parametrelerine bağlı olarak yapılmıştır (Albini ve ark., 2012; Karakhanian ve ark., 2013; Alkan ve Akkaya, 2023). Bu çalışma ise tehlike parametrelerine değinmekle birlikte deprem risk parametresini de içermektedir. Her ne kadar deprem risk yönetimi ile ilgili verimli ve etkili mücadele edilse de risk faktörünü sıfıra indirmek imkansızdır. Dolayısıyla kalıntı (residual) riskin de yönetilebiliyor olması bu anlamda oldukça önemlidir. Çalışma bu anlamda Çaldıran İlçe merkezinin risk düzeyini ortaya koymakla birlikte hem karar vericilere yön göstermesi hem de literatüre katkı sunması açısından önemli bir boşluğu dolduracaktır.

Ülkemiz son yıllarda yaşanan doğa kaynaklı afetler sonucunda oldukça fazla yara almış bulunmaktadır. Ayrıca ülkemiz sahip olduğu tektonik, topoğrafik ve meteorolojik özelliklerinden dolayı doğa kaynaklı afetlerin meydana gelmesine olanak sağlayan bir coğrafik konumda yer almaktadır. Nitekim geçmişten günümüze birçok farklı türde doğa kaynaklı afet meydana gelmiştir. Ancak yaşanan bu afetlerden en çok can ve mal kaybı aktif fay kaynaklı depremlerden dolayı meydana gelmiştir. Buna ek olarak dünya genelinde meydana gelebilecek ve tekrarlanan doğa kaynaklı afetler ile ilgili yıkıcı parametreleri minimize etmek için birçok önleyici faaliyet yapılmaktadır. Ancak teknolojinin fazlaca etkin ve güçlü olduğu günümüzde halen yaşanan doğa kaynaklı afetlerde can kaybı ve yıkım tahribat boyutu oldukça fazladır. Özellikle ülkemizde 06.02.2023 tarihinde meydana gelen iki yıkıcı depremin ve şiddetli artçı sarsıntıların 17 ilimizde etkili olması sonucunda farklı boyutlarda yıkım oluşmuştur. Bu yüzden doğa kaynaklı afetler her zaman üzerinde çalışmayı ve hazırlıklı olmayı gerektiren çok disiplinli önemli bir konudur.

Depremler, yarattıkları can ve mal kayıplarının yanında bölgesel ve ulusal sorunlara da sebep olmaktadır. Deprem sonrası yaşanan ekonomik kayıplar, afet sahasındaki fiziksel hasarlar ve sosyo-psikolojik tahribatlar deprem sonrası yaşanan sorunlardan bazılarıdır. Bu yüzden ülkemizin Türkiye yüzüylü çerçevesinde planlanmış olduğu küresel çaptaki projelerin olası büyük bir deprem neticesinde sektöre uğramaması için özellikle deprem konusunda yapmış olduğumuz çalışma şimdiki ve sonraki zaman için bölgesel ve ulusal açıdan önem arz etmektedir.

Afet yönetimi kapsamında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) oldukça önemlidir. CBS, afet yönetimi süreçleri içerisinde; risk analizi ve planlama, afet sırasında müdahale, hasar tespiti ve iyileştirme ve afet sonrası analizler yaparak kritik bir araç olarak kullanılır. Bu sistemlerin etkin kullanılması, afetlerin etkilerini azaltmak ve toplumların afetlere daha dirençli olmasını sağlamak için büyük bir katkı sunar. Yapmış olduğumuz çalışmada CBS tabanlı risk analizi ve planlama adı altında tehlike parametreleri (fayın türü, fayın uzaklığı, tarihsel ve aletsel dönem deprem etkinliği vb.) ve risk unsuru parametresine, (yapı kalitesi, yapı kat adedi zemin özelliği vb.) bağlı olarak elde edilecek tüm veri envanterin CBS formatında sayısallaştırılması ve bu veri kataloğunun risk düzeyinde ağırlıklandırılması işlemine dayanmaktadır. Sismik tehlikesi fazla olan bölgede yapılan bu çalışma tehlike ve risk değerlendirilmesi açısından bölgede yapılan ilk çalışma niteliğinde olması yönünden konunun özgün değerini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Çaldıran ilçesinin konumu.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın başlangıcında Çaldıran ilçesi ve yakın civarında tehlike ve risk değerlendirmeleri ile ilgili yapılan çalışmalar derlenmiştir. Daha sonra Çaldıran Belediyesi ile gerekli görüşmeler sağlanmış ve Çaldıran ilçesi'ne ait yerbilimsel ve yapı envanter verileri temin edilmiştir. Her bir veri türü coğrafi bilgi sistemlerine entegre edilerek bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra Çaldıran ilçesi'nde saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm veriler 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve çok kriterli karar problemlerini çözmek için kullanılan Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) yöntemi ile analize tabi tutulmuştur (Saaty, 1979). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHS parçalama ve sentez yolu ile en iyi cevabı bulmak için kullanılmaktadır (Forman ve Selly, 2002). AHS yönteminde problem kendi içerisinde parçalara ayrılır, parçalara ayrılan her bir verinin ikili karşılaştırma ile önem derecesi belirlenir. Bu çalışma kapsamında Saaty (1990) tarafından geliştirilen karar verme tercih ölçeği kullanılmıştır (Çizelge 1). AHS sürecinde altı adet veri grubu kullanılmış olup, bir adet veri analize dahil edilmemiştir (Çizelge 2).

Tarihsel ve aletsel deprem verileri Step'anian (1964), Al-Suyuti (1974; 1984), Ibn al-Athir (1982), Kondorskaya ve Shebalin (1982), Guidoboni ve ark. (1994), Guidoboni ve Traina (1995), Ambraseys (2009), AFAD-DDB (2024) kayıtlarından derlenmiştir. Fayın uzaklığı verisi Emre ve ark. (2012; 2013) kaynağından alınarak hesaplanmıştır. Zemin sınıflaması, yapı kat adedi ve yapı kalitesi verileri ise Çaldıran Belediyesi'nden temin edilmiştir. AHS yönteminde her bir veri setinin satır ve sütun önem derecesine göre puanlama yapılarak ağırlık dereceleri hesaplanmıştır. Daha sonra her bir veri seti CBS ortamında hesaplanmış ve risk haritası oluşturulmuştur.

Çizelge 1. Analitik Hiyerarşi Süreci'nde kullanılan standart tercih ölçeği (Saaty, 1990; 2004)

Sayısal ölçek	Anlam	Açıklaması
1	Eşit derecede önemli	İki parametre amaca eşit olarak katkı sunmaktadır.
3	Bir parametre diğer parametre göre biraz daha önemli	Değerlendirme sonucunda bir parametre bir başka parametreye göre biraz daha fazla tercih edilmektedir
5	Bir parametre diğer parametre göre kuvvetlice önemli	Değerlendirme sonucunda bir parametre bir başka parametreye göre biraz daha fazla tercih edilmektedir
7	Açıklanmış veya çok fazla önemli	Bir parametre çok fazla tercih edilir veya üstünlüğü uygulamada ispatlanmıştır.
9	Son derece aşırı önemli	Bir parametrenin başka bir parametreye tercih edilmesinin ispatının doğrulanması çok yüksek olasılıklıdır.
2, 4, 6, 8	Birbirine göre yakın değerler	Uzlaşmaya durumunda kullanılmaktadır.

Çizelge 2. Çalışma kapsamında kullanılan veri grubu

Kullanılan veri	Veri kaynağı	Veri Türü	Analize dahil edilme durumu
Tarihsel Deprem	Ambraseys, 2009	Vektör	Analiz edildi
Aletsel Deprem	AFAD-DDB, KKRDA	Vektör	Analiz edildi
Fay Uzaklığı	MTA	Vektör	Analiz edildi
Zemin Sınıflaması	Çaldıran Belediyesi	Vektör	Analiz edildi
Yapı kat adedi	Çaldıran Belediyesi, saha verileri	Vektör	Analiz edildi
Yapı Kalitesi	Çaldıran Belediyesi, saha verileri	Vektör	Analiz edildi
CO ₂ çıkışı	MTA, AFAD, saha verileri	Text	Analiz edilmedi

3. Bulgular

Türkiye tarihindeki en yıkıcı depremlerden biri olarak kayıtlara geçen 24 Kasım 1976 Çaldıran Depremi (Mw:7.3) yaklaşık 3,840 kişinin hayatını kaybetmesine ve binlerce kişinin yaralanmasına ve Van, Muradiye, Erciş, Karayazı ve Ağrı gibi çevre iller ve ilçeler de de depremin etkisinin hissedilmesine neden olmuştur (Toksöz ve ark., 1977; Gülkan ve ark., 1978). Söz konusu deprem Çaldıran Fayı'nın etkinliğini ortaya koyarak bölgedeki sismik ve deprem tehlikesinin daha detaylı bir şekilde çalışılmasına zemin hazırlamıştır. Bölgede hem deprem etkinliği hem de depremin sosyal ve ekonomik etkisi üzerine birçok çalışma mevcuttur (Arpat ve ark., 1977; Şaroğlu ve Erdoğan, 1983; Parin, 2020; Alkan ve Akkaya, 2021). Çalışma kapsamında hem akademik çalışmalar hem de kamu kurum ve kuruluşlarından alınan raporlar derlenmiştir. Özellikle bölgenin deprem aktivitesinden ötürü ilk etapta tarihsel ve aletsel veri katalogları derlenmiştir.

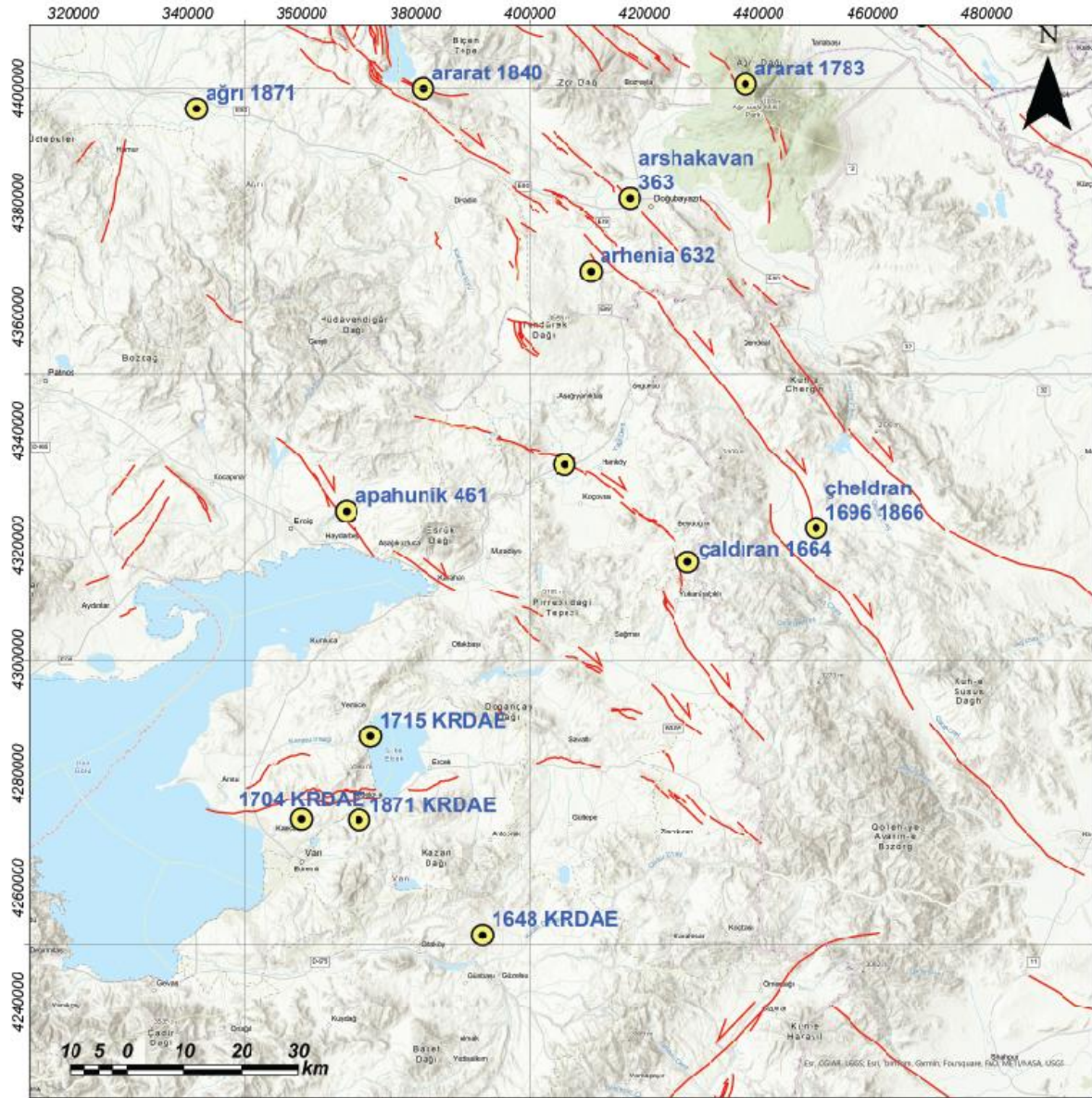
3.1. Tarihsel dönem deprem etkinliği

Bölgenin tarihsel dönem deprem etkinliği eski ve yeni yerleşimlerin isimleri ortaya konularak belirlenmeye çalışılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi birçok medeniyete ev sahipliği yapan bir lokasyonda yer almaktadır (Ambraseys, 2009). Bölgenin bir yerleşim alanı olarak yer almasından dolayı gerçekleşen büyük yıkıcı doğa olaylarının çoğunun kayıtları alınmıştır. Bu kayıtları barındıran önemli ticarethaneler ve dini amaçlı kullanılan (cami, kilise, manastır vb.) yapıların zarar görmesi ve

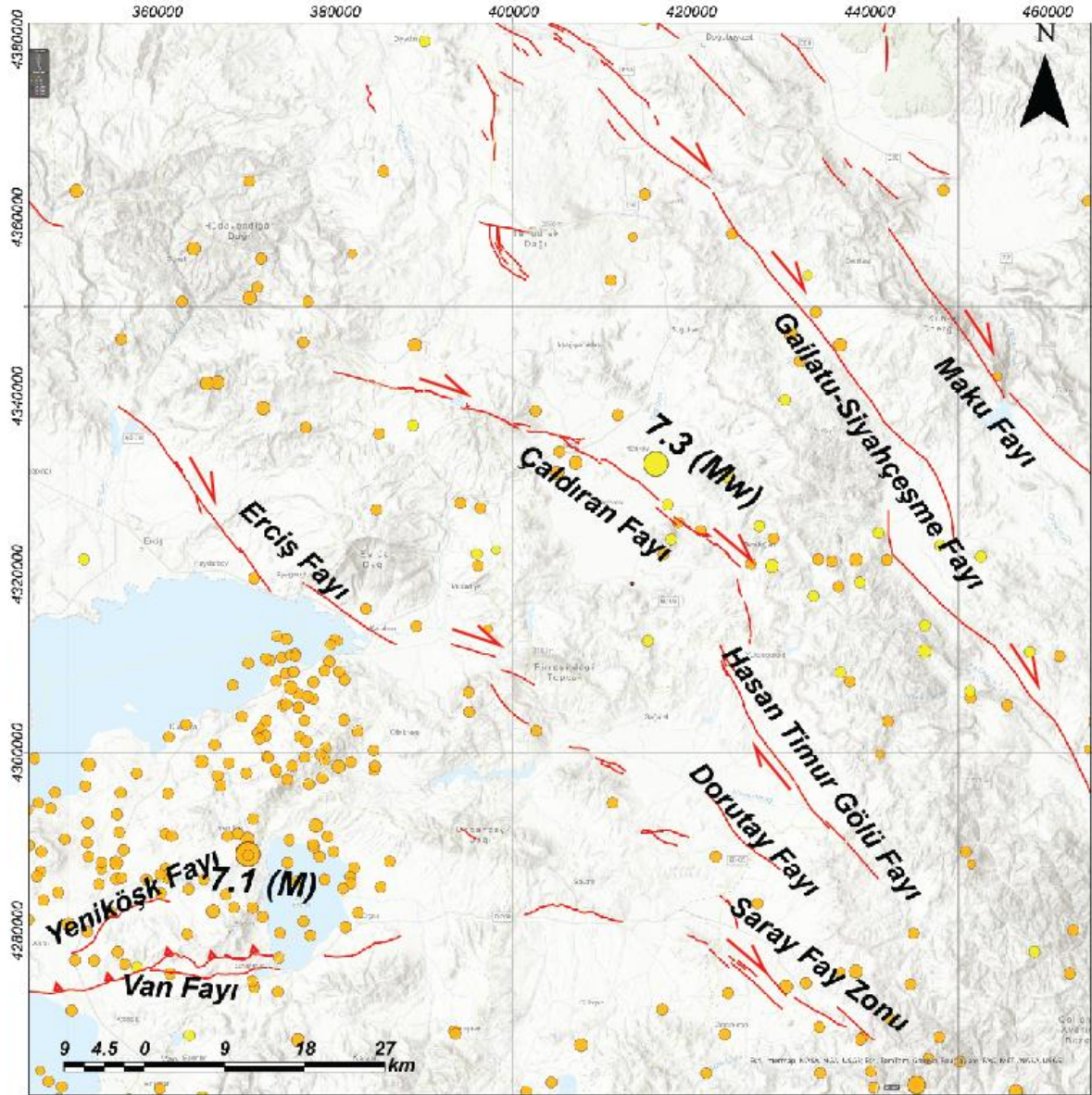
yıkılması ile ilgili bilgiler tarihsel kaynaklarda anlatılmıştır (Mutlu, 2022). Çalışma alanı tarihsel kaynaklarda Ararat ve Vaspurakan Bölgesi olarak geçmektedir (Ambraseys, 2009). Dolayısıyla bölge içerisinde meydana gelen tarihsel depremler Step'anian (1964), Ibn al-Athir (1982), Kondorskaya ve Shebalin (1982), Al-Suyuti (1974; 1984), Guidoboni ve ark. (1994), Guidoboni ve Traina (1995), Ambraseys (2009) kaynaklarından ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) sitesinden derlenmiştir. Ayrıca bölge ve yakın civarında Mutlu (2022) tarafından yapılan tarihsel deprem sayısallaştırmaları da kullanılmıştır. Çaldıran yerleşimi ve yakın civarında 13 adet tarihsel deprem kaydı yer almaktadır (Şekil 2). Bu tarihsel yıkıcı depremlerden beş tanesi Çaldıran ilçesinin kuzeyinde yer almaktadır. Bunlar: Ağrı (1871) Depremi, Ararat (1840) Depremi, Arhenia (632) Depremi, Arshakavan (363 Depremi) ve Ararat (1783) depremleridir. Çaldıran ilçesinin batısında Apahunik (461) Depremi ve doğusunda ise Çheldran (1696, 1866) depremleri yer almaktadır. KRDAE kayıtlarında ise Çaldıran ilçesinin kuzeybatısında dört adet tarihsel deprem kaydı yer almaktadır. Çaldıran ilçesi ve yakın civarını etkileyen tarihsel deprem kaydı ise Çaldıran Fayı'nın güneydoğu ucundaki bir lokasyonu göstermektedir (Çaldıran 1664 Depremi). Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusunda meydana gelen bu deprem hakkındaki bilgiler belirgin olmamakla birlikte Osmanlı kaynakları (Kâtip Çelebi, Takvim, 137); bölgedeki birçok yerin harap olduğunu belirtmiştir (Ambraseys, 2009). Başka bir Osmanlı kaynağı (4 Zilkade 1074 a.H.) cuma günü akşam vaktinde Acem (Iran) bölgesinde büyük bir depremin olduğunu, kaosun devam ettiğini 50.000'in üzerinde can kaybının yaşandığını belirtmiştir (Ambraseys, 2009). Tabriz şehrinde Uzun Hasan Camisi, marketler, çarşılar ve hanların (Great Han) yıkılarak 1000 tüccar enkaz altında kalmıştır. Rustem Han ve Governor Sarayı 'da yıkılmıştır. Hayatta kalanlar şehrin dışında kamp kurmuşlardır. Sham Kazan olarak adlandırılan bölgenin yarısından fazlası yıkılmıştır (Ambraseys, 2009). Aynı deprem 1641 tarihi baz alınarak da anlatılmıştır (Ambraseys, 2009). İran bölgesinde meydana gelen 1641 depreminin çoğu binayı yıkarak birçok insanın ölümüne neden olduğu belirtilmiştir (Ambraseys, 2009). Ambraseys (2009) ise 1664 depremine atıfta bulunarak Tabriz bölgesinde meydana gelen depremin, Tabriz'in 300 km kuzeybatısında olan Ararat bölgesindeki Toprakkale, Gerger, Tuman bölgelerinin yıkıldığını ve Girangir vilayetinin etkilendiğini belirtmektedir.

3.2. Aletsel dönem deprem etkinliği

Çalışma alanı ve yakın civarında birçok aktif tektonik yapı olduğundan dolayı aletsel dönem içerisinde de birçok yıkıcı deprem yer almaktadır (Şekil 3). Özellikle bu depremler içerisinde 1976 Çaldıran ve 2011 Van depremleri bölge içerisinde önemli derecede can ve mal kaybına neden olmuştur. Doğu Anadolu'da sağ yönlü bir doğrultu atımlı fay olan Çaldıran Fayı'nın 24 Kasım 1976 yılındaki aktivitesi; yüzey kırığı üreten (Mw:7.3) büyüklüğündeki depremle belirginleşmiştir (Şaroğlu ve Güner, 1979; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Bu deprem, o dönemde yaşayan nüfusun neredeyse yarısına denk gelen 3840 kişinin ölümüne neden olmuştur. Çalışma alanı için en önemli tehlike kaynağı olan Çaldıran Fayı, Van Gölü'nün yaklaşık 100 km kuzeydoğusunda yer almakta olup, Türk-İran sınırından batıya doğru yaklaşık 50 km boyunca uzanmakta ve Azizan Dağı'nın yüksek yamaçlarında sona ermektedir (Emre ve ark., 2013; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Bölge içerisinde Çaldıran Fayı'nın bir parçası olduğu doğrultu atımlı bir tektonik hat bulunmaktadır (Şaroğlu ve Güner, 1979; Djamour ve ark., 2011). Yerleşim yerlerini etkileyebilecek bu sistem içerisinde Çaldıran Fayı dışında Erciş Fayı, Gailatu-Siyahçeşme Fayı, Maku Fayı, Tutak Fayı ve Çaldıran İlçe yerleşiminin kuzeyinde kalan Balık Gölü Fay Zonu yer almaktadır (Emre ve ark., 2012; 2013; Mutlu, 2022). Bu sistemin dışında bindirme ve ters faylar ile normal fay veya açılma çatlaklarından oluşan karmaşık bir fay yapısı da mevcuttur (Emre ve ark., 2013). Nitekim 23.10.2011 günü yerel saatle 13:41'de merkez üssü Van il merkezinin yakın kuzeyine rastlayan Mw:7.1 büyüklüğünde bir deprem Van ve Erciş gibi iki büyük kentsel yerleşme ile köylerde can kaybı ve hasara yol açmıştır. Bu yıkıcı depremden sonra, odak merkezleri farklı olan 29 Ekim, 8 Kasım ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde sırasıyla Mw: 5.1, 5.3 ve 5.7 büyüklüğünde üç deprem daha meydana gelmiştir (AFAD-DBD, 2024). Van (Tabanlı) depremi olarak adlandırılan bu deprem bölge içerisinde sadece doğrultu atımlı fayların değil, bindirme faylarının da yıkıcı etki oluşturduğunu göstermiştir.



Şekil 2. Çaldıran ilçesi ve yakın civarında meydana gelen tarihsel depremler (Step'anian, 1964; Ibn al-Athir, 1982; Kondorskaya ve Shebalin, 1982; Al-Suyuti, 1974; 1984; Guidoboni ve ark., 1994; Guidoboni ve Traina, 1995; Ambraseys, 2009; Mutlu, 2022; KRDAE, 2024).

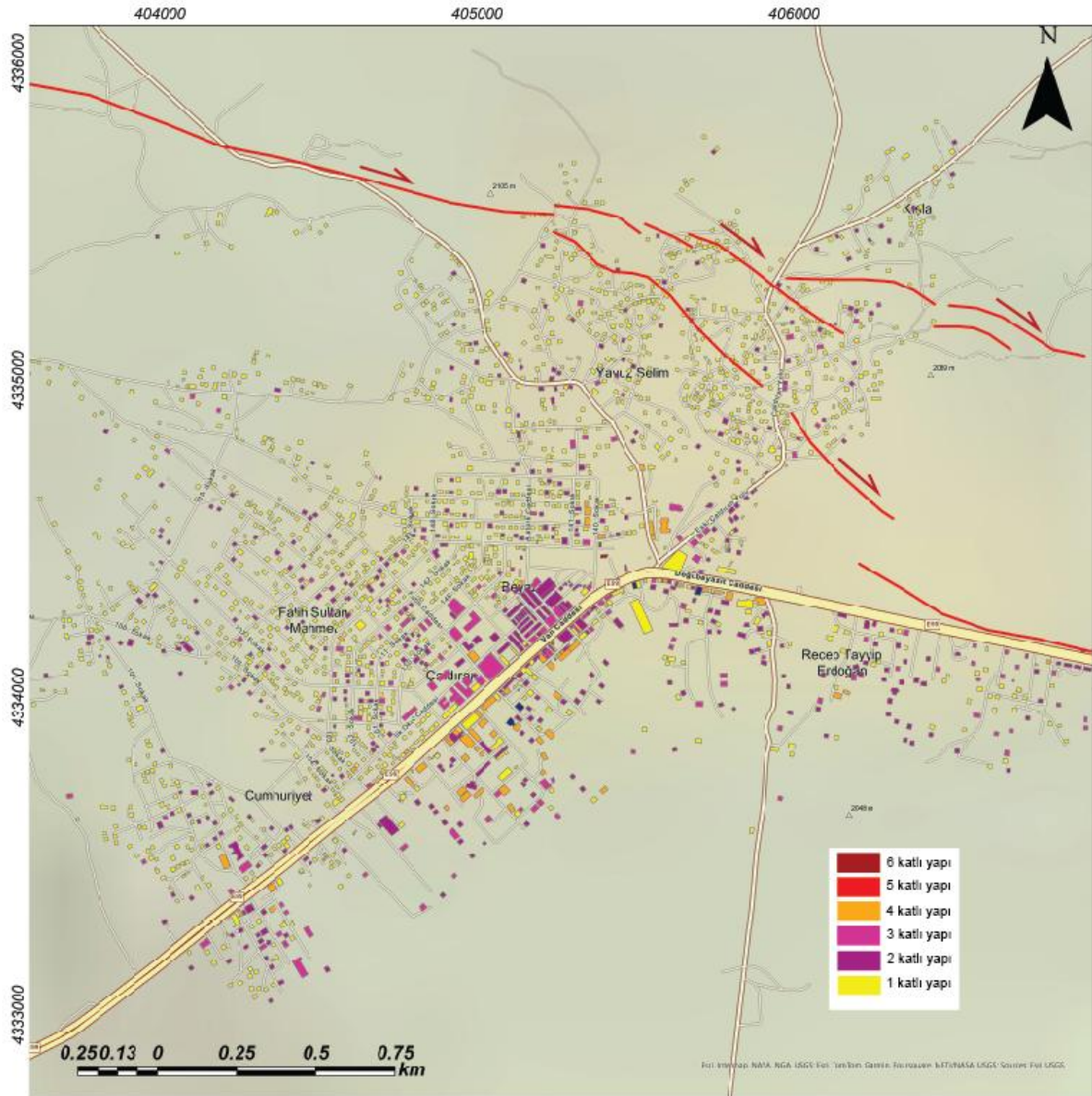


Şekil 3. Çaldıran ilçesi ve yakın civarında meydana gelen aletsel dönem depremler (AFAD-DDB, 2024).

3.3. Çaldıran fayı

Çaldıran Fayı, 42° doğu boylamından 48° doğu boylamına kadar uzanan ve batıda Tutak Fayı ve Erciş Fayını, doğuda ise Kuzey Tebriz Fayı'nı içeren büyük bir doğrultu atımlı fay sistemi olarak kabul edilmektedir (Şaroğlu ve Güner, 1979). Bu sistem, yılda 8-11 mm hızla kuzey-kuzeydoğuya doğru hareket eden Küçük Kafkas Tektonik Bloğu'nun (Djamour ve ark., 2011) güney sınırı olarak tanımlanmaktadır (Reilinger ve ark., 2006).

Çaldıran Fayı, 1976 depremi merkez üssüne dayanarak iki segmente ayrılmıştır. Kırılma, Çaldıran ilçesinin batısındaki orta kıvrımında başlamış ve iki yönlü olarak yayılmıştır (King ve Nabelek, 1985). Bu yüzey kırığı, Barka ve Kadinsky-Cade (1988) tarafından fayın iki parçalı segmentasyonunun tanımlanmasına yol açmıştır. Fakat Sağlam Selçuk ve ark. (2016) yılında yaptığı çalışmada fayı 3 geometrik segment altında incelemiştir. Çaldıran ilçe merkezi batısında kalan Hıdırmentiş Segmenti ile doğusunda kalan Gülderem Segmenti arasında birbirine paralel gelişen açılmalı büküm yapısına sahip alt segmentlerin içerisinde ve güneybatısında kalmaktadır. Özellikle bu alt segmentler ilçe merkezinde yer alan yapıları da etkilemektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çaldıran ilçesi içerisinde bulunan Çaldıran Fayı'nın konumu.

3.4. CO₂ gazı çıkışı

Çaldıran ilçe merkezini kapsayan bu çalışmada deprem risk analizine dahil edilmeyen bir tehlike daha mevcuttur. Tehlikenin 1976 yılı Çaldıran Depremi sonrası ortaya çıkmasından dolayı bu çalışmada hem literatür verileri hem de arazi gözlemlerine yer verilmiştir. Fakat bu tehlikenin sınırları ve etki ettiği alan mevsim şartlarına bağlı olarak değiştiğinden ötürü CO₂ gazı tehlikesi Çaldıran ilçe merkezi risk analizine dahil edilmemiştir. Çaldıran İlçesi'nde 1976 yılında meydana gelen Deprem nedeniyle hak sahibi kabul edilen 457 aileye Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından konut yapılmıştır. Afetzedelerin konutlarına yerleşmelerinden sonra 1980 yılında konutlardan gaz çıktığı ve bu gazdan vatandaşların rahatsız olduğu yönünde şikâyetler gelmiştir. Konunun o dönemde farklı kurumlar tarafından incelemesinden sonra sonuç itibarıyla Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Maden Tektik Arama Genel Müdürlüğü arasında 10.06.1987 tarihinde imzalanan sözleşme doğrultusunda inceleme alanının gazdan arındırılabilmesi amacıyla 4 adet arındırma sondajı yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmalardan önce yörede 240 olan gazlı konut sayısının 37'ye düştüğü ve gazlı konutların büyük bölümünün 2 nolu sondaj kuyusu civarında bulunduğundan 2 nolu kuyu yapılan yeni sözleşme doğrultusunda 110 metreye kadar derinleştirilmiş ve yapılan yıkama ve kompresör testleri sonucu kuyudan CO₂ gelişi saptanmıştır (Yılmaz ve Açıkgöz, 1990). CO₂ gazının konutlar üzerindeki

etkisinin belirlenmesi amacıyla tespit edilen gözlem noktalarında belirli dönemlerde drager tüpleriyle gaz ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda toplam 20 konutta CO₂ çıkışları saptanmıştır. Çıkan gazların büyük bölümünün %97.99 CO₂ olduğu anlaşılmıştır (Yılmaz ve Açıkgöz, 1990). Sonuç itibarıyla Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından Çaldıran yerleşim yerinin kuzeybatı bölümünde toplam derinliği 280 metre olan 4 adet sondaj açılmış bu sondajlarda Çaldıran-1 kuyusundan yaklaşık 500 kg/saat CO₂ çıkışının olduğu ve bu gazın doğrudan atmosfere verildiği belirtilmektedir (Yılmaz ve Açıkgöz, 1990). Dolayısıyla havanın durgun olduğu zamanlarda yöre halkının sağlığı etkilendiğinden gaz çıkışı olan 1-2-3 nolu kuyuların denetim altına alınması ve gazın yerleşim yerinden kapalı olarak uzaklaşması gerektiği belirtilmiş olup; bölgede CO₂ arındırılması için yeniden bir teknik çalışmanın yapılmasına gerek görülmediği ifade edilmiştir (Yılmaz ve Açıkgöz, 1990).

Çalışmada Çaldıran ilçe merkezinde detaylı saha araştırması yapılmış hem Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 1987 yılında yapmış olduğu arındırma sondajlarının yeri belirlenmiş hem de yörede ikamet eden vatandaşlardan bilgi alınmıştır. 1987 tarihinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından açılan 4 adet sondaj kuyusunun yöre halkından alınan bilgiler doğrultusunda yerleri belirlenmiştir. Söz konusu Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü kuyularının zamanla vatandaşın bilinçsiz bir şekilde kuyuları doldurduğu, kuyuların yaklaşık 30 yıllık bir sürede hasar gördüğü ve işlevini tamamen yitirdiği belirlenmiş olup; 3'ünün tamamen kapandığı 1 tanesinin ise Çaldıran 1 ve 2 nolu sağlık ocağı bahçesinde bulunduğu bu kuyunun da kapanıp sadece ağız vanasının olduğu gözlenmiştir (Şekil 5, 6).

Ayrıca Van ili Çaldıran ilçesi Beyazıt Mahallesinde yöredeki vatandaşlardan alınan bilgilere göre insanların gaz kokusundan rahatsız olduğunun yerel kurumlara bildirmeleri sonucunda 10 adet yaklaşık derinliği 10m olan sondaj kuyularının açıldığı gözlenmiştir (Şekil 5). Çaldıran İlçe merkezini etkileyen gaz çıkışı tehlikesinin saha çalışmalarında hala devam ettiği özellikle de kış aylarında vatandaşların evinin içinde gaz çıkışının arttığı belirlenmiştir. CO₂ gazının Çaldıran İlçe merkezinde ikamet eden vatandaşların sağlığını etkilediği, alınan önleyici çalışmaların verimli ve etkili bir şekilde devam etmediği gözlenmiştir. Özellikle sismik etkinin yüksek olduğu bölgede deprem- CO₂ ilişkisinin başka çalışmalar ile ortaya konulması, bu tehlikenin de diğer risk azaltma çalışmalarında dikkate alınması ve karar vericilerin alt-üst yapı yapım aşamasında bu tehlikeyi göz önünde bulundurmaları oldukça önemlidir.



Şekil 5. Çaldıran ilçe merkezinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından açılan arındırma sondaj kuyusu.

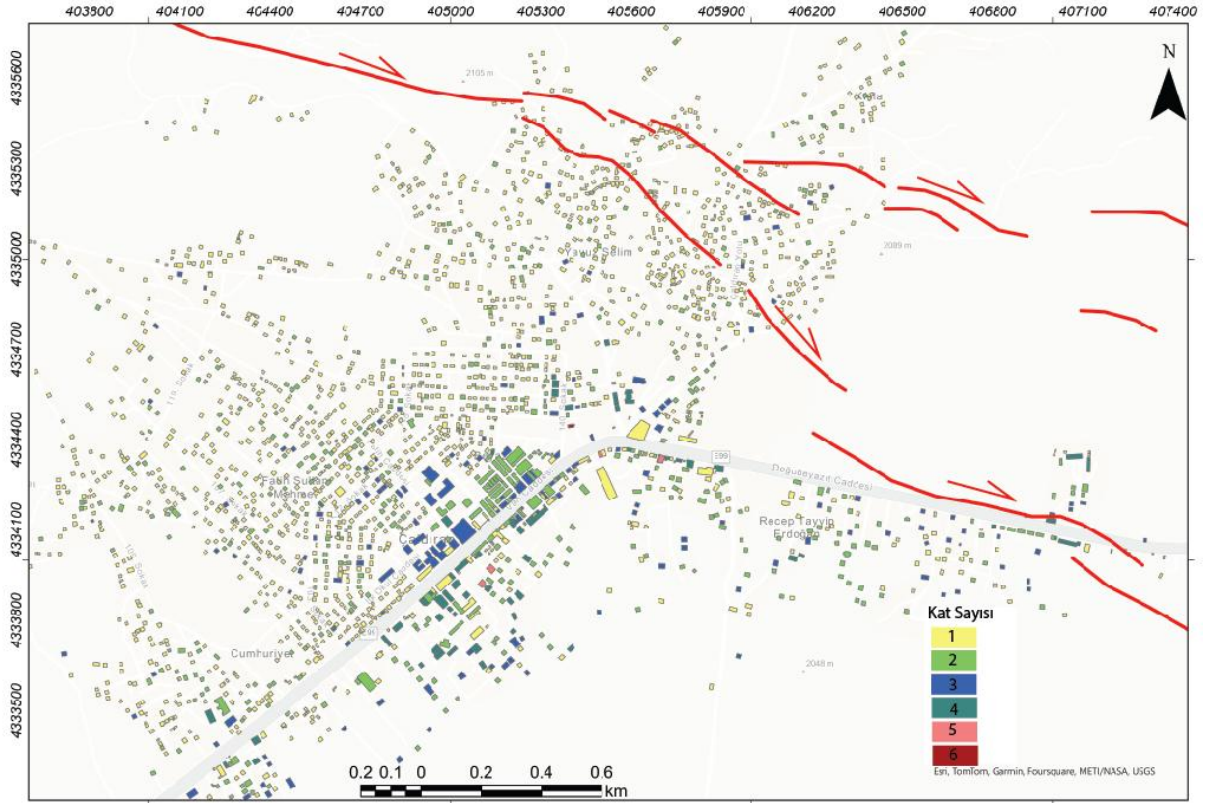


Şekil 6. Çaldıran ilçe merkezinde yerel kurumlar tarafından açılan arındırma sondaj kuyuları.

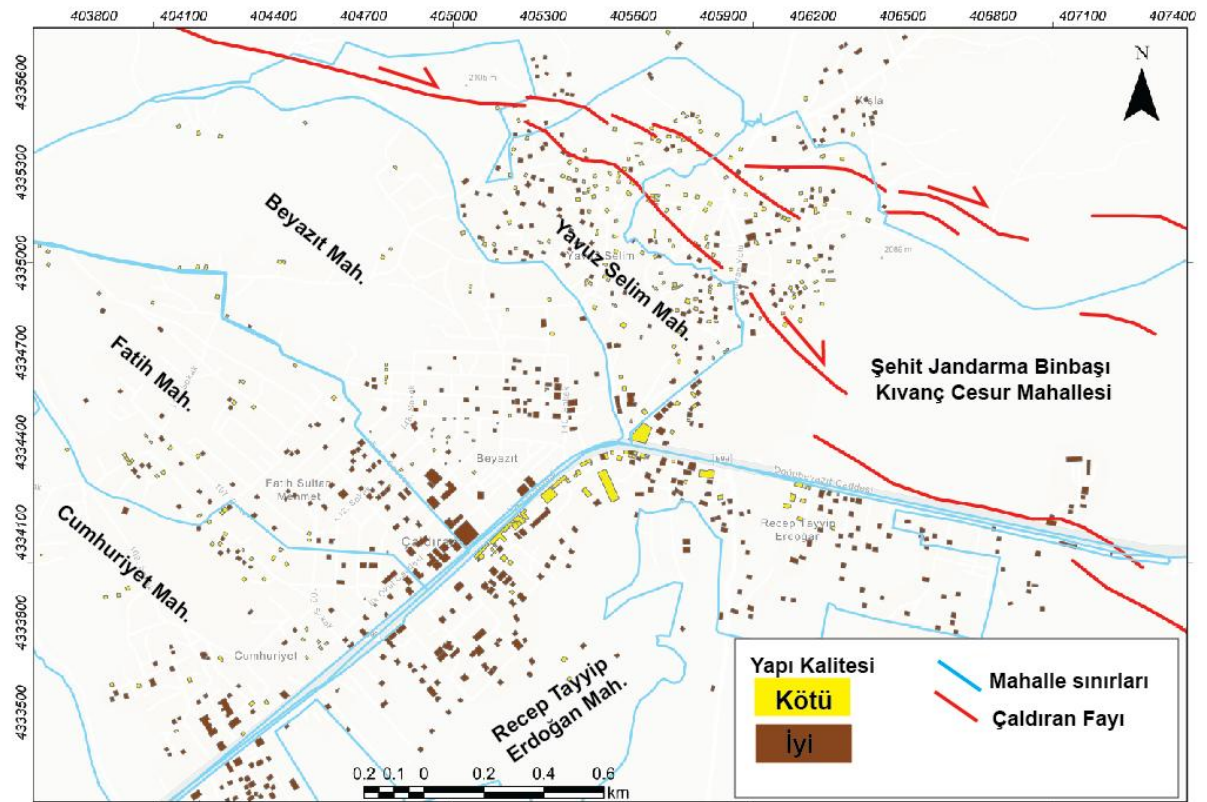
Çaldıran ilçesi Beyazıt Mahallesi'nde yapılan gözlem ve yöre halkından elde edilen bilgilerden mevsimler şartlarına bağlı olarak gaz çıkışının arttığı veya azaldığı belirlenmiştir. Özellikle kış aylarında vatandaşların evlerinin içinde yer alan çatlaklarda ve müstemilat veya tandır olarak kullanılan yapılarda çıkan ve yöre halkını tehdit eden bu gaz çıkışı bölgedeki diğer tehlike ve risklerin yanı sıra değerlendirilmesi gereken önemli ve acil bir durumdur. Çalışma kapsamında söz konusu gaz çıkışı ile ilgili literatür taranmış ve saha gözlemlerine yer verilmiştir. Risk haritasında bir parametre olarak değerlendirilmemiştir. Çaldıran ilçesi Beyazıt Mahallesi'nde çıkan zararlı gazın Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü raporuna göre manto kökenli olduğu ve olasılıkla Tendürek Volkanı vasıtasıyla geldiği belirtilmektedir (Yılmaz ve Açıkgöz, 1990).

3.5. Yapı stoğu

İnceleme alanında 2463 adet yapı yer almaktadır (Şekil 7). Bu yapıların 1737 adedi tek katlı, 491 adedi iki katlı, 162 adedi 3 katlı, 68 adedi 4 katlı, 4 adedi 5 katlı ve 1 adedi ise 6 katlı yapılardan oluşmaktadır. Yapı kat adedi ile ilgili yapılan değerlendirmede 5 ve 6 katlı yapılar yüksek risk grubu içerisinde değerlendirilmiştir (Şekil 7). 3 ve 4 katlı yapılar orta risk ve 2 ve tek katlı yapılar ise düşük risk grubu içerisinde değerlendirilmiştir (Şekil 7). Yapı kalitesine bakıldığında ise Çaldıran Belediyesi'nden alınan veriler sayısallaştırılmış ve iyi ve kötü kalitedeki yapılar belirlenmiştir. İlçe merkezinde 1463 adet yapı yer almasına rağmen yapı kalitesi bakımından sadece 934 adet yapının kalite öznetelik verisi bulunmaktadır. İyi ve kötü yapı kalitesine sahip öznetelik verileri CBS platformuna işlenerek analiz edilmiştir (Şekil 8). Çaldıran ilçesinde yer alan yapıların fay uzaklığı parametresi ise Emre ve ark. (2012) haritasında yer alan Çaldıran Fayı baz alınarak hesaplanmıştır. Faya yakın olan binalar yüksek risk grubu içerisinde değerlendirilirken faya uzak olan binalar düşük risk grubu içerisine dahil edilmiştir (Şekil 8). İlçe merkezinde yer alan Yavuz Selim ve Şehit Jandarma Binbaşı Kıvanç Cesur Mahalleleri içerisinde yer alan yapılar Çaldıran Fayı'ndan direk etkilenecekleri için yüksek risk grubu içerisinde yer almaktadır (Şekil 8).



Şekil 7. Çaldıran ilçesinde yer alan yapıların kat sayısına göre dağılımı.



Şekil 8. Çaldıran ilçesi yapı kalitesi ve merkez mahallelerinin fay olan uzaklığı haritası.

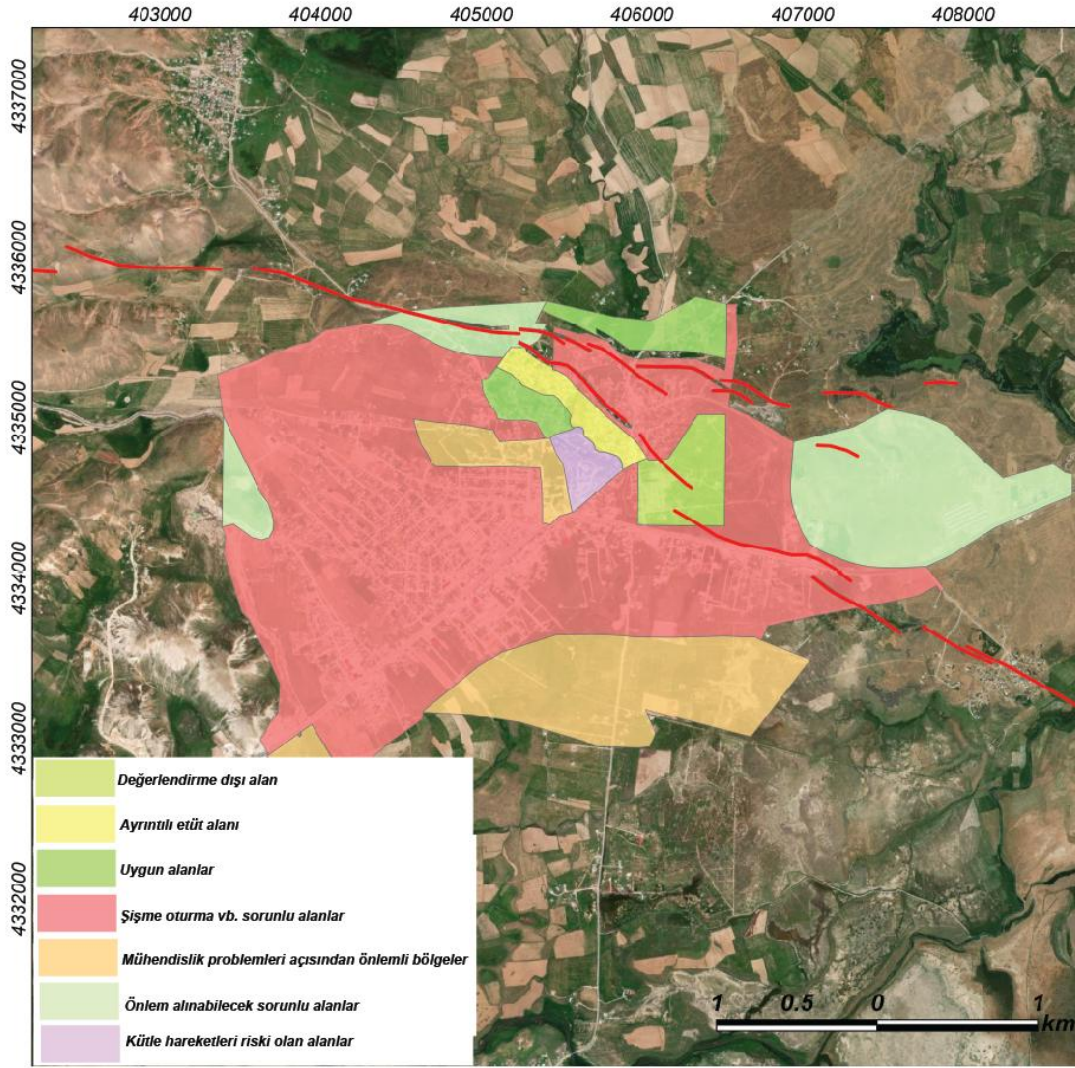
3.6. Zemin özellikleri parametresi

Çaldıran Fayı'nın yakın çevresinde yer alan eski jeolojik unsurlar; Karbonifer öncesi metamorfikler, Jura dönemi platform karbonatları, Üst Kretase ofiyolitleri ve Eosen kalkerleri olmak üzere 4 grup altında sıralanabilir. Bölgenin jeolojik ve morfolojik evrimi, Geç Miyosen'den itibaren geniş çaplı volkanizmanın etkisi altında kalmıştır. Bu volkanlar, bölgenin neredeyse tamamını kaplayan ve çeşitli volkanik ürünlerle (bazalt, riolit ve trakit) temsil edilmektedir (Foley, 1938; Innocenti ve ark., 1976; Pearce ve ark., 1990; Ercan ve ark., 1990; Lebedev ve ark., 2016; Sağlam Selçuk ve ark., 2016).

Çaldıran ilçesinin büyük bir çoğunluğunu Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler oluşturmaktadır (Foley, 1938; Ercan ve ark., 1990; Alkan ve Akkaya, 2021) (Şekil 9). Kuvaterner yaşlı bu alüvyal birimler, yüksek volkanlardan taşınan volkanik kökenli silt, kum, çakıl ve killerden oluşmuştur (Lebedev ve ark., 2016; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). İlçe merkezinin doğu ve kuzey doğusunda ise tüf, andezit ve bazaltların oluşturduğu volkanik birimler yer alır (Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Tersiyer ve Kuvaterner görsel ortamında yöredeki Pliyosen-Kuvaterner yaşlı volkanik faaliyet ignimbirit püskürmeleri ile başlamış, bunu kül lapilli, tüf ve bazaltlar izlemiştir (Foley, 1938; Innocenti ve ark., 1976; Pearce ve ark., 1990; Ercan ve ark., 1990; Lebedev ve ark., 2016; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Bu evrede karasal ortam koşullarında gelişmiş, küçük ölçekli göller içinde tüfler ile ara katkılı yer yer kumtaşı, marn, kilaşı ve kireçtaşı düzeyleri de oluşmuştur (Lebedev ve ark., 2016; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Çaldıran Belediyesi'nden alınan ilçe merkezinin zemin özelliğine bakıldığında ise uygun alanlar, mühendislik problemleri açısından önemli bölgeler, kütle hareketleri riski olan alanlar ve ayrıntılı etüt raporu istenilen alanlar şeklinde bir bölümlenmeye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 9). İlçe merkezini tehdit eden en önemli zemin problemleri şişme, oturma vb. alanlardır. Zemin açısından problemlili alanlar en fazla Fatih, Beyazıt ve Recep Tayyip Erdoğan mahallelerinde görülmektedir.

3.7. Tüm verilerin AHS yöntemi ile değerlendirilmesi

Çalışma süresince elde edilen her bir veri türü coğrafi bilgi sistemlerine entegre edilerek bir veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen tüm veriler 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve çok kriterli karar problemlerini çözmek için kullanılan AHS yöntemi ile analize tabi tutulmuştur. Çalışmada deprem risk analizinde kullanılacak verilerin önem derecesi inşaat, jeofizik ve jeoloji alanında uzman görüşleri sonucunda belirlenmiştir. AHS sürecinde altı adet veri grubu oluşturulmuştur (Çizelge 3). Tarihsel ve aletsel deprem (Şekil 2, 3) verileri AFAD-DDB (2024), Step'anian (1964), Ibn al-Athir (1982), Kondorskaya ve Shebalin (1982), Al-Suyuti (1974; 1984), Guidoboni ve ark. (1994), Guidoboni ve Traina (1995), Ambraseys (2009) kayıtlarından derlenmiştir. Fayın uzaklığı verisi Emre ve ark. (2012; 2013) kaynağından alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Zemin sınıflaması, yapı kat adedi ve yapı kalitesi verileri ise Çaldıran Belediyesi'nden temin edilmiştir. AHS yönteminde her bir veri setinin satır ve sütun önem derecesine göre puanlama yapılarak ağırlık dereceleri hesaplanmıştır (Çizelge 3, 4). Daha sonra her bir veri seti CBS ortamında hesaplanmış ve risk haritası oluşturulmuştur.



Şekil 9. Çaldıran ilçe merkezi zemin özellikleri haritası.

Çizelge 3. AHS sürecinde kullanılan kriter ağırlıkları

Deprem riski	Tarihsel deprem	Aletsel deprem	Fay uzaklığı	Zemin sınıfı	Yapı kat adedi	Yapı kalitesi
Tarihsel deprem	1	3.00	0.50	0.13	0.25	0.14
Aletsel deprem	0.33	1	0.33	0.25	0.50	0.13
Fay uzaklığı	2.00	3.00	1	0.17	0.20	0.25
Zemin sınıfı	8.00	4.00	6.00	1.00	8.00	0.33
Yapı kat adedi	4.00	5.00	5.00	0.13	1.00	0.50
Yapı kalitesi	7.00	8.00	4.00	3.00	2.00	1.00
Toplam	22.33	24.00	16.83	4.67	11.95	2.35

Çizelge 4. AHS sürecinde kullanılan kriter ağırlıklarının normalize edilmiş çizelgesi

Normalleştirme	Tarihsel deprem	Aletsel deprem	Fay uzaklığı	Zemin sınıfı	Yapı kat adedi	Yapı kalitesi	Ortalama
Tarihsel deprem	0.04	0.13	0.03	0.03	0.02	0.06	0.05
Aletsel deprem	0.01	0.04	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04
Fay uzaklığı	0.09	0.13	0.06	0.04	0.02	0.11	0.07
Zemin sınıfı	0.36	0.17	0.36	0.21	0.67	0.14	0.32
Yapı kat adedi	0.18	0.21	0.30	0.03	0.08	0.21	0.17
Yapı kalitesi	0.31	0.33	0.24	0.64	0.17	0.43	0.35
Toplam	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

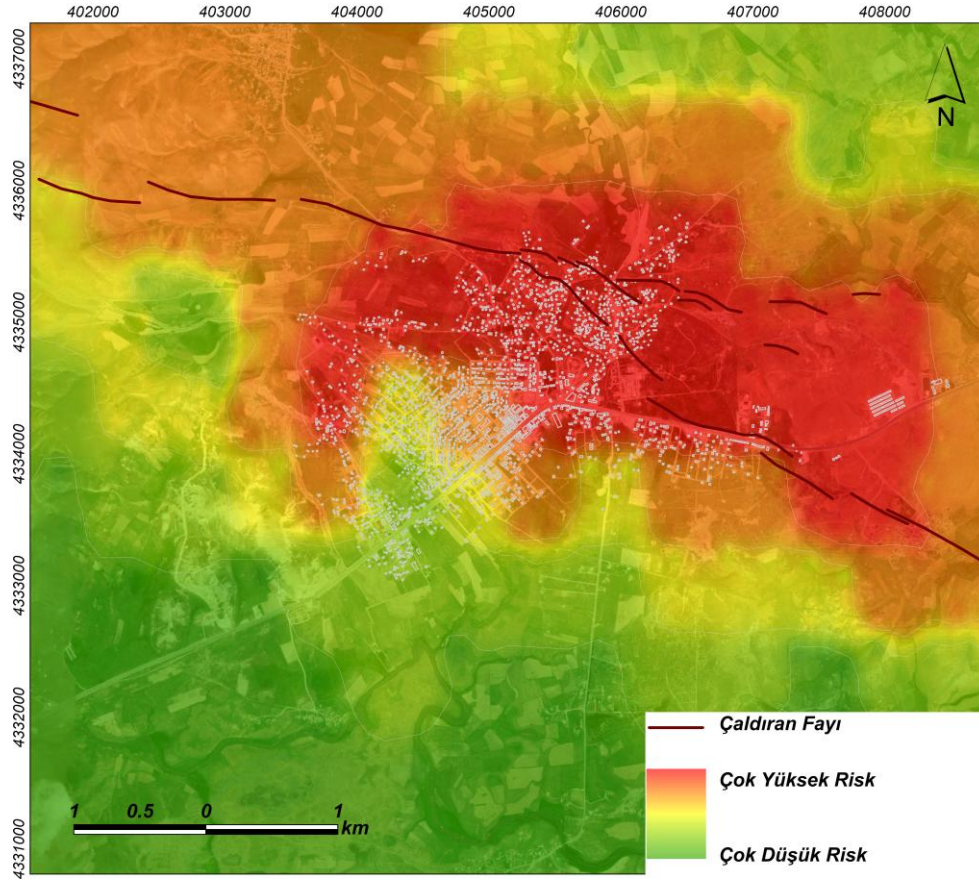
4. Tartışma ve Sonuç

Çaldıran ilçesi aktif tektonik açıdan son derece riskli bir bölgede yer almaktadır. Tarihsel ve aletsel dönem depremlerin varlığı, Çaldıran Fayı'nın Çaldıran ilçesi içerisinde geçmesi ve 1976 yılı Çaldıran Depremi'nin hem yıkıcı etkisi hem de yüzey kırığı üretmesi sismik riskin ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Sismik tehlikeye ek olarak Çaldıran ilçesi merkezinin zayıf zemin özelliği ve yapı stoku özellikleri de Çaldıran ilçesinin deprem riskini yükseltmektedir. 1976 yılı Çaldıran Depremi sonrasında bölgede birçok farklı disiplinde çalışmalar yapılmıştır (Utkucu ve ark., 2002; Güneyli ve ark., 2020; Parin, 2020; Alkan ve Akkaya, 2021). Yapılan çalışmalar tehlike unsuru veya risk unsurlarını ayrı ayrı içermektedir. Bu çalışma önceki çalışmaların aksine bölgede yer alan tehlike ve risk unsuru parametrelerini tek bir başlık altında toplayarak bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır. Tarihsel deprem verileri (1900 yılı ve öncesi depremler), aletsel dönem depremleri (1900 yılı ve sonrası depremler), fayın yapı stokuna olan uzaklığı, ilçe merkezinin zemin özellikleri, yapı kat sayısı ve yapı kalitesi parametreleri tek bir risk derecelendirmesine tabi tutulmuş ve risk sınıflamaları hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Çaldıran ilçesi ile ilgili önceki çalışmalar derlenmiş ve hem Van İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü hem de ilçe belediyesi ile görüşülerek ilçe merkezine ait tüm arşiv bilgileri alınarak CBS'de sayısallaştırılmış ve öznitelik verileri oluşturulmuştur. Deprem risk ve tehlike parametrelerinin ağırlık değerleri konu ile ilgili çalışan akademisyenlere danışılarak AHS yöntemi ile puanlama oluşturulmuştur. Tüm veri seti CBS veri tabanında işlenerek Çaldıran ilçesi deprem risk haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanı yüksek derecede deprem riski altındadır. Özellikle ilçe merkezinde yer alan hem mühendislik hizmeti alamayan hem de ekonomik ömrünü tamamlayan birçok yapı mevcuttur (Şekil 10). Özellikle bu yapılar ilçe deprem riskini arttırmaktadır. Çalışma alanında yer alan 2463 adet yapı stoğu ve yer bilimlari verileri temelli analize tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre (Şekil 11) 1279 adet yapı yüksek risk grubu içerisinde kalmıştır. 626 adet yapı ise riskli yapı olarak değerlendirilmiştir. Çaldıran ilçesi içerisinde yer alan yapıların yaklaşık %77'si uygun olmayan alan, yapı kalitesi, yapı kat adedi, aletsel ve tarihsel deprem verileri ve faya uzaklık kriterlerine bağlı olarak risk içermektedir. İlçe merkezini etkileyen bir diğer tehlike ise özellikle kış aylarında konut, müstemilat ve tandır evi olarak kullanılan yapıların tabanından çıkan CO₂ gazı çıkışıdır. 1976 yılında meydana gelen deprem sonrası ortaya çıkan gaz çıkışı için geçmiş yıllarda her ne kadar önlemler alınmış olsa bile arındırma sondajlarının ağızlarının kapanması sonucu bu tehlike halen devam etmektedir. Ayrıca ovada Çaldıran Fayı boyunca sıralanan başta Çaldıran ilçe merkezi olmak üzere birçok yerleşim yeri bulunmaktadır. Çaldıran ilçesine ait bazı yerleşim birimlerinin alüvyon gibi sağlam olmayan zeminler üzerinde bulunması bölgede meydana gelebilecek yıkıcı bir depremin etkisini daha fazla arttıracaktır. Çaldıran ilçe merkezinin depremselliği, manto kökenli olduğu tespit edilen gaz çıkışı, yapı stoğunun durumu ve zemin özellikleri ilçe merkezinin riskini arttıran etmenler arasındadır. İlçede yapılacak alt ve üst yapıların bu faktörlere göre yapılması ve bu çalışma kapsamında oluşturulan risk haritasının (Şekil 11) altlık olarak kullanılması karar vericilere yön göstermesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 10. Çaldıran ilçesinde yer alan kötü yapı kalitesine sahip binaların genel görünümü.



Şekil 11. Çaldıran ilçesinin deprem risk haritası.

Teşekkür

2209-A projesi kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen bu çalışma sismik hareketlerin fazlaca olduğu ve 1976 yılında büyük bir yıkıcı depreme maruz kalan Van ilinin Çaldıran ilçe merkezi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde verdikleri desteklerden dolayı TÜBİTAK'a öncelikle teşekkür ederiz. Ayrıca araştırma süresince gösterdikleri iş birliği ve saha çalışmaları ve yerel bilgilere erişim konusunda vermiş oldukları destek için Çaldıran Belediye'sine minnettarız. Son olarak, Van İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne minnettarlığımızı ifade etmek isteriz. Sağladıkları veri ve bilgi paylaşımları, araştırmamızın kapsamını genişletmiş ve sonuçların daha anlamlı olmasını sağlamıştır.

Kaynakça

- AFAD-DDB. (2024). *Van depremi hakkında*. AFAD. Erişim tarihi: 19.08.2024. <https://www.afad.gov.tr/van-depremi-hakkinda>
- Albini, P., Demircioglu, M. B., Locati, M., Rovida, A., Sesetyan, K., Stucchi, M., & Vigano, D. (2012). In search of the predecessors of the 2011 Van (Turkey) earthquake. *Seismological Research Letters*, 83(5), 855–862. <https://doi.org/10.1785/0220110146>
- Alkan, A., & Akkaya, İ. (2021). Aktif tektonizma etkisi altındaki Çaldıran (Van) yerleşim alanının yüzey dalgası yöntemleriyle incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1435–1447. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.959503>
- Alkan, A., & Akkaya, İ. (2023). Investigation of site properties of the Çaldıran (Van, Eastern Turkey) settlement area using surface wave and microtremor methods. *Journal of African Earth Sciences*, 197, 104737. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104737>
- AL-Suyuti (1974). Jalal Ed-Din, Kashf Al-Salsala an Wasf Al-Zalzala, F Cahiers du Centre Universitaire de la Recherche Scientifique, Rabat.
- AL-Suyuti (1984). Jalal Ed-Din, Kashf Al-Salsala an Wasf Al-Zalzala (Al-Dar Library). F Cahiers du Centre Universitaire de la Recherche Scientifique, Rabat.
- Ambraseys, N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139195430>
- Arpat, E., Şaroğlu, F., & İz, H. B. (1977). 1976 Çaldıran depremi. *Yeryuvarı ve İnsan*, 2(1), 29-41.
- Barka, A. A., & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663–684. <https://doi.org/10.1029/tc007i003p00663>
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H. R., & Tavakoli, F. (2011). NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. *Earth and Planetary Science Letters*, 307(1–2), 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.04.029>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., & Şaroğlu, F. (2013). *Active fault map of Turkey with an explanatory Text 1: 1.250.000 scale* (Special Publication Series, 30). General Directorate of Mineral Research and Exploration.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., & Olgun, S. (2012). *1:250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi Ağrı (NJ 38-1) paftası, Seri No: 51*. MTA Yayınları. Ankara.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.-I., Notsu, K., Tokel, S., & Ui, T. (1990). Dogu ve Guneydogu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *MTA Dergisi*, 110, 143–164.
- Foley, E. J. (1938). *Geology of the Van area* (Rapor no: 719). MTA.
- Forman, E. H., & Selly, M. A. (2002). *Decision by objectives: How to convince others that you are right*. World Scientific Publishing Company.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., Rom Istituto Nazionale di Geofisica. (1994). *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century*. Rome: Istituto Nazionale di Geofisica.
- Guidoboni, N. E., & Traina, N. G. (1995). A new catalogue of earthquakes in the historical Armenian area from antiquity to the 12th century. *Annals of Geophysics*, 38(1). <https://doi.org/10.4401/ag-4134>

- Gülkan, P., Gürpınar, A., Celebi, M., Arpat, E., & Gencoglu, S. (1978). *Engineering report on the Muradiye-Caldıran, Turkey, earthquake of 24 November 1976*. National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press.
- Güneyli, H., Yaman, M., & Yildirim, V. (2020). Çaldıran Fayı'nın Çaldıran ilçesi dolayında paleosismolojik ve neotektonik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 279–294. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.792413>
- Ibn Al-Athır, Ezz Ad-Din, Al-Kamil fi Al-Tarikh (Dar Sader), voll. 8, 9, 10, 11, 12, Beirut 1982.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Di Brozolo, F. R., & Villari, L. (1976). Evolution of the volcanism in the area of interaction between the arabian, anatolian and iranian plates (Lake van, Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1(2), 103–112. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(76\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(76)90001-9)
- Karakhanyan, A., Vernant, P., Doerflinger, E., Avagyan, A., Philip, H., Aslanyan, R., Champollion, C., Arakelyan, S., Collard, P., Baghdasaryan, H., Peyret, M., Davtyan, V., Calais, E., & Masson, F. (2013). GPS constraints on continental deformation in the Armenian region and Lesser Caucasus. *Tectonophysics*, 592, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.02.002>
- King, G., & Nábelek, J. (1985). Role of fault bends in the initiation and termination of earthquake rupture. *Science*, 228(4702), 984–987. <https://doi.org/10.1126/science.228.4702.984>
- Kondorskaya, N. V., & Shebalin, N. V. (1982). *New Catalogue of the Strong Earthquakes of the USSR from Ancient Times through 1977*. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Report SE-31. 2nd edition, Boulder, Colorado. <https://www.emidius.eu/AHEAD/study/KOSH982>
- KRDAE. (2024). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE). Erişim tarihi: 19.08.2024. <http://koeri.boun.edu.tr>.
- Lebedev, V. A., Chugaev, A. V., Ünal, E., Sharkov, E. V., & Keskin, M. (2016). Late pleistocene Tendürek volcano (Eastern Anatolia, Turkey). II. Geochemistry and petrogenesis of the rocks. *Petrology*, 24(3), 234–270. <https://doi.org/10.1134/s0869591116030048>
- Mutlu, S. (2022). *Balık gölü fay zone'nun paleosismolojik özellikleri ve segmentasyonu*. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Parin, S. (2020). *Sosyal bilimler perspektifinden deprem fragmanları Van'dan örnekler*. Hiperlink Eğit. İlet. Yay.
- Pearce, J., Bender, J., De Long, S., Kidd, W., Low, P., Güner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S., & Mitchell, J. (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44(1–2), 189–229. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90018-b](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90018-b)
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., . . . Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 111(B5). <https://doi.org/10.1029/2005jb004051>
- Saaty, T. L. (1979). Applications of analytical hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 21(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/0378-4754\(79\)90101-0](https://doi.org/10.1016/0378-4754(79)90101-0)
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-i](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-i)
- Saaty, T. L. (2004). Decision making — the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Saglam-Selçuk, A., Erturaç, M. K., & Nomade, S. (2016). Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour. *Tectonophysics*, 680, 155–173. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.019>
- Step'anian, V. (1964). *Earthquakes in the Armenian upland and adjacent areas*. Publishing House Hayastan: Yerevan, Armenia.
- Şaroğlu, F. (1985). *Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul
- Şaroğlu, F., & Erdoğan, R. (1983). Çaldıran Fayı'nın deprem sonrası hareketi ile ilgili gözlemler. *Yeryuvarı ve İnsan*, 8, 10-11.

- Şaroğlu, F., Güner, Y. (1979). Tutak diri fayı, özellikleri ve Çaldıran fayı ile ilişkisi. *Yeryuvarı ve İnsan*, 4(1), 11–14.
- Şengör, A. M. C., & Yazıcı, M. (2020). The aetiology of the neotectonic evolution of Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 327–339. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00039-0>
- Şengör, A. M. C., & Zabcı, C. (2019). The North Anatolian fault and the North Anatolian shear zone. In *World geomorphological landscapes* (pp. 481–494). https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_27
- Toksöz, M. N., Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1977). East Anatolian earthquake of 24 November 1976. *Nature*, 270(5636), 423–425. <https://doi.org/10.1038/270423b0>
- Utkucu, M., Pınar, A., Alptekin, Ö. (2002). 24 Kasım 1976 Çaldıran depremi (Ms= 7.3) için telesismik P dalga şekillerinin ters çözümünden elde edilen kırılma modeli. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 15(2), 25-36.
- Yılmaz, H., & Açıkgöz, S. (1990). Van ili Çaldıran ilçesinde çıkan karbondioksit gazının arındırılması projesinin değerlendirme raporu. MTA Genel Müd./Enerji Hammadde Etüt Ve Arama Dairesi Başkanlığı.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Başakşehir Millet Bahçesi'nin Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi

Seda SUBAŞI^{*1}, Bahar FERAH²

¹İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Mimarlık Bölümü, 34303, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 34303, İstanbul, Türkiye

Seda SUBAŞI, ORCID No: 0009-0001-9336-6858, Bahar FERAH, ORCID No: 0000-0001-7951-9734

*Sorumlu yazar e-posta: sedasubasi93@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 29.06.2024

Kabul: 03.10.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1507343

Anahtar Kelimeler

Başakşehir Millet Bahçesi,
Ekolojik peyzaj tasarımı,
Millet bahçeleri,
Sürdürülebilirlik,
Sürdürülebilir peyzaj tasarımı

Öz: Kamusal yeşil alanlar karşılaşmalara fırsat tanıyan, insanların etkileşime geçtiği ve sosyalleştiği rekreasyon alanlarıdır. Türkiye’de yeşil alanların gelişimine bakıldığında, Osmanlı’da bir dönem saray halkının kullandığı bağ, bahçe veya yayla gibi özel alanların Islahat Fermanı ve Tanzimat Fermanıyla birlikte mesireye dönüştüğü görülmektedir. 19. Yüzyılda ise bu alanlar “millet bahçesi” adıyla anılmaya başlamıştır. Günümüzde millet bahçelerinin kültürel ve sosyal rekreatif odak noktaları olarak kullanımları, ardından sürdürülebilirlik konusunu ön plana çıkarmaktadır. Ekolojik tasarım parametrelerinin millet bahçeleri üzerinde uygulanmaları kullanım verimlilikleri açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın yöntemi bu gereklilikten doğmuştur. Çalışmada sürdürülebilir peyzaj kriterleri “çevresel etkenler ve doğal kaynaklar”, “yapılı çevre tasarımı”, üretim ve tüketim dengesi” ve “yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik” olmak üzere 4 ana başlıkta incelenmiştir. Bu parametreler çerçevesinde İstanbul’da yer alan Başakşehir Millet Bahçesi sürdürülebilir peyzaj tasarımı bağlamında ele alınmıştır. Bahsi geçen millet bahçesi Başakşehir Belediyesi hizmet binası, İkitelli Şehir Hastanesi, Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu ve yakında açılması planlanan Kanal İstanbul gibi mega projelerin odağında yer almaktadır. Bu çalışmada Başakşehir Millet Bahçesi biyotik ve abiyotik envanterleriyle sürdürülebilir peyzaj kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda sürdürülebilir peyzaj kriterleri, çevresel etkenler ve doğal kaynaklar, yapılı çevre tasarımı, üretim ve tüketim dengesi ve yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik başlıkları altında tablo halinde sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda gelecek araştırmalara sürdürülebilirlik kriterleri bağlamında yönlendirici parametreler sunulup millet bahçeleri özelinde ekolojik tasarım yaklaşımlarının kritik rol oynadığını öne sürülmektedir.

Evaluation of Başakşehir National Garden within the Scope of Sustainable Landscape Design Criteria

Article Info

Recieved: 29.06.2024

Accepted: 03.10.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1507343

Keywords

Başakşehir National Garden,
Ecological landscape design,
National gardens,

Abstract: Public green spaces are recreational areas that provide opportunities for encounters, where people interact and socialize. Looking at the development of green spaces in Turkey, it is seen that private areas such as vineyards, gardens or plateaus used by the palace people in the Ottoman Empire were transformed into promenades with the Edict of Reform and the Tanzimat Edict. In the 19th century, these areas became known as “nation gardens”. Today, the use of national gardens as cultural and social recreational focal points brings the issue of sustainability to the forefront. The application of ecological design parameters on national gardens is important in terms of their efficiency of use. The methodology of the study emerged from this necessity. In the study, sustainable landscape criteria were examined under 4 main headings: “environmental factors

Sustainability,
Sustainable landscape design

and natural resources”, “built environment design”, “production and consumption balance” and “sustainability in local government policies”. Within the framework of these parameters, Başakşehir National Garden in Istanbul has been analyzed in the context of sustainable landscape design. The aforementioned nation garden is located in the focus of mega projects such as Başakşehir Municipality service building, İkitelli City Hospital, Yavuz Sultan Selim Bridge, Northern Marmara Highway and Canal Istanbul, which is planned to be opened soon. In this study, Başakşehir National Garden was evaluated within the framework of sustainable landscape criteria with biotic and abiotic inventories. As a result of the findings, sustainable landscape criteria are tabulated under the headings of environmental factors and natural resources, built environment design, production and consumption balance and sustainability in local government policies. As a result of the study, it is suggested that ecological design approaches play a critical role in national gardens by providing guiding parameters for future research in the context of sustainability criteria.

1. Giriş

Hızlı kentleşme ile artan yapılaşma ve betonlaşma kent meydanlarında doğal alanların azalmasına neden olmuştur. Yeşil alanlar, insanların birçok aktiviteyi gerçekleştirebildikleri; sosyal karşılaşmalara fırsat veren, toplumsal yaşantıyı destekleyen mekânlardır. Kamusal yeşil alanlar insanların kentin yoğunluğundan uzaklaşıp birbirleriyle iletişime geçtikleri, etkinlikler gerçekleştirdikleri, sosyalleştikleri rekreasyon alanlarıdır (Zulkadiroğlu, 2022). Bu alanlar sınırlı olsa da kent ve doğa arasındaki ilişki meydana getirir, sürdürür ve güçlendirir (Öztürk ve ark., 2022). Yeşil alanların Türkiye'deki tarihine bakıldığında, Osmanlı hükümdarlığı döneminde bağ, bahçe ve yayla gibi özel alan kültürü hakimken, Islahat Fermanı ve Tanzimat Fermanı dönemlerinde herkesin kullanabildiği ortak alanlar biçimlenmiştir. Bu alanlar 19. Yüzyıla kadar mesire olarak adlandırılmıştır. Bu yüzyılın son çeyreğinden itibaren farklı bir adlandırmaya geçilmiştir. Vilayet Nizamnamesi'nde “millet bahçesi” adı verilen bütüncül rekreasyon alanlarından bahsedilmiştir (Zulkadiroğlu, 2022). Osmanlı'nın başkenti İstanbul'un ilk millet bahçesi 1866 yılında yapılmış olan Taksim Millet Bahçesidir ve Üsküdar'da bulunan Sarıkaya Millet Bahçesi (1866-1869), Sultanahmet Millet Bahçesi (1871-1872), Tepebaşı Millet Bahçesi ve Kısıklı Millet Bahçesi onu takip etmiştir. 19. Yüzyıl boyunca Adana, Ankara, Aydın, Bursa, Edirne, Erzurum, Kars, Kayseri, Konya, Mersin, Sinop ve Sivas'ta da millet bahçeleri örnekleri görülmüştür (Kaştaş Uzun & Şenol, 2020). Özetle, millet bahçeleri kentlinin nefes aldığı, doğal alan ihtiyacını karşıladığı, sosyalleştiği kamusal yeşil alanlar olmuştur. Başakşehir Millet Bahçesi bu örneklerden biridir. Çalışmada Başakşehir Millet Bahçesi sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bu nedenle sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir peyzaj kavramlarından bahsetmek gerekli olmuştur.

Sürdürülebilirlik kavramı ilk kez 1713 yılında ormancılık alanında kullanılmıştır ve 21. Yüzyıla kadar ekolojinin konusu olmuştur. Toplumsal, ekolojik ve ekonomik faaliyetler sürdürülürken kaynak tüketiminde bilinçli olmak, gelecek nesilleri düşünmek sürdürülebilirliğin çıkış noktası olmuştur (Kartal, 2009; Germain, 2010; Subaşı, 2022). Sürdürülebilir peyzaj tasarımı amaç; iklim, bitki örtüsüne ve işleve uygun bitki türlerini içeren, en az müdahaleyle ve en düşük maliyetle en işlevsel ve estetik mekânı üretmektir. Bu mekânlar oluşturulurken ekonomik, ekolojik ve sosyal ilişkilerin düzenlenmesini, doğal kaynakların korunmasını, bilinçli ve verimli kullanımın oluşturulmasını sağlayan tüm disiplinler söz sahibi olmalıdır (Cook & VanDerZanden, 2011). Böylece ekolojik sürdürülebilirlik sağlandığında peyzaj tasarımı sürdürülebilirlikten söz etmek mümkün olmaktadır.

Başakşehir Millet Bahçesi sahip olduğu donatı elemanlarıyla, açık yeşil alanlarıyla, sosyalleşmeye fırsat veren karşılaşma mekânlarıyla ve kapalı alanlarıyla çok sayıda ziyaretçiye ev sahipliği yapan bir kamusal mekân durumundadır. Başakşehir Belediyesi'nin birçok etkinliği ve halka açık aktiviteleri burada gerçekleşmektedir. Millet bahçesinin sınırları içerisinde ofis binaları ve yeme-içme mekânları bulunmaktadır. Aynı zamanda yakınında 5000 kişilik kapasitesiyle Başakşehir Merkez Cami yer almaktadır. Bulunduğu semt çok fazla göç aldığından kullanıcı profili çeşitlidir. Sözü edilen yeşil alanda, her yaştan insanın ziyaret edebileceği engelsiz yaşam temalı kamusal mekân amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, yeşil alanlar bünyesinde bulunan millet bahçelerinden olan Başakşehir Millet Bahçesi sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterleri bağlamında incelenmiştir. Alanın seçilme nedeni mega projeler arasında yer alan özel bir konuma sahip olması, çeşitli kullanıcı profillerine hizmet etmesi, pek çok aktiviteye olanak tanıyabilecek ölçekte olmasıdır. Çalışmada yöntem olarak nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çok sayıda ziyaretçinin kullandığı bu alan sürdürülebilirlik kriterleri bağlamında değerlendirilmiş ve bulgular tabloyla analiz edilmiştir. Tablolar sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterlerinin ana başlıklarına göre oluşturulmuştur. Birinci tabloda çevresel etkenler ve doğal kaynaklar kriterleri, ikinci tabloda yapısal çevre tasarımı kriterleri incelenmiş, üçüncü tabloda ise Başakşehir Millet Bahçesi'nin peyzaj tasarımında sürdürülebilirliği üretim ve tüketim dengesi ve yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, literatüre sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterlerinin derlendiği yeni bir kılavuz sunmaktadır.

1.1. Millet bahçelerinin tarihsel gelişimi

Millet bahçesi kavramını anlamak için Türkler'in bahçe kültürünün tarihsel gelişimini incelemek gerekmektedir. Türkler İstanbul'u fethetmeden önce Bizans ile kültürel etkileşime girmiş, bu yakınlaşmalar Bizans bahçe kültürü ile Osmanlı bahçe kültürü arasında bir benzerlik doğurmuştur. Her iki bahçe kültüründe de biçimsel olmayan doğayla iç içe bahçeler bulunmaktadır. Tek fark, Bizans bahçelerinde bulunan heykellerin İslam medeniyeti etkisi altında olan Osmanlı'da tercih edilmemesi olmuştur. Osmanlı Devleti'nin sosyal yaşamı incelendiğinde, bahçe kavramının belli dönemlerde farklı özelliklere içkin olduğu görülmektedir. 15. Ve 16. Yüzyılda has bahçeler ve halka açık sınırlı sayıda mesire alanları bulunmaktadır. 18. Yüzyıldan itibaren padişahlar sarayın dışına çıkmış, mevsimsel göçlere başlamıştır. Boğaz'ın ve İstanbul'un en gözde yerlerine kasırlar ve bahçeler yapılmıştır. Sur dışında yer alan bu bahçe ve saraylarda yüksek duvarlar kaldırılmış, yeşil alan bitişikteki araziyle genişletilmiştir. Böylece 18. Yüzyıldan itibaren mesire alanlarının varlığı has bahçelere oranla geniş yer tutmuştur. *Humayunabad* veya *Sadabad* gibi isimler kullanılan bu alanlarda görsellik ve geniş ölçek daha ön planda olmuştur. 15. Ve 16. Yüzyılda padişahların ve saraylıların rağbet etmediği bu yeşil alanlar, 18. Yüzyıldan itibaren farklı bir boyut kazanmıştır. Camiler, hamamlar ve medreselerle iç içe olan bu kompleks yapılar halkın ve saraylıların birlikte kullandığı kamusal mekânlara dönüştürülmüştür (Ercan, 2018).

"Millet" ve "bahçe" sözcüklerinin bir arada kullanımı 1870'li yıllarda başlamış ve 1920'de son bulmuştur (Şenyurt, 2018). "Millet" sözcüğünün etimolojik kökeni "milla"dır ve Arapçadan dilimize yerleşmiştir. Din, mezhep, bir din veya mezhebe mensup cemaat anlamına gelen sözcüğünün ilk olarak geçtiği kaynak Atabet-ül Hakayıktır (1300 yılından önce). Daha sonraları ise 1876 yılında Ahmet Vefik Paşa'nın *Lûgat-ı Osmani*'sinde aynı sözcük kullanılmıştır. "Millet Bahçeleri" tanımlamasının altında siyasi bir ideoloji yatmaktadır: bu bahçeler Osmanlı milletini meydana getirmenin kentsel mekândaki karşılığı olmuştur. Osmanlı milletinin kentsel alanda görünürlüğünü gerçekleştirme projelerinden biri olan "Millet Bahçeleri" için 19. Yüzyıl Avrupası'ndaki halka açık bahçeler birer itici güç olmuştur (Gürkaş, 2009). Millet bahçesi tamlamasına Cumhuriyet Dönemi Türk edebiyatında da rastlanmıştır. Sözelimi Refik Halit Karay'ın "Ago Paşa'nın Anıları" adlı öyküsünde Ago Paşa adı verilen bir papağanın "millet bahçesine gidelim" söylemi bulunmaktadır (Karay, 2009). Abdülhak Şinasi Hisar'ın "Çamlıca'daki Eniştemiz" adlı romanında "gariptir ki o zamanlarda bile bu isimle çağrılmasına cesaret olunan millet bahçesi" diye bahsettiği yeşil alan Çamlıca Millet Bahçesidir (Hisar, 2022).

19. Yüzyılda Tanzimat dönemi yeniliklerinden etkilenen bu bahçelerin ilk örnekleri Sultan Abdulaziz dönemine denk gelmektedir. İlk millet bahçesi, 1869 yılında açılmış olan Taksim Millet Bahçesidir. Bahçede kültürel ve sosyal etkinlikler için düzenlenmiş açık ve kapalı alanlarla birlikte köşk, kameriye, gazino, kahvehane ve müzik icra edenler için pavyon bulunmaktadır (Ercan, 2018). Takip eden yıllarda Tepebaşı Bahçesi, Yıldız Millet Bahçesi, Sultanahmet Belediye Bahçesi, Ayasofya Belediye Bahçesi, Divanyolu Belediye Bahçesi, Bakırköy Belediye Bahçesi, Çamlıca Millet Bahçesi, Üsküdar Millet Bahçesi gibi örnekler görülmüştür. 1800'lü yılların son çeyreğinde bu alanlar hayır işlerinin yeni adresi olmuştur. Tanzimat Dönemi ile hayır işleri ve eğlence bir arada yürütülmesiyle dini yapılar yerine millet bahçeleri kullanılmıştır. Yabancı devletlerden gelen misafirlerin ağırlanması ile konser, tiyatro oyunları, dinletiler, bale gösterileri, balolar, çekilişler gibi pek çok aktivite de bu mekânlarda gerçekleşmiştir. Kısacası millet bahçeleri, Osmanlı şehircilik anlayışında Batılı yeniliklerin görüldüğü kentsel yeşil alanlar olmuş ve İstanbul'dan başlayarak Anadolu'nun pek çok ilinde bu

bahçelerin örnekleri görülmüştür. Genellikle kent meydanlarında hükümet konağı veya belediye binasına yakın olarak düşünülen bu bahçeler ana caddeler üzerinde yer almıştır (Avcı, 2017).

Millet bahçeleri kentlinin sosyal ve kültürel ihtiyaçlarına cevap veren önemli kamusal yeşil alanlar olmuştur. Bu nedenle sürdürülebilir mekânlar olması ve sürdürülebilir tasarım kriterlerine göre inşa edilmiş olması önem arz etmektedir. Millet bahçelerinin tarihteki coğrafi konumları onların sosyal sürdürülebilirliğini desteklemiştir. Diplomatik ilişkilerin güçlenmesine fırsat tanıyan alanlar olması ve devlet büyüklerinin desteğiyle sosyal ve kültürel faaliyetlere ev sahipliği yapması da ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği artıran faktörler niteliğindedir.

1.2. Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir peyzaj tasarımı

Doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliğinin artışı ve kaynakların kendini yenileyemez oluşu, bu tarihsel süreçte, peyzaj tasarımına sürdürülebilirlik kavramını entegre etmeyi gerektirmiştir. Sürdürülebilir kentlerin girdilerinden olan çevre koruması, kaynak analizi, doğal ve yapılı alanlar ilişkisi, kırsal ve kentsel mekân planlaması, ekosistem analizi gibi başlıkların her biri peyzaj mimarlarının tasarım kriterleri arasında yer almaktadır. Peyzaj mimarları kendi tasarımlarını mimari elemanlarla bütünleştirmekte ve sürdürülebilir peyzaj ilkeleriyle mimari yerleşim ve peyzaj kararları arasındaki ilişkiyi kullanıcıya sunmaktadır (Başal & Özdemir, 2008). Bu açıdan bakıldığında, peyzaj tasarımının ve sürdürülebilirlik kavramının iç içe olduğu görülmektedir (Reid, 1993; Atıl ve ark., 2005).

Sürdürülebilirlik kavramı ilk kez 1713 yılında ormancılık alanı için kullanılmıştır (Germain, 2010). 21. Yüzyıl öncesine kadar salt ekolojik parametrelerle açıklanan bu kavram, günümüzde disiplinler arası çalışmaların konusu olmuş; sosyal, mimari, ekonomik, kültürel, yönetim gibi branşlarla birlikte düşünülmüştür. Sürdürülebilirlik, toplumsal, ekolojik ve ekonomik faaliyetler devam ederken, kaynak tüketiminde gelecek nesillerin düşünüldüğü ve verimliliğin hedeflendiği bir kavramdır (Kartal, 2009; Subaşı, 2022). Sürdürülebilir peyzaj, yapılı veya doğal çevreye uygulanacak olan peyzaj tasarımının çevreyle iyi ilişkiler kurmasını amaçlamaktadır. Doğal kaynakları gelecek nesilleri düşünerek kullanmak, çevre tahribatını minimuma indirmek, mevcut habitatı desteklemek ve enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanmak peyzaj tasarımında sürdürülebilirliğin temel prensipleri arasında bulunmaktadır (Kavuran, 2021).

Erdoğan ve Uslu'ya göre (2011) sürdürülebilirlik, kullanıcı ve doğal sistem/ doğal kaynak ilişkisine bağlıdır. Kullanıcı ihtiyacı ve kaynak tüketimi arasında bir denge bulunmalıdır. Biyotik ve abiyotik öğeleri bünyesinde barındıran çevrenin tahribatını en aza indirmeyi hedefleyen sürdürülebilir tasarımlar benimsenmelidir. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında amaç; iklime, bitki örtüsüne ve işleve uygun bitki türlerini içeren, en az müdahaleyle ve en düşük maliyetle en işlevsel ve estetik mekânı üretmektir. Bu mekânlar oluşturulurken ekonomik, ekolojik ve sosyal ilişkilerin düzenlenmesini, doğal kaynakların korunmasını, bilinçli ve verimli kullanımın oluşturulmasını sağlayan tüm disiplinler söz sahibi olmalıdır (Cook & VanDerZanden, 2011). Sürdürülebilirlikte ekonomik, ekolojik ve eşitlik ilkelerinin birbiriyle olan bağlantısı muhakkak gözetilmelidir (Atıl ve ark., 2005). Ekonomik bazda, bu aktivitelerde ortak çıkarlar gözetilmeli, yerel servetler oluşturulmalıdır. Eşitlik ilkesi bazında ise karar ve uygulama süreçlerinde katılımcılık hedeflenmeli, erişilebilirlik sağlanmalıdır. Ekolojik ilkeler, peyzaj tasarımında sürdürülebilirliğin en kapsamlı konuşulduğu başlık olabilmektedir. Ekolojik sürdürülebilirlik sağlandığında, peyzaj tasarımının sürdürülebilirlik olasılığı oldukça artmaktadır. Doğa, insanlığın varoluşundan beri mekân planlamasında büyük rol oynamıştır (İmert, 2017). Bu sebeple doğa ile güçlü ilişkiler kuran peyzaj tasarımı aynı oranda sürdürülebilir olacaktır.

Peyzaj projelerinde, hafriyat yapılan alandaki verimli toprağın daha sonra başka alanda kullanılması, inşaatta geri dönüştürülmüş malzemenin peyzaj alanında kullanılması, alanın doğal vejetasyonuna zarar verilmemesi ve mevcuttaki ağaçların korunması, kurakçıl peyzaj alanlarının oluşturulması ve alana özgü doğal türlerin getirilmesi, atık suyun geri kazanımını veya yenilenebilir enerji kaynaklarının dönüşümünü sağlayan sistemlere yer verilmesi sürdürülebilirliğin önemli adımlarındandır (Yurtsev, 2015). Bu bağlamlardan bakıldığında, peyzaj tasarımının sürdürülebilir olması için çeşitli araştırmacılar kriterler belirlemiştir. Atıl ve ark.'a göre (2005): mikroklimatik verilere göre tasarım uygulamak, enerji kullanımını minimuma indirmek, doğal enerji kaynaklarını dönüştürmek, atıkların geri kazanılmasını sağlamak, topografyayı en etkin şekilde kullanmak ve doğal çevreden olabildiğince faydalanıp yapılı çevreyle ilişkisini kurmak sürdürülebilir peyzaj tasarımının başlıca kriterlerindendir.

Leitão & Ahern'e (2002) göre, mekânsal sürdürülebilirlik, farklı ölçekteki yaşam alanları, bu alanların kullanımları ve zamansal değişim faktörleriyle gelişmektedir. Bu nedenle ekolojik temelli tasarım, peyzajların, var olan kapasitelerinin kullanım verimliliğini artırmakta ve zamansal değişime uyumunu sağlamaktadır. Mcharg (1969), Aklanoğlu (2009) ve Onur'a göre (2012) ekolojik tasarım kriterleri farklı parametrelerle aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- 1) Topografyanın en az müdahaleyle uygun şekilde kullanılması
 - Var olan peyzaj karakterini korumak ve minimum düzeyde müdahale,
 - Topografyaya uygun tasarım, alanın doğal yapısından faydalanma.
- 2) İklimsel verilere uygun tasarım
- 3) Enerji kaynaklarını en etkin şekilde kullanma
 - Su etkin peyzaj tasarımı,
 - Enerji etkin peyzaj tasarımı,
 - Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve dönüşümü,
 - Yerel kaynaklardan faydalanma.
- 4) Mevcut habitatın korunması, biyolojik çeşitliliğin sağlanması
- 5) Yeşil çatı ve yeşil duvar uygulamaları
- 6) Üretim ve tüketim dengesinin sağlanması
 - Sürdürülebilir tarım,
 - Enerji tüketiminin azalması,
 - Geri dönüşüm uygulamalarına yer verilmesi,
- 7) Sürdürülebilir ve ekolojik yönetim politikalarının uygulanması.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Başakşehir Millet Bahçesi, İstanbul ili Başakşehir ilçesinde yer almaktadır. Kayabaşı mahallesinde yer alan kamusal yeşil alan, Başakşehir Belediyesi hizmet binası, İkitelli Şehir Hastanesi, Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu ve yakında açılması planlanan Kanal İstanbul gibi mega projelerin odağında yer almaktadır. Bu nedenle özel bir konuma sahiptir. 37 bin metrekarelik kent meydanının hemen yanında yer alan kentsel mekânın toplam proje alanı 281.242 bin metrekaredir. Bahçede özel filtre sistemiyle kendi kendini temizleyen 15 600 metrekarelik bir gölet bulunmaktadır. Aynı zamanda bu bahçe geniş yeşil alanlara, spor ve yürüyüş alanlarına, kameryeler, meyve ve lavanta bahçelerine sahiptir. 10 000 metrelik yürüyüş yolu, 2 750 metrelik bisiklet yolu vardır.

589 metrekarelik Millet Kiraathanesi ise çocuk, genç, yaşlı pek çok kullanıcı profiline hizmet veren, engelsiz yaşam odaklı kapalı mekândır. Bu mekânda okuma salonları, kafeterya ve küçük bir sergi alanı bulunmaktadır. Kiraathane girişinin hemen yakınında mescitler, kadın-erkek wc'leri ve bebek bakım odaları yer almaktadır. Millet bahçesinde 200 araçlık kapalı otopark, 198 araçlık açık otopark, koku bahçeleri, 3 070 adet yapraklı ağaç, 960 adet ibrelili ağaç, 17 260 adet çalı, 25 000 metrekarelik etkinlik alanı, açık spor alanları, oyun parkları, engelsiz oyun alanları bulunmaktadır. 20 adet pergola, 40 adet kamerye, 84 adet oturma alanı, 98 çöp kutusu, 20 oturma bankı, 290 metrekare amfi, 22 çeşme, 1 gölet kafe, 30 393 metrekare ofis bloklarına ait avlu ve toplam 3 805 metrekare meydan yer almaktadır. Sert zemin alanı toplamda 92.397 metrekaredir (Anadolu Ajansı, 2018; Başakşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü, kişisel görüşme, 6 Mayıs 2024). Başakşehir Millet Bahçesi'nin kamuya açılışı 17 Kasım 2018 tarihinde gerçekleşmiştir. Şekil 1, Başakşehir Millet Bahçesi'ndeki aktivitelerin konumunu göstermektedir.

2011 senesine kadar taş ocağı olarak işlev gören alan, bu tarihten itibaren inşaat döküm yeri olarak kullanılmıştır (Şekil 2). İnşaat alanlarından çıkan hafriyat atıkları buraya boşaltılırken bir yandan da arazide su birikintisi oluşmuştur. Daha sonra arazi belediye tarafından doldurulmuş, yumuşak zemin elde edilmiştir. Bu zemine yapı yerleştirme fikri yerine alanı millet bahçesi olarak kullanma kararına varılmıştır. Projeye dahil olan ofis yapılarının temeline ise fore kazıklar çakılmıştır, böylece yapılar için sağlam zemin oluşturulmuştur.

kriterleri aşağıdaki kriterlere göre sınıflandırılıp alan çalışması dört ana başlık çerçevesinde irdelenmiştir:

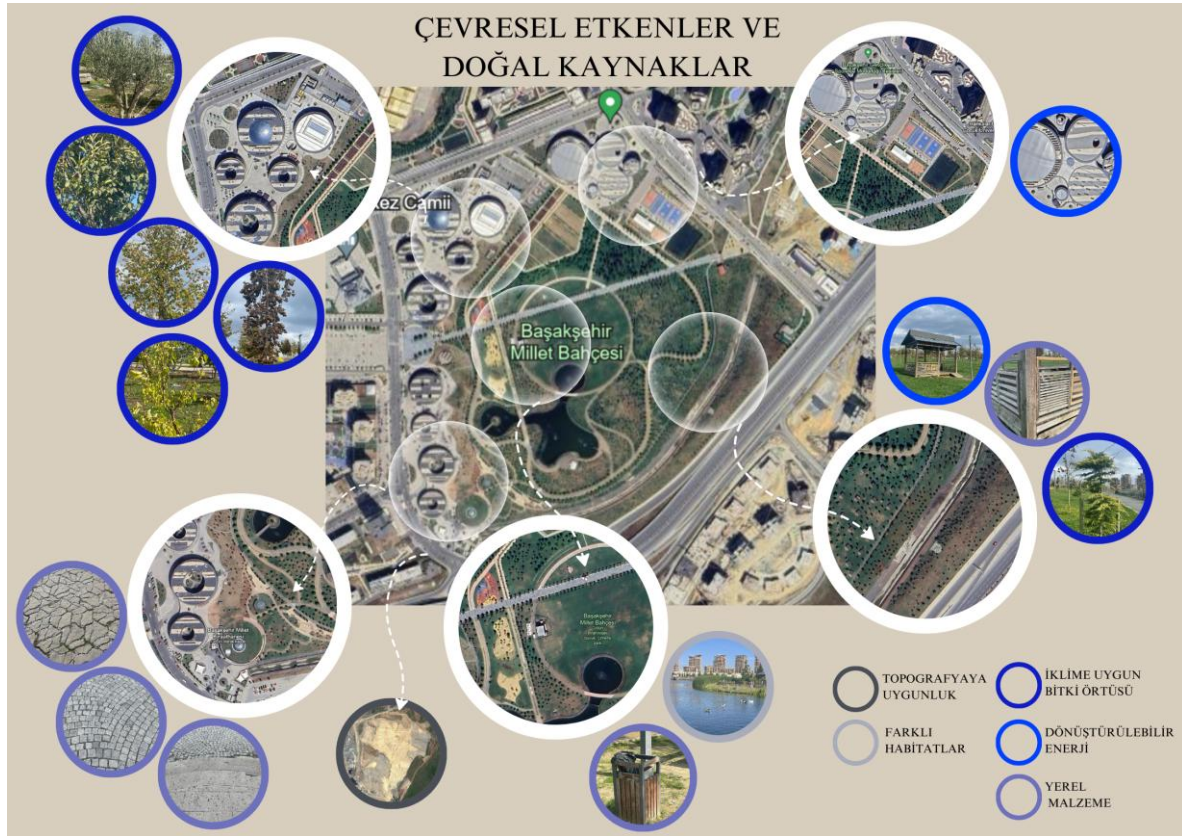
- 1) Çevresel etkenler ve doğal kaynaklar
 - Topografyaya uygun tasarım uygulamak,
 - Alanın özgün karakterinden faydalanmak,
 - Var olan peyzajı korumak,
 - Yenilenebilir ve dönüştürülebilir enerji sistemlerini kullanmak,
 - Yerel malzemeden faydalanmak,
 - İklimsel özellikleri göz önünde bulundurarak peyzaj tasarımı yapmak,
 - Mevcut habitatı korumak ve biyolojik çeşitliliğe fırsat tanımak.
- 2) Yapılı çevre tasarımı
 - Geri dönüştürülebilir hafif yapı malzemelerinden faydalanmak,
 - Varsa uygun atık inşaat malzemelerini kullanmak,
 - Enerji etkin yapı formlarından yararlanmak,
 - Yeşil çatı ve yeşil duvar uygulamaları yapmak,
 - Su etkin peyzaj tasarımı uygulamak.
- 3) Üretim ve tüketim dengesi
 - Sürdürülebilir tarımı desteklemek,
 - Enerji tüketimini azaltmak,
 - Geri dönüşüm uygulamalarına yer vermek.
- 4) Yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik

Bu başlıklar ve maddeler doğrultusunda fotoğraflarla, belgelerle ve Başakşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü birimi ile yapılan görüşmelerle bulgular elde edilmiştir. Araştırma yönteminde bulunan maddelerden bazıları fotoğraf veya belgelerle bulgu elde etmeye yeterli olmaktadır ancak 1. Başlığın 1, 2, 3 ve 5. Maddeleri; 2. Başlığın 2, 4 ve 5. Maddeleri, 3. Başlığın 2. Maddesi ve 4. Başlık için Başakşehir Belediyesi ile mülakat gerçekleştirilmiştir. Mülakatlarda paylaşılan sözlü ifadeler, faturalar, fotoğraf ve belgeler esas alınmıştır. Mülakatta belediyede mimar ve peyzaj mimarı olarak görev yapan iki ayrı kişiye sorular sorulmuştur. 1. Başlığa ait kriterler değerlendirilirken alanın proje öncesi karakterini değerlendirmek üzere belediyenin harita mühendisinde fotoğraflar alınmıştır. Böylece ilk üç maddeye için bulgu elde edilmiştir. 2. Başlığın maddelerini değerlendirmek üzere mimarlara atık malzeme kullanımı, yeşil çatının uygunluğu ve varsa su etkin uygulamalar olup olmadığı sorulmuştur. 3. Başlığın 2. Maddesini değerlendirmek için belediyeye ait faturalardaki değişim sorulmuş, ancak projenin başından beri uygulandığı için enerji etkinliğin bu şekilde ölçülemeyeceği görülmüştür. Bunun yerine enerji etkin tasarım donanımlarının kullanılıp kullanılmadığı sorulmuştur. Son başlık için sorulan soruya mimarlar, belediyenin her projede geri dönüşüm ve sıfır atık bilinciyle hareket ettiğini vurgulamışlardır. Bu uygulamaya ait fotoğraflar da bulgulara yer almaktadır. Bulgular kısmında Başakşehir Millet Bahçesinin sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterleri kapsamında evet, hayır ve kısmen seçeneklerine karşılık gelecek biçimde tespitler yapıp tablo ile değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Başakşehir Millet Bahçesi'nin bulunduğu arazi 2011 senesine kadar taş ocağı olarak kullanılmıştır. Sonrasında hafriyat döküm yerine çevrilen alanda zamanla su birikmesi ve inşaat atıklarının boşaltılıp suyun drene edilmesi döngüsü devam etmiştir. Doldurma zemin yöntemiyle yükseltilen alan, yumuşak zeminin elverişsizliği nedeniyle yapı alanı olarak kullanılmamış, onun yerine buraya millet bahçesi düşünülmüştür. Sonuç olarak alanın özgün karakterinden faydalandığı ve topografyaya uygun tasarım yapıldığı görülmüştür. Çevresel etkenler ve doğal kaynaklar başlığı incelendiğinde, millet bahçesinde enerjiyi dönüştüren sistemlerin bulunduğu görülmüştür. Çatılı piknik masaları, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren akıllı kent mobilyalarıdır. Dönüştürülen elektrik enerjisiyle engelli arabaları ve telefonlar şarj edilebilmektedir. Aynı zamanda aydınlatma, dönüştürülen enerjiden sağlanmaktadır. Zemin döşemelerinde ve peyzaj elemanlarında yerel malzeme kullanılmıştır. Döşeme malzemesi olarak granit plak taş ve bazalt taşı seçilmiştir. Çöp kovalarında, oyun alanlarında ve bordürlerde kullanılan malzemeler ahşaptır. Peyzaj tasarımı yaparken bitki türleri iklimsel özellikler göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir. İhlamur ağacı, altuni yapraklı himalaya sediri, kırmızı çınar

yapraklı akçağaç ve zeytin ağacı bu bitkilerden bazılarıdır. Meyve bahçesinde, koku bahçesinde ve millet bahçesinin diğer alanında kullanılan çalılar ve ağaçlar İstanbul iklimine göre seçilmiştir (Şekil 3). Peyzajların sulama ihtiyacını karşılamak için otomatik sulama sistemleri ve damlama sulama sistemleri kullanılmıştır. Bu su, yağmur suyunun yeniden kullanımıyla elde edilmektedir. Böylece hem peyzajın fiziksel sürdürülebilirliği sağlanmakta hem de ekolojik yöntemler kullanılmaktadır. Arazinin mevcut durumunda canlı habitatına rastlanmamıştır. Bu nedenle mevcut habitatın korunması gibi bir durum söz konusu olmamıştır. Çizelge 1’de sürdürülebilir peyzaj tasarımına ait, yöntemde belirtilen, ilk başlığın kriterleri sorgulanmıştır



Şekil 3. Çevresel etkenler ve doğal kaynaklar başlığı altında sürdürülebilir peyzaj kriterlerini sağlayan örnekler.

Çizelge 1. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında çevresel etkenler ve doğal kaynaklar kriterleri

Sürdürülebilir P. T. Kriterleri	Var	Kısmen Var	Yok	Açıklama
Topografyaya uygun tasarım uygulamak	X			Arazi 2011’den itibaren hafriyat alanı olarak kullanılmıştır. Sonrasında doldurma zemin oluşturulmuştur.
Alanın özgün karakterinden faydalanmak	X			2011 senesine kadar taş ocağı olarak kullanılmış, yumuşak zemin elde edildikten sonra millet bahçesi olarak planlanmıştır.
Var olan peyzajı korumak		X		Arazinin mevcut durumunda herhangi bir peyzaj ögesi bulunmamaktadır.
Yenilenebilir ve dönüştürülebilir enerji sistemlerini kullanmak		X		Kamusal localarda güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında çevresel etkenler ve doğal kaynaklar kriterleri (devam)

Sürdürülebilir P. T. Kriterleri	Var	Kısmen Var	Yok	Açıklama
Yerel malzemeden faydalanmak	X			Telefon şarj durakları, pergolalar, çöp kovaları ve sert zeminde yerel ahşap ve taş kullanılmıştır.
İklimsel özellikleri göz önünde bulundurarak peyzaj tasarımı yapmak	X			Peyzaj tasarımı için seçilen yapraklı ağaçlar, çalılar ve meyve ağaçları İstanbul iklimi için uygundur.
Mevcut habitatı korumak ve biyolojik çeşitliliğe fırsat tanımak		X		Arazide mevcut habitat bulunmamasıyla birlikte peyzaj tasarımı farklı habitatların bir arada bulunmasına olanak sağlamaktadır.

Yapılı çevre tasarımına ait kriterler, peyzaj alanında zeminden bina cephelerine inşa edilmiş tüm alanlarda enerji etkin adımları baz almaktadır. Millet bahçesinde yer alan kameriyeler, piknik masaları, çöp kovaları, oyun alanları, binaların cephelerinde kullanılan malzemeler geri dönüştürülebilir/ yeniden kullanılabilir malzemelerdir. Arazi doldurulurken hafriyattan yararlanıldığı için atık inşaat malzemesi kullanıldığı söylenebilmektedir. Böylelikle sürdürülebilir inşaat faaliyetlerinde önemli bir adım olan malzeme seçimi noktasında kriterlerin sağlandığı görülmüştür. Ofis binalarının cepheleri ve çatıları doğal ışıktan maksimum derecede yararlanmayı hedeflemiştir. Aynı zamanda binaların formu rüzgâr ve soğuğa karşı direnç sağlayan oval formdadır. Millet bahçesinde bulunan kıraathane binasının çatısı ise gerçek bir yeşil çatı uygulamasıdır. Projede yer alan şantiye binasının çatısında toplanan yağmur suyu filtrasyon yöntemiyle sulamada kullanılmaktadır. Aynı zamanda biyolojik gölette kendini temizleyen özel filtrasyon sistemi bulunmaktadır. Bu kriterler, sürdürülebilir peyzaj tasarımında yapılı çevre tasarımına ait kriterler olmaktadır (Şekil 4). Başakşehir Millet Bahçesi özelinde bu maddelerle uyum sağlanıp sağlanmadığı Çizelge 2’de görülmektedir.



Şekil 4. Yapılı çevre tasarımı başlığı altında sürdürülebilir peyzaj kriterlerini sağlayan örnekler.

Çizelge 2. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında yapıli çevre tasarımına ait kriterler

Sürdürülebilir P. T. Kriterleri	Var	Kısmen Var	Yok	Açıklama
Geri dönüştürülebilir hafif yapı malzemelerinden faydalanmak	X			Binaların cephelerinde, oyun alanlarında ve taşınır taşınmaz peyzaj öğelerinde geri dönüştürülebilir ve hafif malzemeler kullanılmıştır.
Varsa uygun atık inşaat malzemelerini kullanmak		X		Doldurma zemin çevre inşaatlardan gelen hafriyat atıklarıyla oluşturulmuştur.
Enerji etkin yapı formlarından yararlanmak	X			Millet bahçesinde bulunan ofis binaları oval formdadır. Binaların çatısında doğal ışığı doğrudan almayı sağlayan açıklıklar bulunmaktadır.
Yeşil çatı ve yeşil duvar uygulamaları yapmak	X			Millet Kiraathanesi binasının çatısında yeşil çatı uygulaması vardır.
Su etkin peyzaj tasarımını uygulamak	X			Gölette kendi kendini temizleyen özel filtrasyon sistemi bulunmaktadır ve yağmur suyu toplanıp filtrelenerek sulamada kullanılmaktadır.

Sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterlerinde üretim ve tüketim dengesini korumak ana kriterlerden biridir. Proje alanında, sürdürülebilir tarımı desteklemek ve estetik alanlar oluşturmak için meyve bahçesi ve lavanta bahçesi düşünülmüştür. Enerji tüketimini azaltmak için aydınlatmada ve telefon şarj noktalarında güneş enerjisinin dönüşümünden faydalanılmıştır. Millet bahçesinde bulunan geri dönüşüm ve sıfır atık kutuları organik ve geri dönüştürülebilir malzemelerin toplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu kriterler üretim ve tüketim dengesinin alt başlıklarını oluşturmaktadır. Başakşehir Belediyesi, yerel yönetim politikalarında özellikle peyzaj alanlarında geri dönüşüme önem vermiştir (Şekil 5). Belediyeye ait peyzaj alanlarında biriken bitkisel atıklar kuru peyzaj yöntemiyle döşemede, ağaç diplerinde, peyzaj süslemesinde kullanılmaktadır (Başakşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü, kişisel görüşme, 6 Mayıs 2024). Çizelge 3'te sürdürülebilir peyzaj tasarımına ait kriterlerin son başlıkları veriler ve açıklamalarıyla verilmiştir.



Şekil 5. Üretim/ tüketim dengesi ve yerel yönetim politikaları başlıkları altında sürdürülebilir peyzaj tasarımı kriterlerinin örnekleri.

Çizelge 3. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında üretim ve tüketim dengesi ve geri dönüşümde yerel yönetim politikaları

Sürdürülebilir P. T. Kriterleri	Var	Kısmen Var	Yok	Açıklama
Sürdürülebilir tarımı desteklemek	X			Millet bahçesinin bir bölümü meyve bahçesi ve lavanta bahçesi olarak tasarlanmıştır.
Enerji tüketimini azaltmak		X		Enerji dönüşümünü sağlayan sistemler uzun vadede enerji tüketiminin azalmasına yönelik bir uygulamadır.
Geri dönüşüm uygulamalarına yer vermek	X			Kuru peyzaj denen yöntemle peyzaj atıkları geri dönüştürülerek sonraki uygulamalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda cam, plastik, kâğıt ve organik atıkların dönüşümü için atık toplama alanı bulunmaktadır.
Yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik	X			Başakşehir Belediyesi yerel yönetim politikalarında sıfır atık, geri dönüşüm, kuru peyzaj, enerji etkin tasarım gibi uygulamalara yer vermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Kaynakların hızla tükenmesi, bilinçsiz tüketim ve çevre kirliliği sürdürülebilirlik kavramını gündeme getirmiştir. Sürdürülebilir yaşam sürdürülebilir çevrelerle mümkün olmaktadır. İnsanların kaynaklarla ve yaşadığı çevre ile ilişkisi sosyal, ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği etkilemektedir. İnsanların toplu yaşama alanlarından biri olan kentlerin sürdürülebilirlik girdilerinden olan kaynak analizi, çevre koruması, yapı ve doğal çevre ilişkileri, mekân planlaması gibi başlıklar peyzaj mimarisinin de basamaklarını oluşturmaktadır. Böylelikle peyzaj mimarları tasarımlarını sürdürülebilir peyzaj ilkeleriyle bir araya getirmekte, mimari elemanlarla tasarımını bütünleştirerek kullanıcı ve peyzaj alanında çift yönlü ilişki sunmaktadır (Başal & Özdemir, 2008).

Sürdürülebilir peyzajda doğal kaynakların gelecek nesilleri düşünülerek kullanılması amaçlanmalıdır. Sürdürülebilirlik, kullanıcı ve doğal sistem arasındaki ilişkiye bağlıdır (Erdoğan & Uslu, 2011). Çevre tahribatı minimuma indirgenmeli, enerji kaynaklarından en verimli şekilde yararlanılmalıdır. Ayrıca mevcut habitat korunmalı, yeni yaşam alanları düşünülmelidir (Kavuran, 2021). Aynı zamanda sürdürülebilir peyzaj tasarımında amaç, en az müdahale ve en düşük maliyetle en verimli, işlevsel ve estetik tasarımı ortaya koymak olmalıdır (Cook & VanDerZanden, 2011). Sürdürülebilir peyzajda ekonomik, ekolojik ve toplumsal eşitlik ilkeleri aynı anda düşünülmelidir (Atıl ve ark., 2005). Bu ilkeler arasında en önemlisinin ekolojik ilkeler olduğu görülmüştür. Leitão & Ahern'e (2002) göre, mekânsal sürdürülebilirlik, farklı ölçekteki yaşam alanları, bu alanların kullanımları ve zamansal değişim faktörleriyle gelişmektedir. Bu nedenle ekolojik temelli tasarım, peyzajların, var olan kapasitelerinin kullanım verimliliğini artırmakta ve zamansal değişime uyumunu sağlamaktadır. Ekolojik tasarım kriterleri başlıkları arasında topografya, iklimsel veriler, enerji kaynakları, mevcut habitat, üretim ve tüketim dengesi ve yerel yönetim politikaları bulunmaktadır.

Bu çalışmada literatür taraması sonucunda sürdürülebilir peyzaj tasarımına ait kriterler oluşturulmuştur. Sürdürülebilir peyzaj tasarımı “çevresel etkenler ve doğal kaynaklar”, “yapı ve çevre tasarımı”, “üretim ve tüketim dengesi” ve “yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik” olmak üzere dört ana başlıkta incelenmiştir. Başakşehir Millet Bahçesi özelinde bu başlıklara ait kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. “Çevresel etkenler ve doğal kaynaklar” başlığı düşünüldüğünde, Başakşehir Millet Bahçesi'nin tüm kriterlere kısmen de olsa cevap verdiği görülmüştür. Yapı ve çevre tasarımı özelinde incelendiğinde, millet bahçesi projesinde ofis binalarında ve peyzaj alanında yerel, hafif ve geri dönüştürülebilir/yeniden kullanılabilir malzemelerin tercih edildiği, su ve enerji etkin tasarımın düşünüldüğü, atık inşaat ve atık peyzaj malzemelerinin kullanıldığı, yeşil çatı uygulamasına yer verildiği görülmüştür. Böylece binalarda enerji etkin performans sağlanmıştır.

Başakşehir Millet Bahçesi'nde üretim ve tüketim dengesini sağlamak amacıyla sürdürülebilir tarım faaliyeti adı altında meyve bahçesi ve lavanta bahçesi oluşturulmuştur. Elde edilen ürünlerin hangi amaçla kullanıldığı bilinmemekle beraber, insanların bir arada bulunduğu ve çocuklarıyla keyifli vakit geçirdiği sosyal sürdürülebilir alanlar olduğu söylenebilmektedir. Başakşehir Park ve Bahçeler Müdürlüğü ile yapılan görüşmede, bu alanlarda kullanılan bazı peyzaj öğelerinin vandalizme maruz kaldığı bilgisi elde edilmiştir. Üretim ve tüketim dengesini sağlama yönünde, enerji tüketimini azaltmak için güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler kullanılmaktadır. Fatura giderleri incelendiğinde enerji tüketiminin azaldığını gözlemek mümkün olmayacaktır. Çünkü bu sistem projenin başında uygulanmıştır. Ancak enerjiyi dönüştürmenin, enerji tüketimini azaltmada uzun vadede etkili bir yöntem olduğunu söylemek hatalı olmayacaktır. Başakşehir Millet Bahçesi, yerel yönetim politikalarında sürdürülebilirlik ilkesini gözetten bir kurumdur. Park ve Bahçeler Müdürlüğü ile yapılan görüşmede, belediyenin yalnız Başakşehir Millet Bahçesi özelinde değil, tüm peyzaj alanları dahilinde kurakçıl peyzaj, geri dönüşüm ve yeniden kullanım politikalarını benimsediği bilgisine ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, araştırma sorularına dahil olmayan bazı meseleler de Park ve Bahçeler Müdürlüğü ile görüşülmüştür. Toplamda 3805 metrekare meydanın yer alması ve büyük bir alanda çok sayıda küçük gövde çaplı ağaçların bulunması bazı soru işaretleri doğurmuştur. Millet bahçesinin sahip olduğu meydanın genişliği fazla görülebilmekte ancak açık hava etkinliklerinde ve olası kriz durumlarında bu alan tamamıyla verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda alanın büyüklüğü çok sayıda ağaç dikimini gerekli kılmıştır. İri gövdeli ve yaşça büyük ağaçlar maliyet açısından zorluk yaratacağından, uzun vadede gölge oluşturabilecek olan, kullanıma elverişli, arazi ölçeğiyle uyumlu olabilecek ve ekonomik açıdan elverişli genç ağaçlar tercih edilmiştir. Aynı zamanda vaziyet planındaki organik formla örtüşmeyen ınsal yol, çevre ilişkileri açısından önemli role sahip iki ana caddeyi bağladığından ve millet bahçesinin içinden yürümeye fırsat sağladığından doğru bir karar olarak görülmektedir. Bu yol kullanıcıda bir hafıza oluşturmakta, kent alanında karşılaşmalara fırsat sağlamaktadır.

Sonuç olarak, yapılan görüşmeler, fotoğraf ve belgeler incelendiğinde, Başakşehir Millet Bahçesi'nin sürdürülebilir peyzaj kriterlerini büyük oranda sağladığı söylenebilmektedir. Ancak çalışma sosyal sürdürülebilirliği konu edinmemiştir çünkü sosyal sürdürülebilirliğin ölçülmesi anket sonuçlarını veya mülakat analizlerini değerlendirmeyi gerektirmektedir. Bu çalışmanın yöntemi ve kapsamı dışında olduğu için sosyal sürdürülebilirlik başlığı açılmamıştır. Başakşehir Millet Bahçesi sürdürülebilir peyzaj tasarımına örnek teşkil edebilecek bir kamusal yeşil alan olmakla birlikte, eksiklikleri de bulunmaktadır. Örneğin sürdürülebilir tarımı ekonomik yönden desteklemek için ürünlerden gelir elde edilebilir. Meydanda kullanılmak üzere zaman zaman kısmı kapalı alana dönüşebilen mekanlar tasarlanabilir, piknik ve koru alanlarının yakınlardaki kafeterya sayısı artırılabilir. Fiziksel aktiviteyi çeşitlendirmek için enerjiyi dönüştüren bisikletlerin bulunduğu bir alan kurulabilir, böylece enerji üretimi artırılmış olur. Ayrıca oyun alanlarındaki oturma elemanları yetersizdir, kullanıcılar için geri dönüştürülmüş malzemeden kent mobilyaları tasarlanabilir. Bu seçenekler Başakşehir Millet Bahçesi'nin ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğine katkıda bulunacaktır. Millet bahçeleri Türkiye'de 21. Yüzyılda kentlinin sosyal ve kültürel ihtiyaçlarına cevap veren önemli kamusal yeşil alanlar olmuştur. Bu alanların sürdürülebilir mekânlar olması ve sürdürülebilir tasarım kriterlerine göre inşa edilmiş olması önem arz etmektedir. Millet bahçeleri kullanıcının rekreasyon ihtiyaçlarını karşılayan, sosyalleşmeye ve karşılaşmalara fırsat tanıyan, ergonomik, konforlu, ekolojik ve sürdürülebilir yeşil alanlar olarak tasarlanmalıdır. Bu bağlamda bu çalışma millet bahçelerinin sürdürülebilir tasarımıyla inşa edilmeleri için bir kılavuz sunmaktadır.

Kaynakça

- Aklanoğlu, F. (2009). *Geleneksel yerleşmelerin sürdürülebilirliği ve ekolojik tasarım: Konya-Sille örneği*. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anadolu Ajansı. (2018, Kasım 15). İstanbul 5 millet bahçesine 17 Kasım'da kavuşuyor. Erişim tarihi: 24 Aralık 2024. <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/istanbul-5-millet-bahcesine-kavusuyor/0#>
- Atıl, A., Gülgün, B., & Yörük, İ. (2005). Sürdürülebilir kentler ve peyzaj mimarlığı. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2), 215-226.

- Avcı, Y. (2017). *Osmanlı hükümet konakları: Tanzimat döneminde kent mekânında devletin erki ve temsili*. Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Başal, M., & Özdemir, A. (2008). *Sürdürülebilir peyzaj tasarım yaklaşımları*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Cook, T. W., & VanDerZanden, A. M. (2011). *Sustainable landscape management: design, construction, and maintenance*. John Wiley & Sons Inc.
- Ercan, H. (2018). *Tanzimat döneminde Osmanlı kentlerinde kent meydanı ve millet bahçeleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Erdoğan, E., & Uslu, A. (2011). *Enerji etkin tasarım peyzaj çevre ve tarım*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Germain, A. (2010). The social sustainability of multicultural cities: A neighbourhood affair?, *Belgian Journal of Geography*, 4(2002), 377-386. <https://doi.org/10.4000/belgeo.16098>
- Gürkaş, T. (2009). Bir mimarlık tarihi alanı olarak Türkiye’de peyzaj mimarlığı tarihi ve peyzaj mimarlığı-devlet ideolojisi ilişkisi. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, 13, 171-190.
- Hisar, A. Ş. (2022). *Çamlıca’daki eniştemiz*. Everest Yayınları.
- İmert, H. (2017). *Konaklama mekânlarında ekolojik biçimleşme ve bir tasarım modeli önerisi*. (Doktora Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karay, R. H. (2009). *Ago Paşa’nın hatıratı*. İnkılap Kitabevi.
- Kartal, B. (2009). *İstanbul’daki tarihi saray bahçelerinin peyzaj mimarlığı açısından incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaştas Uzun, İ., & Şenol, F. (2020). Recent “Nation Gardens” and historical development of public green spaces in Turkey. *Art-Sanat*, 14, 211-240. <https://doi.org/10.26650/artsanat.2020.14.0009>
- Kavuran, D. (2021). *Sürdürülebilir peyzaj planlama ve tasarım yaklaşımları çerçevesinde mevcut kent parklarının iyileştirilmesi: Mogan Parkı örneği*. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Bilimleri Enstitüsü.
- Leitão, A. B., & Ahern, J. (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59(2), 65–93. [https://doi.org/10.1016/s0169-2046\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/s0169-2046(02)00005-1)
- McHarg, I. L. (1969). *Design with nature*. Natural History Press, Garden City, NJ, USA.
- Onur, B. E. (2012). Peyzaj tasarım ve yönetiminde ekolojik yaklaşım ve sürdürülebilir kent hedefine katkıları, *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2(5), 245-252.
- Öztürk, Z. K., Ferah, B., & Tunca, C. (2022). Tarihi yarımada semt parkları örneklerinde mekânsal kalite farklarının PPS mekân diyagramı üzerinden değerlendirilmesi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 54-65. <https://doi.org/10.47769/izufbed.1103732>
- Reid, G. W. (1993). *From concept to form in landscape design*. Wiley Press.
- Subaşı, S. (2022). *Sürdürülebilir kentsel korumanın mimarlık pratikleri perspektifinden değerlendirilmesi: Rami Kışlası örneği*. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Şenyurt, O. (2018). Arşiv belgeleri ışığında Osmanlı’nın son dönemlerinde “gezinti” nin mekânları ve millet bahçeleri, *Journal of Architecture and Life*, 3(2), 143-167. <https://doi.org/10.26835/my.452649>
- Yurtsev, A. (2015). *Sürdürülebilir mimarlık kapsamında enerji etkin peyzaj tasarım yaklaşımları*. (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zulkadiroğlu, D. (2022). Millet bahçelerinde alan niteliklerinin kullanıcı açısından incelenmesi: Kahramanmaraş 15 Temmuz Millet Bahçesi örneği. *Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*, 4(1), 41-56. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1074452>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Bingöl Kent Merkezinde Açık ve Yeşil Alanlar Konusunda Halkın Yaklaşımlarının Belirlenmesi

Sibel MANSUROĞLU¹, Veysel DAĞ^{*2}, Selma KÖSA³

^{1,3}Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 07070, Antalya, Türkiye

²Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 20160, Denizli, Türkiye
Sibel MANSUROĞLU, ORCID No: 0000-0003-3451-3069, Veysel DAĞ, ORCID No: 0000-0002-2111-7756,

Selma KÖSA, ORCID No: 0000-0002-9562-0856

*Sorumlu yazar e-posta: veyseldag@windowslive.com

Makale Bilgileri

Geliş: 14.05.2024
Kabul: 01.11.2024
Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1483562

Anahtar Kelimeler

Açık ve yeşil alan,
Bingöl,
Kentleşme

Öz: Kentsel açık ve yeşil alanlar insanların fiziksel ve ruhsal sağlığını geliştirme, kentsel estetiği iyileştirme, boş zaman ve eğlence için alanlar sağlama ve bireyler arasında etkileşimi destekleme gibi işlevlere sahiptir. Kentlerdeki açık ve yeşil alanların (parklar, ormanlık alanlar, bahçeler, yeşil yollar vb.) değeri, kent yöneticileri ve sakinleri tarafından genel anlamda bilinmekle birlikte, ülkemizde bu alanlara verilen önem oldukça sınırlıdır. Kentsel açık ve yeşil alanların oluşturulmasında ve kalitesindeki yetersizlikler ile sürdürülebilirliğine ilişkin kaygılar, kentlere olan yoğun göç sonucu kentsel alanların kontrolsüz büyümesi, hızlı betonlaşma, kentlerde büyümeye bağlı çöküş sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Yakın gelecekte bu sorunların daha da artacağı düşünüldüğünde yaşanabilir kentler yaratma açısından açık ve yeşil alanların varlığı önem kazanmaktadır. Konuyla ilgili çeşitli çalışmalar kentlerde açık ve yeşil alan varlığı yanında kalitesinin de değerlendirilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu çalışmada kentlerde açık ve yeşil alanların planlama ve tasarım çalışmalarında, bu alanları kullanan halkın görüşlerinin saptanması ve elde edilen verilerin söz konusu çalışmalarda ve uygulamada kullanılmasının önemi vurgulanmıştır. Açık ve yeşil alanların bulunduğu yörenin doğal ve kültürel özellikleri ile kent halkının görüş ve taleplerine göre şekillenmesi amacıyla, Doğu Anadolu Bölgesinde önemi gün geçtikçe artan ve kentsel dönüşüm çalışmaları devam eden Bingöl kent merkezinde yaşayanların açık ve yeşil alan gereksiniminin belirlenmesi için bir anket çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda halkın kentteki açık ve yeşil alanları nitelik ve nicelik açısından yetersiz bulduğu, bu alanlara yeterli önemin verilmediği ve kentsel açık ve yeşil alanların artırılmasına yönelik taleplerinin olduğu saptanmış, sorunlara yönelik bazı öneriler geliştirilmiştir.

Determining People's Approaches to Open and Green Spaces: The Case of Bingöl

Article Info

Received: 14.05.2024
Accepted: 01.11.2024
Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1483562

Keywords

Bingöl,
Open and green space,
Urbanization

Abstract: Urban open and green spaces have functions such as improving people's physical and mental health, improving urban aesthetics, providing areas for leisure and recreation, and supporting interaction between individuals. Although the value of open and green areas (parks, woodlands, gardens, greenways) in cities is generally recognised by city administrators and residents, the importance given to these areas in our country is limited. Concerns about the creation, quality, and sustainability of open and green urban areas reveal the problems of uncontrolled growth due to intense migration to cities, rapid concretion, and collapse due to city growth. Considering that these problems will increase soon, the presence of open and green areas gains importance in creating livable cities. Various studies have been carried out on creating livable

cities and pointed to the necessity of evaluating the quality and presence of open and green spaces in cities. This study emphasises the importance of determining the opinions of the people who use these areas in the planning and design studies of open and green areas in cities and using the data obtained in these studies and practices. In order to shape open and green areas according to the natural and cultural characteristics of the region and the opinions and demands of the city people, a survey was conducted to determine the open and green area needs of the people living in Bingöl city centre, which is becoming increasingly important in the Eastern Anatolia Region and urban transformation works are continuing. As a result of the study, it was determined that the people find the open and green areas in the city insufficient in terms of quality and quantity, that these areas are not given enough importance and that they have demands for increasing urban open and green areas, and some suggestions were developed for the problems.

1. Giriş

Kent, toplumun kültürü ve gücü ölçüsünde yoğunlaşan bir yerleşim merkezi ya da uygarlığın insanlara verdiği bir toplanma yeridir (Mumford, 2007). Toplum hayatının en gelişmiş formu olan kent canlı bir organizma olup, her kentin farklı sosyal ve ekonomik özelliklerine bağlı uygun bir mekan düzeni bulunmaktadır (Bayraktar, 1973). Kentsel arazi kullanımı hem yerel hem de küresel ölçekte çevresel etkilerin ana nedenidir (Seto ve Shepherd, 2009). Başka bir deyişle insanın kentlerde yaptığı etkiler aynı zamanda yaşamını sürdürdüğü çevresini de etkilemektedir. Küresel arazi kullanımının %2'sini temsil etmesine rağmen, dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentsel alanlarda yaşarken, endüstriyel faaliyetlerin büyük bir bölümü de burada yer almaktadır (Semeraro ve ark., 2018). 20. yüzyılın başlarında dünya şehirlerinden sadece on altısının nüfusu 1 milyonu aşmışken (Okraszewska ve ark., 2018), 1950'den beri bu sayı hızla artmaktadır (Berry, 2008). Nüfusu 1 milyonu aşan şehir sayısı 2010 yılında 411 (Okraszewska ve ark., 2018), 2024 yılında 596'ya (World Population Review, 2024) ulaşmıştır. 2050 yılına kadar kentlerde dünya nüfusunun %70'i geçeceği (Lerner & Audenhove, 2012), bunun da kentsel alanlarda çevresel, sosyal, kültürel ve sağlık ile ilgili çeşitli sorunların artmasına neden olabileceği tahmin edilmektedir (Dağ, 2022). Ülkemizde ilk nüfus sayımının yapıldığı 1927 yılında toplam nüfusun sadece %24,2'si kentlerde yaşarken bu oran yıldan yıla artarak 2023 yılında %93'e ulaşmıştır (TÜİK, 2024). Hızlı kentleşme, nüfus artışı, konut alanı ve yeşil alan konusunda artan endişelere yol açmıştır (Li ve ark., 2021). Bu kentleşme, kişi başına düşen kentsel alanın azalmasına ve dolayısıyla kentlerde açık ve yeşil alan kaybına neden olmakta (James ve ark., 2009), bu da doğala yakın alanlarda geçirilen zamanın azalmasına yol açmaktadır (Barton ve Pretty, 2010).

Nüfus artışına bağlı olarak artan yapılaşma temelinde insanın doğa ile iletişim kurması, kentlerdeki yapılaşmış alanlar dışında bulunan açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliğine bağlıdır. Örneğin su yüzeyleri, üzerinde bitkisel eleman bulunmayan veya çok sınırlı sayıda bulunan meydanlar ve ulaşım alanları açık alan olarak tanımlanmaktadır. Üzerinde herhangi bir amaca göre yapılaşmanın olmadığı bu alanlar, rekreasyonel kullanım için potansiyele sahiptir. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği (2017)'ne göre yeşil alanlar toplumun yararlanması için ayrılan oyun bahçesi, çocuk bahçesi, dinlenme, gezinti, piknik, eğlence, rekreasyon ve rekreatif alanları (metropol ölçekteki fuar, botanik ve hayvan bahçeleri ile bölgesel parklar bu alanlar kapsamındadır) ifade etmektedir. Farklı araştırmacılar tarafından çeşitli başlıklar altında sınıflandırılan açık ve yeşil alanların kent ekolojisine ve halkına olan katkılarının anlaşılması önem taşımaktadır. Örneğin; Yavuz ve ark. (1978) açık ve yeşil alanları işlevlerine göre üretkenlik-verimlilik, koruma, süsleme ve dinlenme-eğlenme olarak dört grupta toplamaktadır. Bu bağlamda açık ve yeşil alanların kentlere sağladığı faydalar fiziksel dengeyi sağlama, trafik güvenliğini artırma, kent içi ve dışı sirkülasyonu kolaylaştırma, alan kullanımları arasında tampon görevi görme, çevre sorunlarını (hava, su, toprak ve gürültü kirlilikleri ve bunlara bağlı diğer sorunlar) engelleme ya da azaltma, kent halkının rekreasyon ihtiyacını giderme ile halkın fiziksel ve psikolojik sağlığını olumlu etkileme, kent kültürünü geliştirme ve kentlerdeki taşınmazlara değer kazandırma olarak sıralanabilir (Bayraktar, 1973; Pamay, 1978; Yavuz ve ark., 1978).

Açık ve yeşil alanların, nicelik ve niteliklerinin, ulaşılabilirliğinin ve sunduğu hizmetlerin saptanması ve en uygun şekilde yararlanılması için halkın görüşleri belirlenmeli, bunların kent halkı

açısından rolü ve faydaları doğru değerlendirilmeli ve gelişmekte olan kentsel alanlarda dikkate alınmalıdır (Stessens ve ark., 2020). Açık ve yeşil alanlar yanında diğer doğa temelli çözümler, kentsel ortamların kalitesini artırmak, yerel dayanıklılığı geliştirmek ve sürdürülebilir yaşam tarzlarını desteklemek için yenilikçi yaklaşımlar sunarak kent halkının hem sağlığını hem de refahını iyileştirir. Bu açıdan kamusal ve özel alanlardaki parklar, oyun alanları veya doğala yakın bitki örtüsü merkezi bir bileşen kabul edilmektedir (WHO, 2017).

Kentsel yeşil alanlar insanların kültürel değerlerinden nasıl yararlandıklarının da önemli bir göstergesi olup, bu bağlantıyı güçlendirmek amacıyla, sürdürülebilir kentsel planlama yaklaşımı (Luederitz ve ark., 2015) ile kentsel açık ve yeşil alanların kalitesi ve yönetiminin anlaşılması ve bunlar arasındaki ilişkinin geliştirilmesi gerekmektedir (Lu ve ark., 2023). Böylece insanların fiziksel ve ruhsal sağlığı geliştirilebilir, kent estetiği iyileştirilebilir, boş zaman ve eğlence için alanlar sağlanabilir ve insanlar arasındaki ilişkiler teşvik edilebilir. Ancak bu alanlara verilen önem ülkemizde oldukça sınırlıdır. Kentlerimizde hızla artan nüfusun aksine kentsel açık ve yeşil alanların niteliği ve niceliği büyük oranda azalmaktadır. 21. yüzyıl insanının yaşadığı kentler onu doğadan daha çok koparmakta, yapılar içerisinde kendi konfor alanlarını yaratmaya itmektedir. İletişim araçlarının da etkisi ile dış mekanda geçirilen zaman azalmakta ve kent insanı yalnızlaşmakta, kentlerde azalan açık ve yeşil alanlar ise bu durumu körüklemektedir. Covid-19 salgını sırasında zorunlu olarak evlere hapsolunması kentlerde açık ve yeşil alanlara olan önemi ortaya koymuştur. Bu alanların planlama ve tasarımında mekanın fiziksel özelliklerine ek olarak, kent halkının gereksinim, alışkanlık, eğilim, görüş ve isteklerinin de önemli olduğu anlaşılmıştır. Karar alma sürecinde katılımın yeterli olmadığı, uygulama sürecinde de çevrelerin rol almadığı durumlar ile sıklıkla karşılaşabilmektedir. Özellikle karar alma sürecinde katılımın sağlanmadığı ya da görüşlerin kararlara gerektiği gibi yansıtıl(a)madığı durumlarda uygulamada birtakım sorunlar ile karşılaşmak kaçınılmazdır (Turgut, 2012). Çünkü ilgi grubunun (bireyler, sivil toplum kuruluşları, platformlar, vakıf ve dernekler, akademisyenler, kamu kurum ve kuruluşları gibi) söz sahibi olmadığı durumlarda uygulamaya geçilmeden önce alınan kararlara çeşitli yollarla (yargı yolu, protesto/eylem) itiraz hakkı doğmaktadır. Bu nedenle planlama çalışmalarında paydaş katılımı önemlidir. Aribaş (2013)'e göre bir planda katılımın sağlanmaması başarı şansını zayıflatırken, doğru katılımın sağlanamaması da başarıyı düşürmektedir. Bu durum etkin ve verimli bir plan için katılımcı grubun veya hedef kitlenin doğru belirlenmesi ve katılımın etkin bir şekilde sağlanmasını gerektirmektedir. Lalli (1995) kent sakinleri ile kentsel açık ve yeşil alanlar arasındaki ilişkide davranış biçimi, kent sakinlerinin bu alanları algılama düzeyi ve sosyal ilişkilerdeki temsillerinin önem taşıdığına işaret etmektedir (Sanesi ve Chiarello, 2006).

Ülkemizde kırdan kente olan göçün yoğun olduğu dönemlerde bireylerin kent kültürüne uyum sağlamasına bağlı sosyal sorunlar yanında artan nüfusu barındırmak amacıyla uygulanan konut üretme politikaları kentlerdeki ekolojik dengeleri bozan temel bir sorundur. Kentlerin sağlıklı ve dengeli bir yapıya sahip olmaları açısından, yeterli açık ve yeşil alan içermelerine ek olarak bu alanların kullanıcılar açısından uygunluğu ve kentteki dağılımı da önemlidir. Bu konuda çeşitli standartlar geliştirilmiş olmakla birlikte, açık ve yeşil alanlar bulunduğu yörenin doğal ve kültürel özellikleri ile kent halkının görüş ve taleplerine göre şekillenmelidir. Katılımcı planlama yönteminin benimsendiği Bingöl kentinde halkın yeşil alan kullanımının değerlendirilmesi (Vural, 2020a), kentin öncelikli sorunlarının belirlenmesi (Vural, 2020b), kentin kentsel gelişim ve yeşil alan planlama sürecinin değerlendirilmesi (Vural ve ark., 2019) gibi çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmada ise Bingöl kent merkezinde açık ve yeşil alanların nitelik ve nicelik olarak kent halkı tarafından değerlendirilmesi ve bu alanlardan beklenen faydaların ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Bingöl kentinde yaşayanlara (408 kişi) yönelik bir anket uygulanmıştır. Anketle kentin gelişimi, açık ve yeşil alanların nitelik ve nicelik açısından yeterliliği ile bu alanlara yönelik gereksinim, alışkanlık, eğilim, görüş ve isteklerin belirlenmesi temel alınmıştır. Sonuç olarak halkın kentteki açık ve yeşil alanları yetersiz bulduğu, bu alanlara yeterli önemin verilmediği ve kentsel açık ve yeşil alanların artırılmasına yönelik taleplerinin olduğu ortaya konulmuş, sorunlara yönelik bazı öneriler geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın ana materyalini Bingöl kent merkezi ve burada yaşayan halk oluşturmaktadır. Diğer materyaller ise çalışma kapsamında uygulanan anket formu ve anketlerin istatistiksel analizinde kullanılan IBM Statistics SPSS Version 20.0 yazılımı ile Microsoft Office programlarıdır.

Doğu Anadolu Bölgesinin Yukarı Fırat Bölümünde yer alan Bingöl'ün denizden yüksekliği 1.151 m'dir. Karasal iklimin yaşandığı kentte ortalama (1961-2023 yılları) sıcaklığın en düşük olduğu aylar Aralık (-2.7 °C), Ocak (-5.8 °C), Şubat (-4.9 °C); en yüksek olduğu aylar, Temmuz (34.6 °C), Ağustos (34.8 °C) ve Eylül (29.8 °C)'dür (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024). %15'i ormanlarla, %70'i ise çayır ve meralarla kaplı olan kentin çevresindeki ormanlarda hakim ağaç türü meşe (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*)'dır (Atalay, 1983; Yaltırık, 1993; Mansuroğlu ve Dağ, 2016; TÜBİTES, 2024). Kentin 2023 yılı nüfusu 172 007 kişidir (TÜİK, 2024). Bu nüfusun %77.07'si (132 563 kişi) kent merkezinde, %22.93'ü (39 444 kişi) merkeze bağlı köylerde yaşamaktadır.

Araştırma arazi ve ofis olmak üzere iki yönlü ve dört aşamada yürütülmüştür (Şekil 1). İlk aşamada çalışma alanı ve konusuna yönelik veriler, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası literatür yanında Bingöl Belediyesi ve kurumların hazırlamış olduğu plan, proje ve raporlardan elde edilmiştir. Ayrıca farklı dönemlerde kent merkezinde gözlem, inceleme ve sözlü görüşmeler yapılmıştır.

Araştırmanın ikinci aşamasında Bingöl kent merkezinde yaşayan halk ile kentin gelişimi, açık ve yeşil alanların nitelik ve nicelik açısından yeterliliği ile bu alanlara yönelik gereksinim, alışkanlık, eğilim, görüş ve istekleri temelinde bir anket çalışması yapılmıştır. Anket, sosyo-ekonomik durum (13 ifade) ile açık ve yeşil alanların nitelik ve nicelik açısından yeterliliğinin değerlendirilmesini içeren (20 ifade) iki bölümden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan ifade tipleri; tek seçenekli, çok seçenekli kapalı uçlu, açık uçlu ve katılım düzeyi (5'li likert: Kesinlikle Katılmıyorum, Katılmıyorum, Kararsızım, Katılıyorum, Kesinlikle Katılıyorum) şeklindedir. Anket çalışması örnekleme büyüklüğünün saptanması, sorgulama yönteminin seçimi, anketin hazırlanması, anketin ön testten geçirilmesi ve hataların düzeltilmesi ile anketin uygulanması ve değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 1. Çalışma yöntemi akış şeması.

Anket çalışması örneklem büyüklüğü ilgili evren büyüklükleri dikkate alınarak, Baş (2003) tarafından önerilen, aşağıda formüle edilen, eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında anket çalışmasının başladığı 2023 yılı nüfus verileri dikkate alınmıştır. Bingöl kent merkezinin kentsel bölümünü (132 563 kişi) temsil eden örneklem büyüklükleri %5 (%95 güven aralığı) ve %10 (%90 güven aralığı) hata paylarına göre hesaplanmış, çalışmanın amacına uygun olarak %95 güven aralığında belirlenmiştir (Çizelge 1).

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + t^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

N=Evren büyüklüğü

n=Örnekleme alınacak birey sayısı

p=İncelenen olayın görülüş sıklığı

q=İncelenen olayın görülmemesi sıklığı ($q=1-p$)

d= Olayın görülüş sıklığına göre yapılmak istenen sapma olarak simgelenmiştir.

t= Belirli serbestlik derecesinde ve saptanan yanılma düzeyinde t tablosunda bulunan teorik değer (%95 güven aralığı için $t=1.96$; %99 güven aralığı için ise 2.59'dur)

Çizelge 1. Çalışma alanı örneklem büyüklüklerinin dağılımı

		Bingöl Kent Merkezi (132 563 kişi)	
Evren Büyüklüğü (N)			
Hata Payı		%5	%10
Güven Aralığı	%95	384	96
	%99	661	166

Oluşturulan ön anketler, rastlantısal olarak bireylere (30 birey) kişisel görüşme yöntemi ile uygulanmış, anketin işlerliği test edildikten sonra uygulama düzeyine yükseltilmiştir. Örneklem hesaplamasına göre kent merkezinde 384 kişi ile anket yapılması ilgili evreni temsil etmek için yeterlidir. Ancak anketin güvenilirliğini arttırmak amacıyla yüz yüze görüşme yöntemiyle, rastgele seçilen bireylere uygulanan ve değerlendirmeye uygun görülen 408 adet anket ile çalışma tamamlanmıştır. Mahalle ölçeğinde dağılımlar ise rastlantısal olarak yapılmıştır. Anket uygulaması, Akdeniz Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu (08.11.2023 tarih ve 16 sayılı) onayı ile gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü aşamada, anket formlarından elde edilen veriler kodlanarak bilgisayar ortamına aktarılmış, sonuçları IBM Statistics SPSS Version 20.0 yazılımı aracılığıyla değerlendirilmiştir. Katılımcıların sosyo-ekonomik özelliklerini, anket ölçeklerine katılım düzeylerini ve sıklıklarını belirlemek amacıyla frekans analizi yapılmıştır. İki veya daha fazla değişken için kullanılacak karşılaştırma testlerinin belirlenmesi amacıyla “Kolmogorov-Smirnov” ve “Shapiro-Wilk Testi” ile normallik sınaması yapılmıştır. Analiz sonucunda verilerin normal dağılım göstermediği ($Statistics=0,096$; $p<0,001$) anlaşıldığından, veri analizlerinde değişkenlerin karşılaştırılmasını sağlayan çapraz çizelgelerde parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Bireylerin cinsiyeti, medeni durumu, yaşı, gelir ve eğitim düzeyi gibi temel değişkenler sınıflama ya da sıralama düzeyinde değişken olduklarından, bunlar arasındaki ilişkilerin araştırılmasında Mann-Whitney U ($\bar{X}$) ve Kruskal-Wallis H (χ^2) testleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Araştırmanın son aşamasında kentin özellikleri ve kullanıcı görüşlerinin değerlendirilmesine bağlı olarak kentteki açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliklerinin geliştirilmesi için bazı öneriler sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ankete katılanların sosyo-demografik özellikleri

Araştırmaya katılanların %30.6'sı kadın, %69.4'ü ise erkektir. Katılımcıların yaş ortalaması 32.7 olup, ankete katılan en genç birey 16 yaşında (4 kişi), en yaşlı birey ise 70 yaşındadır (1 kişi). Halkın büyük bölümü (%43.9) 25 yıl ve üzeri süre ile Bingöl kentinde yaşamakta olup, evlilerin oranı %46.6, bekarların oranı ise %53.5'tir. Katılımcıların eğitimleri çoğunlukla üniversite (%42.4), lise (%28.4), lisansüstü (%11.8) düzeyindedir. Lisansüstü eğitime sahip olanların %89.58'i yüksek lisans (43 kişi), %10.41'i ise doktora (5 kişi) mezundur. Anket verilerinin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için (boş hücre sayısının minimize edilmesi amacıyla) bu iki grup lisansüstü mezunlar olarak değerlendirmeye alınmıştır. Ankete katılanların %33.3'ü memur iken, %25.0'ı öğrenci ve %14.7'si serbest meslek çalışanı veya işçidir. Yaptıkları işe paralel olarak katılımcıların çoğunluğu orta düzeyde gelire sahiptir (Çizelge 2). Ankete katılanların yaş ortalaması, kentte yaşama süresi, eğitim, gelir ve iş durumu dikkate alındığında katılımcıların kentin açık ve yeşil alanları konusunda bilgi sahibi oldukları anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Katılımcıların sosyo-demografik özellikleri

		n	Oran (%)			n	Oran (%)
Cinsiyet (N=408)	Kadın	125	30.6	Medeni Durum (N=408)	Evli	190	46.6
	Erkek	283	69.4		Bekar	218	53.5
Gelir (₺) (N=408)	<5.000	81	19.9	Eğitim Düzeyi (N=408)	İlkokul	18	4.4
	5.001-7.500	95	23.3		Ortaokul	21	5.1
	7.501-10.000	63	15.4		Lise	116	28.4
	10.001-15.000	99	24.3		Yüksekokul	32	7.8
	15.001-20.000	33	8.1		Üniversite	173	42.4
	>20.001	37	9.1		Lisansüstü	48	11.8
Yaş (N=408)	16-24 yaş	111	27.2	İş (N=408)	S. Meslek/İşçi	60	14.7
	25-34 yaş	136	33.3		Memur	136	33.3
	35-44 yaş	101	24.8		İşsiz	18	4.4
	45-54 yaş	39	9.6		Esnaf	13	3.2
	>55 yaş	21	5.1		Öğrenci	102	25.0
Bingöl'de Yaşama Süresi (N=408)	1-4 yıl	35	8.6		Emekli	12	2.9
	5-17 yıl	77	18.9		Özel Sektör	46	11.3
	18-24 yıl	177	28.7		Ev Hanımı	21	5.1
	>25 yıl	179	43.9				

Çalışmanın yapıldığı dönemde 1 \$ = 17,87 ₺

3.2. Açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliğine yönelik görüşlerin değerlendirilmesi

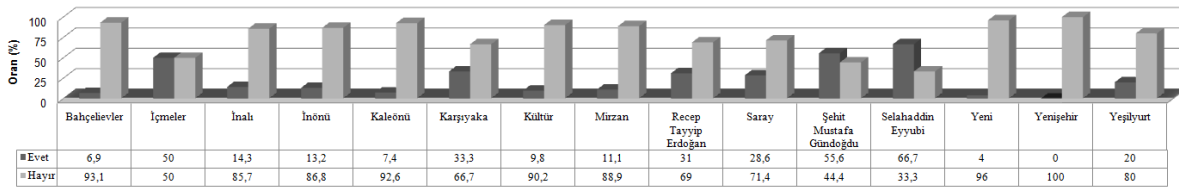
Katılımcıların Bingöl kentindeki açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliği ile ilgili ifadelerle katılım düzeyleri Çizelge 3'de sunulmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde ifadelere verilen kararsızım yanıt oranlarının düşük olması katılımcıların kent ve kentteki yeşil alanlar hakkında değerlendirme yapabilme özelliklerinin olduğunu göstermektedir. Ek olarak temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır (%69.6 kesinlikle katılıyorum, %11.5 katılıyorum, %1.0 kararsızım, %6.4 katılmıyorum, %11.5 kesinlikle katılmıyorum), meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır (%70.1 kesinlikle katılıyorum, %12.7 katılıyorum, %0.5 kararsızım, %6.6 katılmıyorum, %10.0 kesinlikle katılmıyorum) gibi birbiri ile ilişkili ifadelere verilen yanıtlardaki tutarlılık da durumu destekler niteliktedir (Çizelge 3). Ayrıca park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum ifadesine katılımcıların %56.1 oranında kesinlikle katılmıyorum şeklindeki yanıtları kentte yapılan diğer çalışmalarla (Vural, 2020b) karşılaştırıldığında yeşil alanların yetersiz (%58.8) olduğu konusunda benzer sonuçlara ulaşıldığını göstermektedir. Çizelge 3'te kentteki yeşil alanların nicelik ve nitelik açısından değerlendirilmesi ile ilgili ifadelerde halkın görüşüne göre bu alanların nitelik ve nicelik açısından yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Vural (2020a) ise Bingöl kent merkezinde halkın sadece %19,6'sının mevcut parkları nitelik ve nicelik bakımından yeterli bulduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 3. Açık ve yeşil alanların nicelik ve niteliğine yönelik ifadelere katılım düzeyi (%)

İFADELER	(1)*	(2)	(3)	(4)	(5)	Std D	Mean
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	56.1	32.4	4.2	5.9	1.5	0.919	1.64
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	57.4	32.6	2.7	6.1	1.2	0.898	1.61
Spor alanlarını yeterli görüyorum	60.8	30.9	2.9	4.4	1.0	0.831	1.53
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	11.5	6.4	1.0	11.5	69.6	1.398	4.21
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	10.0	6.6	0.5	12.7	70.1	1.345	4.26
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	55.1	26.2	7.4	8.3	2.9	1.084	1.77
Bu tür alanlara önem verilmiyor	7.4	10.0	4.7	24.5	53.4	1.282	4.06
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	8.1	8.1	5.1	32.6	46.1	1.252	4.00
Gölgelekler yok/yetersiz	6.6	8.3	3.7	31.9	49.5	1.206	4.09
Oturma yerleri yeterli değil	6.4	6.6	3.2	31.6	52.2	1.169	4.16
Heykel vb. objeler yetersiz	25.2	10.3	7.4	20.1	37.0	1.640	3.33
Gürültülü	11.8	15.2	10.0	28.2	34.8	1.397	3.59
Çay bahçesi yok	33.6	17.9	11.8	18.9	17.9	1.529	2.69
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	44.1	21.3	11.8	9.6	13.2	1.437	2.26
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	7.4	6.9	6.4	19.6	59.8	1.253	4.17
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	7.1	6.4	4.9	21.6	60.0	1.226	4.21
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	6.9	5.9	4.7	22.1	60.5	1.205	4.23

* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum

Araştırmaya katılan bireylerden yaşadıkları semtin park ve dinlenme alanlarının yeterliliğini değerlendirmeleri istenmiştir. Katılımcıların %82.1'i oturduğu semtteki park ve dinlenme alanlarının yetersiz, %17.8'i bu alanların yeterli olduğunu ifade etmiştir. Mahalleler bazında dağılım dikkate alındığında Selahaddin Eyyubi Mahallesi (%66.7) ve Şehit Mustafa Gündoğdu Mahallesi (%55.6)'nde yaşayan bireyler bu mahallelerdeki park ve dinlenme alanlarını yeterli bulurken, Yenişehir Mahallesi (%100.0), Yeni Mahalle (%96.0) ve Kaleönü Mahallesi (%92.6) yaşayanlar çok yetersiz bulmuşlardır (Şekil 2). Vural (2020a)'nın yapmış olduğu çalışmaya göre, Selahattin Eyyubi Mahallesi'nde bulunan kentin en büyük parkı (410 882 m²) olan Kent Parkı'nın bireylerin belli oranda gereksinimini karşıladığı anlaşılmaktadır. Aynı çalışmada Şehit Mustafa Gündoğdu Mahallesi'nde bulunan toplam 5 574 m² alana sahip parklar (4 200 m² Sebze Hali Parkı, 1 374 m² Uzunsavat Parkı) kent halkı tarafından kısmen yeterli görülmektedir. Yenişehir Mahallesi'nde hiç park olmadığı göz önünde bulundurulduğunda, katılımcıların tamamının (%100.0) olumsuz görüş bildirmesinin nedeni anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Yeni Mahalle'de sadece Üçgen Park'ın (4 300 m²) varlığı katılımcılar tarafından yetersiz (%96.0) görülmektedir.



$$(\chi^2=54.719; p<0.001)$$

Şekil 2. Mahallelere göre açık ve yeşil alanların yeterlilik durumu.

Ankete katılanların %37.7'si yeşil alanların düzenlenmesi (konut/site bahçesi düzenlemeleri) için bütçe ayırdığını belirtmiştir. Katılımcılar bu alanların artırılması durumunda ek katkı verebileceklerini de ifade etmişlerdir. Bingöl kentinde çocuk oyun alanlarının yetersiz olduğunu (%87.3) belirten katılımcılar bu alanların artırılması gerektiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Çocukların çoğunlukla cadde ve sokaklarda (%54.4) oynadığını belirten bireyler bu alanların güvenli olmadığını da ifade etmişlerdir. Çocukların evde ve balkonda (%13.5), boş aralarda (%14.5) ve çocuk oyun alanlarında (%17.6) oynadığını bildiren katılımcılar da bulunmaktadır.

3.3. Açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliğinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Ülkemizde kadınların güvenli buldukları açık ve yeşil alanlarda, sosyalleşme amacıyla daha fazla zaman geçirdiği söylenebilir. Bu alanların kolay erişilebilir olması özellikle ev hanımlarının çocukları ile birlikte zaman geçirmelerini etkileyebilmektedir. Ayrıca açık ve yeşil alanların değerlendirilmesinde estetik unsurların kadınlar tarafından daha fazla irdelendiği görülmektedir. Araştırmaya katılanların cinsiyete göre ifadelerine vermiş oldukları yanıtların istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 4'de sunulmuştur. İfadelerine verilen yanıtlar incelendiğinde Bingöl kentinde heykel vb. objeler yetersiz ifadesine kadın ($\bar{X}=3.72$) ve erkeklerin ($\bar{X}=3.15$) vermiş oldukları yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı ($U=14602$; $p=0.003$) farklılıklar görülmektedir (Çizelge 4). Benzer şekilde Vural ve Çelik (2021), Bingöl halkı ile yaptıkları çalışmada halkın kentteki yeşil alanları estetik bulmadığını tespit etmişlerdir. Vural (2020b), Bingöl kent genelinde 598 kişi ile yapmış olduğu çalışmada kentin estetik olmadığı (%64.2) mimari yapıların birbiri ve çevresi ile uyumlu olmadığı (%69.2) sonucuna ulaşmıştır. Vural (2020a) ise bitkisel düzenlemelerin (gölgeleme, perdeleme, görsel peyzaj etkisi, vb.) yetersiz (%35.5) ve çok yetersiz (%26.8) olduğunu belirtmiştir.

Medeni duruma göre verilen yanıtlarda çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum ifadesine evli ($\bar{X}=1.50$) ve bekarların ($\bar{X}=1.70$) yanıtlarında anlamlı farklılıklar görülmektedir. Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır ifadesine evlilerin ($\bar{X}=4.49$) katılım düzeyi bekarlardan ($\bar{X}=3.96$) daha fazladır ($p=0.001$). Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır ifadesine en yüksek düzeyde katılım sağlanmışken, yanıtlar da istatistiksel olarak anlamlıdır ($U=17256$; $p<0.001$). Evli ve bekar katılımcıların kentteki çocuk oyun alanlarına ilişkin görüşlerinde de istatistiksel anlamlı farklılıklar dikkat çekmektedir (Çizelge 5). Vural (2020a), Bingöl kent parklarında her yaş grubu çocuk için oyun alanlarının yeterliliğini sorguladığı çalışmada elde

ettiği bulgular doğrultusunda çocuk oyun alanlarının yetersiz (%34.8) ve çok yetersiz (%32.8) olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çizelge 4. Cinsiyete göre açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	Kadın	Erkek	Z	Mann-W. U	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.71	1.61	0.675	17092.0	0.500
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.63	1.60	0.387	17313.5	0.669
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.54	1.53	0.346	17359.5	0.729
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.23	4.20	0.103	17596.0	0.918
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.32	4.23	0.397	17335.5	0.691
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.89	1.72	1.168	16530.5	0.243
Bu tür alanlara önem verilmiyor	4.22	3.99	1.474	16212.0	0.141
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	4.12	3.95	1.201	16460.0	0.230
Gölgelekler yok/yetersiz	4.23	4.03	1.677	15994.5	0.094
Oturma yerleri yeterli değil	4.31	4.10	1.161	16529.0	0.246
Heykel vb. objeler yetersiz	3.72	3.15	2.924	14602.0	0.003
Gürültülü	3.61	3.57	0.104	17577.0	0.917
Çay bahçesi yok	2.80	2.65	0.818	16815.5	0.413
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.16	2.31	0.857	16795.0	0.391
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	4.16	4.18	0.230	17464.5	0.818
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	4.25	4.19	0.035	17653.5	0.972
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	4.29	4.20	0.267	17431.0	0.790
* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum					

Çizelge 5. Medeni duruma göre açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	Evli	Bekar	Z	Mann-Whitney U	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.60	1.67	1.675	18942.0	0.094
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.50	1.70	2.675	17909.0	0.007
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.54	1.53	0.571	20124.0	0.568
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.49	3.96	3.346	17481.5	0.001
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.55	4.00	3.600	17256.0	<0.001
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.77	1.77	1.495	19108.0	0.135
Bu tür alanlara önem verilmiyor	4.20	3.94	1.553	19027.5	0.120
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	4.17	3.85	1.312	19258.5	0.189
Gölgelekler yok/yetersiz	4.27	3.93	1.777	18769.0	0.076
Oturma yerleri yeterli değil	4.33	4.02	1.937	18619.0	0.053
Heykel vb. objeler yetersiz	3.10	3.53	2.582	17761.5	0.010
Gürültülü	3.60	3.58	0.292	20376.0	0.771
Çay bahçesi yok	2.65	2.73	0.360	20294.5	0.719
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.33	2.20	0.934	19657.0	0.350
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	4.40	3.98	3.362	17187.0	0.001
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	4.40	4.04	2.879	17703.0	0.004
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	4.39	4.09	2.450	18161.0	0.014
* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum					

Her yaş grubu için kentsel açık ve yeşil alanlar önemli, çocuklar ve yaşlılar için daha anlamlıdır. Açık ve yeşil alanlar çocukların oyun, keşfetme ve doğayla etkileşimde bulunması; yaşlıların ise doğayla iç içe olma, sosyalleşme, dinlenme ve egzersiz yapması açısından fırsat yaratmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarda da yaş grupları (Çizelge 6)'na göre kentteki açık ve yeşil alanlara yeteri kadar önem verilmediği anlaşılmaktadır ($\chi^2=13.374$; $p=0.010$). Yeşil alanlarda çay bahçesi yok ifadesine katılımcıların katılım düzeyleri düşüktür ($\chi^2=14.115$; $p=0.07$).

Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor ifadesine 55 yaş ve üzeri katılımcıların katılım düzeyinin daha yüksek ve yanıtların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($\chi^2=13.009$; $p=0.011$) (Çizelge 6). Bu yaş grubunun çoğunlukla emeklilerden oluştuğu göz önünde bulundurulduğunda katılımcıların günümüz ekonomik koşullarında yeşil alanlardaki çay bahçelerinin varlığından rahatsız olması anlamlı gelmektedir. Vural (2020a)'da Bingöl kent halkı ile yapmış olduğu çalışmada kent parklarında ücretli dinlenme, yeme-içme alanları, kafe ve çay bahçelerinin orta (%30.9), ücretsiz oturma alanları-oturma bankalarının da orta (%34.5) seviyede olduğunu tespit etmiştir.

Çizelge 6'ya göre tüm yaş gruplarından katılımcıların çocuk oyun alanları ile ilgili ifadelere vermiş oldukları yanıtlardan anlaşıldığı üzere kentteki çocuk oyun alanları yetersiz olup, bu alanlara yeteri kadar önem verilmemektedir. Vural (2020b), Bingöl halkının %80.9'unun kentteki çocuk oyun alanlarını yetersiz bulduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada mahalle ölçeğinde de çocuk oyun alanlarının yetersizliği en önemli ikinci öncelikli sorun olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 6. Yaş gruplarına göre açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	16-24 yaş	25-34 yaş	35-44 yaş	45-54 yaş	>55 yaş	Kruskal- Wallis H	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.64	1.78	1.61	1.20	1.61	15.568	0.004
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.79	1.66	1.52	1.17	1.52	18.271	0.001
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.56	1.53	1.55	1.43	1.52	3.211	0.523
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.08	4.12	4.25	4.38	4.95	9.543	0.049
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.19	4.08	4.35	4.48	4.85	8.075	0.089
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.72	1.82	1.83	1.64	1.71	4.872	0.301
Bu tür alanlara önem verilmiyor	4.00	3.86	4.10	4.58	4.47	13.374	0.010
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	3.88	3.88	4.15	4.33	4.09	4.241	0.374
Gölgelekler yok/yetersiz	3.98	3.99	4.27	4.28	4.09	3.536	0.472
Oturma yerleri yeterli değil	4.08	4.08	4.27	4.46	4.09	4.340	0.362
Heykel vb. objeler yetersiz	3.71	3.45	3.19	2.64	2.47	17.565	0.002
Gürültülü	3.64	3.47	3.64	3.79	3.38	3.887	0.422
Çay bahçesi yok	2.71	2.81	2.76	2.71	1.47	14.115	0.007
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.13	2.08	2.42	2.25	3.33	13.009	0.011
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	4.02	3.98	4.34	4.56	4.66	13.832	0.008
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	4.06	4.09	4.30	4.56	4.61	9.854	0.043
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	4.16	4.10	4.28	4.58	4.57	7.889	0.096
* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum							

Bingöl'de yaşama sürelerine bağlı verilen yanıtlara göre (Çizelge 7) park ve dinlenme yerlerinde çay bahçesi yok ifadesine verilen yanıtlar istatistiksel olarak anlamlıdır ($\chi^2=8.404$; $p=0.038$). Bu ifadeye katılımcıların çoğunlukla katılmıyorum seviyesinde yanıt verdikleri görülmektedir. Yaşam süresi bireylerin çevresiyle kurduğu ilişkiyi güçlü kılmakta, değerlendirme yetisini artırmaktadır. Böylece elde edilen veriler planlama ve tasarım çalışmalarında kullanılabilir olmaktadır.

Çizelge 7. Kentte yaşam süresine göre kentteki açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	1-4 yıl	5-17 yıl	18-24 yıl	>25 yıl	Kruskal- Wallis H	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.94	1.72	1.64	1.54	5.179	0.159
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.80	1.68	1.71	1.47	7.163	0.067
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.68	1.44	1.57	1.53	0.750	0.861
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.42	4.27	4.08	4.22	3.395	0.335
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.34	4.36	4.13	4.28	2.997	0.392
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.77	1.81	1.72	1.79	1.021	0.796
Bu tür alanlara önem verilmiyor	4.02	4.22	4.05	4.01	0.338	0.953
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	3.77	4.14	3.95	4.02	2.134	0.545
Gölgelekler yok/yetersiz	4.05	4.29	4.01	4.06	2.752	0.431
Oturma yerleri yeterli değil	4.05	4.27	4.14	4.15	1.970	0.579
Heykel vb. objeler yetersiz	3.05	3.15	3.66	3.24	7.571	0.056
Gürültülü	3.48	3.70	3.66	3.51	1.369	0.713
Çay bahçesi yok	2.00	2.76	2.83	2.70	8.404	0.038
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.25	2.44	2.25	2.19	2.451	0.484
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	4.05	4.25	4.10	4.21	1.860	0.602
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	3.97	4.25	4.17	4.26	3.048	0.384
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	4.00	4.35	4.26	4.21	2.496	0.476
* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum						

Eğitim seviyesi yüksek bireyler genellikle daha sağlıklı yaşam tarzları benimsediklerinden, açık hava etkinliklerine daha fazla zaman ayırmaktadır. Bu alanları daha fazla kullanmalarının yanı sıra çevre konusundaki bilinç düzeyleri bu alanların korunması konusunda da etkin rol oynamaktadır.

Söz konusu nedenlerden dolayı eğitim durumu kentsel açık ve yeşil alanların kullanımı üzerinde etkili olabilse de bu durum bireyden bireye değişiklik gösterebilir. Bingöl’de eğitim durumuna göre temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır (ilkokul $\bar{X}=4.66$; ortaokul $\bar{X}=4.66$; $p=0.029$) ifadesi ile meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır (ilkokul $\bar{X}=4.61$; ortaokul $\bar{X}=4.61$; $p=0.020$) ifadesine ilkökul ve ortaokul mezunu katılımcıların katılım düzeyleri daha yüksektir (Çizelge 8). Vural (2020b), çalışmasında benzer sonuca ulaşmış olup, ortaokul mezunlarının kentte hava kirliliğini önemli bir sorun olarak gördüğünü ifade etmiştir. Çocuk oyun alanlarının uygunluğu ile ilgili verilen yanıtlarda istatistiksel olarak anlamlı iken, bu ifadeler de eğitim seviyesi düşük bireylerin katılım düzeyi daha yüksektir (Çizelge 8). Vural (2020b) ise çocuk oyun alanı yetersizliği ve gençler için spor olanaklarının yetersizliği ile ilgili puanlamada gruplar (değişkenler) arasında homojen bir dağılım söz konusu olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 8. Eğitim durumuna göre açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	İlk okul*	Orta okul	Lise	Y.okul	Üniversite	Lisans üstü	Kruskal-Wallis H	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.61	1.33	1.59	1.96	1.64	1.66	4.620	0.464
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.55	1.38	1.56	2.00	1.61	1.56	5.402	0.369
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.61	1.61	1.51	1.75	1.52	1.43	4.437	0.488
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.66	4.66	4.39	4.37	3.94	4.25	12.438	0.029
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.61	4.61	4.56	4.31	3.96	4.29	13.350	0.020
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.66	1.57	1.65	2.18	1.84	1.68	7.638	0.177
Bu tür alanlara önem verilmiyor	4.50	4.57	4.19	4.00	3.94	3.83	10.300	0.067
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	4.27	4.42	3.99	3.84	3.98	3.91	2.884	0.718
Gölgelekler yok/yetersiz	4.16	4.38	4.06	4.12	4.06	4.08	2.596	0.762
Oturma yerleri yeterli değil	4.33	4.52	4.12	4.00	4.17	4.12	4.522	0.477
Heykel vb. objeler yetersiz	2.50	3.14	3.47	3.03	3.41	3.31	6.694	0.244
Gürültülü	2.88	3.90	3.59	3.62	3.67	3.39	7.418	0.185
Çay bahçesi yok	1.61	2.04	2.43	2.71	2.98	2.93	25.010	<0.001
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.88	2.19	2.26	1.84	2.33	2.08	6.113	0.295
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	4.83	4.66	4.31	3.87	4.10	3.83	16.047	0.007
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	4.77	4.66	4.33	3.93	4.12	4.00	14.266	0.014
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	4.72	4.71	4.34	4.00	4.17	3.95	12.100	0.033

* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum

Kentsel açık ve yeşil alanlar genellikle orta ve düşük gelire sahip gruplar için ayrı bir öneme sahiptir. Maddi açıdan daha sınırlı olanaklara sahip olan bu gelir grubu, kamusal niteliğe sahip açık ve yeşil alanlarda ücretsiz olarak zaman geçirme, dinlenme, spor yapma gibi aktivitelere katılabilmektedir. Sosyal açıdan bakıldığında kentsel açık ve yeşil alanların sosyal adalet ve eşitlik açısından denge sağlamada önemi üzerinde durulması gereken bir konudur. Araştırmaya katılanlardan orta gelire sahip (7 501-10 000 ₺) olanlar kentteki açık ve yeşil alanları estetik (bitkilendirme yeterli ve güzel değil $\bar{X}=4.38$; $p=0.032$) ve fonksiyonel (gölgelekler yok/yetersiz $\bar{X}=4.46$; $p=0.006$; oturma yerleri yeterli değil $\bar{X}=4.58$; $p=0.001$) açıdan diğer gruplara göre daha yetersiz görürken, bu ifadeler verilen yanıtlarda istatistiksel olarak anlamlıdır (Çizelge 9). Vural (2020b) dar gelirliilerin kent estetiği konusunda en yüksek düzeyde olumsuz görüş bildirdiklerini belirtmiştir. Bu çalışmada orta düzey gelir grubuna sahip bireylerin çocuk oyun alanları ile ilgili ifadeler vermiş oldukları yanıtların düzeyleri de diğer gruplara göre daha yüksek, sonuçlar ise istatistiksel olarak anlamlıdır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Gelir düzeyine göre açık ve yeşil alanların niceliğinin değerlendirilmesi

İFADELER	<5 000 ₺	5 001- 7 500	7 501- 10 000	10 001- 15 000	15 001- 20 000	> 20 001 ₺	Kruskal- Wallis H	p
Park ve dinlenme yerlerinin yeterli olduğunu düşünüyorum	1.61	1.57	1.52	1.64	1.75	1.94	5.447	0.364
Çocuk bahçeleri ve oyun alanlarının yeterli olduğunu düşünüyorum	1.71	1.54	1.42	1.60	1.66	1.83	5.664	0.340
Spor alanlarını yeterli görüyorum	1.69	1.45	1.31	1.53	1.66	1.70	8.743	0.120
Temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır	4.29	4.12	4.25	4.23	4.00	4.32	1.111	0.953
Meydanlar ve gezinti/yürüyüş yolları yapılmalıdır	4.28	4.17	4.28	4.31	4.15	4.35	0.972	0.965
Mahalle ya da semt parkları yeterli büyüklüktedir	1.74	1.73	1.66	1.79	1.87	2.00	3.913	0.562
Bu tür alanlara önem verilmiyor	3.98	4.10	4.30	3.93	3.87	4.24	5.726	0.334
Bitkilendirme yeterli ve güzel değil	3.77	3.97	4.38	3.97	3.78	4.18	12.243	0.032
Gölgelikler yok/yetersiz	3.77	3.96	4.46	4.17	4.03	4.32	16.311	0.006
Oturma yerleri yeterli değil	3.86	3.98	4.58	4.24	4.03	4.48	21.004	0.001
Heykel vb. objeler yetersiz	3.08	3.28	3.71	3.36	3.33	3.27	5.051	0.410
Gürültülü	3.38	3.42	3.73	3.68	3.87	3.72	4.113	0.533
Çay bahçesi yok	2.51	2.41	3.03	2.87	2.84	2.62	9.451	0.092
Çay bahçesinin varlığı rahatsız ediyor	2.43	2.04	2.34	2.17	2.21	2.62	4.925	0.425
Çocuk oyun alanları yeterli büyüklükte değil	3.83	4.24	4.66	4.10	3.78	4.45	19.154	0.002
Çocuk oyun elemanları yeterli değil	3.87	4.27	4.66	4.14	3.90	4.45	18.483	0.002
Çocuk oyun alanlarına yeterince önem verilmiyor	3.92	4.24	4.65	4.25	3.84	4.48	15.577	0.008
* 1: Kesinlikle Katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle Katılıyorum								
Çalışmanın yapıldığı dönemde 1 \$ = 17,87 ₺								

4. Sonuç

Kentlerde her dönem gereksinim duyulan açık ve yeşil alanlar, günümüzde nüfus yoğunluğuna bağlı yapılaşma ile çevre ve sağlık sorunlarının artmasına bağlı olarak bu gereksinime farklı bir boyut kazandırmıştır. Geçmiş dönemlerde kentlere estetik katkı sağlayan bu alanlar günümüzde kent sağlığı ve çevre sorunlarını önleme özellikleri ile dikkat çekmektedir. Kentlerimizdeki nüfus artışına paralel olarak kent yaşamına olumlu etkileri olan mekanların başında gelen açık ve yeşil alanların nitelik ve niceliğinde sorunlar yaşanmakta, ayrıca açık ve yeşil alanların yetersiz planlanması ile birbirine benzer şekilde tasarlanması tekdüze kentler yaratmaktadır. Son yıllarda iklim değişikliğine bağlı çevre sorunları, salgın hastalıklar ve deprem başta olmak üzere yaşanan doğal afetlerden kaynaklanabilecek sorunları engelleme ya da azaltma konusunda açık ve yeşil alanların değeri ve önemi toplum tarafından anlaşılmaya, ek olarak kentlerin ekolojik, kültürel ve sosyo-ekonomik özellikler temelinde şekillenen açık ve yeşil alanların kentlere özgün kimlikler kazandırmada etkisi dikkat çekmeye başlamıştır.

Son yıllarda kentlerimizde sürdürülen kentsel dönüşüm çalışmaları göçe bağlı sosyal sorunların giderilmesi kadar kentlerdeki yeşil alanların yeniden planlanması ve tasarlanması açısından bir fırsat yaratacaktır. Bu bağlamda ilgi gruplarının konuya yönelik yaklaşımlarının belirlenmesi ve elde edilen verilerin yerel yönetimler, plancılar ve tasarımcılar tarafından kullanılması önem taşımaktadır.

Bingöl kentinde yaşayanlar tarafından açık ve yeşil alanların nitelik ve nicelik açısından değerlendirildiği çalışmada, halkın kentteki yeşil alanları yetersiz gördüğü anlaşılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler ve halkın görüşleri kentteki bazı mahallelerde (Yeni, Yenişehir) hiç açık ve yeşil alan olmadığını, bazı mahallelerde (Bahçelievler, Kültür, Kaleönü ve Mirzan) ise sayısal ve oransal anlamda az olan bu alanların niteliğinin yetersiz bulunduğu anlaşılmaktadır. Kentin genelinde çocuk oyun alanları yetersiz olup, bu alanlara gereken önemin verilmediği vurgulanmıştır. Ek olarak kentteki açık ve yeşil alanların birbiri ile ilişki ve bağlantısının olmaması dikkat çekmektedir. Ankete katılanların “temiz, güzel ve yeşil bir çevreye gereksinim duyulmaktadır” ifadesine katılım düzeylerinin yüksek olması ve kentte meydanlar ve gezinti/yürüyüş yollarının yapılması gerekliliği yönündeki talepleri kentin ihtiyacı olan yeşil altyapı sisteminin kurulamadığının göstergesidir.

Yeşil altyapının kullanımı temel olarak kentin büyüklüğü, ne kadar hızlı büyüdüğü, ekonomik durumu ve kentsel yenilemede açık ve yeşil alan yaklaşımını destekleyecek fırsatlar gibi kentin içinde bulunduğu koşullara dayanmaktadır. Ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalı olan Bingöl’ün kentsel nüfusunun yüksek (%77,07) olduğu görülmektedir. Bu durum kentte yeni konut alanlarına olan ihtiyacı arttırırken, açık ve yeşil alan miktarının azalmasına yol açmıştır. Örneğin, şehir merkezinde

yer alan İnönü Mahallesinde Karayolları 84. Şube Şefliği alanını da kapsayan kentsel dönüşüm projesi ile bölgedeki açık ve yeşil alan miktarı ciddi oranda azaltılmıştır. Benzer şekilde çoğunlukla tek ve üç katlı bahçeli konut alanlarının yoğun olduğu Kültür Mahallesinde yapılan kentsel dönüşüm projesinde de mahallenin dokusunun değiştiği dikkat çekmektedir. Bu ve benzeri projeler kentteki açık ve yeşil alan miktarının azalmasına neden olurken, kent kimliğinin de olumsuz etkilenmesine yol açmıştır. Ayrıca bu projeler kentteki yeşil alanlar arasındaki bağlantıyı da kaldırmıştır. Örneğin kentteki bu proje sahaları Kültür Parkı ile karayolları sahası ve askeri alanın bir bölümünün bütün olarak kentsel yeşil altyapı sistemi içerisindeki bütünlüğünü ortadan kaldırmış durumdadır. Oysa kentsel dönüşüm çalışmalarının kentlerdeki planlama ve tasarım hatalarının düzeltilmesi açısından bir fırsat olarak değerlendirilmesi ve bu anlayışla yönlendirilmesi gereklidir. Kentsel dönüşüm sürecinde rantla bağlı yaklaşımlarla hareket edilmesinin WHO (2017) tarafından tanımlanan kentsel açık ve yeşil alanların kent sakinlerinin doğayla iç içe olabileceği fırsatlar sunması, kentsel biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülmesine katkı sağlaması, hava veya gürültü kirliliği gibi çevresel tehlikelerin azaltılması, aşırı hava olaylarının (sıcak hava dalgaları, aşırı yağışlar veya sel) etkilerinin azaltılması, kentsel yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, kent sakinlerinin sağlığı ve refahını iyileştirmede rol oynaması gibi işlevleri yerine getirememesine yol açacağı unutulmamalıdır.

Kentlerde açık ve yeşil alan gereksinimlerinin yerel ölçekte belirlenmesinde içerisinde kent yönetimi ve halkın bulunduğu demokratik bir yaklaşımın kullanılması, konuya çok boyutlu bir yaklaşım getirmesi yanında ileride ortaya çıkabilecek sorunları uygulama öncesinde ortaya koyması açısından önemlidir. Bu yaklaşım sadece halkın görüşlerini almak değil aynı zamanda yerel yönetimlerin içerisinde bulunduğu koşulları ve sorunları halka açıklamak açısından da değerlidir. Ancak planlama ve uygulama öncesinde çeşitli yollarla belirlenen halkın görüş ve isteklerinin uygulama sırasında ve sonrasında devam etmesinin sorunların çözülmesine destek olabileceği üzerinde durulması gereken bir konudur.

Sonuç olarak, yerel yönetimler tarafından düzenli aralıklarla, halkın açık ve yeşil alanlar konusunda görüşleri, anket ve karşılıklı görüşme yöntemleri kullanılarak, planlama ve tasarım çalışmaları başlatılmadan önce belirlenmeli, uygulama sırasında ve sonrasında görüşlerin alınmasına devam edilmelidir. Buna ek olarak gerekli durumlarda konuyla ilgili farklı uzmanların görüşleri doğrultusunda, halkın görüş ve isteklerinin uygulanabilirliği değerlendirilmelidir. Elde edilen veriler kitle iletişim araçları aracılığı ile halka duyurulmalı ve geri dönüş sağlanmalı, gerekli durumlarda meslek odaları ve sivil toplum kuruluşlarının yer aldığı geniş katılımlı toplantılar ile sorunlar ve çözümleri sonuca bağlanmalıdır. Tüm bunlar yapılırken görüşüne başvuru alan kişi ya da kişilerin tarafsız, konuyla ilgili samimi görüşlerini bildirmesi sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde elde edilen verilere göre açık ve yeşil alanların planlama ve tasarım çalışmalarının uygulanmasına halkın maddi ve manevi yönden destek olması sağlanabilir.

Kaynakça

- Atalay, İ. (1983). *Türkiye vejetasyon coğrafyasına giriş* (1. Baskı). Ege Üniversitesi, İzmir.
- Arıbaş, N. N. (2013). Kamuda stratejik planlamanın “katılımcılık” boyutu. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 4(1), 80-100.
- Barton, J., & Pretty, J. (2010). What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis. *Environmental Science & Technology*, 44(10), 3947-3955. <https://doi.org/10.1021/es903183r>
- Baş, T. (2003). *Anket: anket nasıl hazırlanır?: Anket nasıl uygulanır?*. Seçkin yayıncılık.
- Bayraktar, A. (1973). *İzmir şehrinin imarında peyzaj mimarisi ile ilgili problemler ve prensiplerin tespiti*. Yalova Bahçe Kültürleri Araştırma ve Eğitim Merkezi, Yayın No: 33, Birlik Matbaası, Bornova, İzmir.
- Berry, B. J. (2008). Urbanisation. In Marzluff J. M. et al. (eds) *Urban Ecology*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_3
- Dağ, V. (2022). Sürdürülebilir ulaşım da bisiklet yolu ağı oluşturulması için bir yöntem önerisi: Denizli kenti örneği. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- James, P., Tzoulas, K., Adams, M. D., Barber, A., Box, J., Breuste, J., Elmqvist, T., Frith, M., Gordon, C., Greening, K. L., Handley, J., Haworth, S., Kazmierczak, A. E., Johnston, M., Korpela, K., Moretti, M., Niemel, J., Pauleit, S., Roe, M. H., Sadler, J. P., & Ward Thompson, C. (2009).

- Towards an integrated understanding of green space in the European built environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.001>
- Lalli, P. (1995). L'ecologia del pensatore dilettante. Rappresentazioni sociali della natura e dell'ambiente (Ecology of an amateur thinker. Social representations of nature and environment). Clueb, Bologna (in Italian).
- Lerner, W., & Audenhove, V. F. (2012). *The future of urban mobility: Towards networked, multimodal cities in 2050*. International Association of Public Transport (UITP).
- Li, J., Li, J., Shao, L., & Sun, S. (2021). Evaluation of spatial matching between urban green space and population: Dynamics analysis of winter population data in Xi'an. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000685](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000685)
- Lu, S., Wang, Y., & Shao, L. (2023). The change of green space well-being during rapid urbanization: A case study in Jinan, China, 2006-2018. *PLoS ONE*, 18(9), e0289480. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289480>
- Luederitz, C., Brink, E., Gralla, F., Hermelingmeier, V., Meyer, M., Niven, L., Panzer, L., Partelow, S., Rau, A., Sasaki, R., Abson, D. J., Lang, D. J., Wamsler, C., & Von Wehrden, H. (2015). A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research. *Ecosystem Services*, 14, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.001>
- Mansuroğlu, S., & Dağ, V. (2016). Bingöl ilinin peyzaj potansiyelinin kırsal turizm olanakları (SWOT analizi yöntemi kullanılarak) açısından değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 29(1), 9-16.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). Resmi iklim istatistikleri. Erişim tarihi: 17 Mart 2024 <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Mumford, L. (2007). Tarih boyunca kent kökenleri, geçirdiği dönüşümler ve geleceği. İngilizceden çevirenler Gürol Koca & Tamer Tosun (Penguin Books/1991basımından çevrilmiştir). Ayrıntı Yayınları.
- Okraszewska, R., Romanowska, A., Wołek, M., Oskarbski, J., Birr, K. & Jamroz, K. (2018). Integration of a multilevel transport system model into sustainable urban mobility planning. *Sustainability*, 10(2), 479. <https://doi.org/10.3390/su10020479>
- Pamay, B. (1978). *Kentsel peyzaj planlaması*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 2487, O.F. Yayın No:265.
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği. (2017). Resmî Gazete Tarihi: 03.07.2017; Sayısı: 30113 <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23722&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Sanesi, G., & Chiarello, F. (2006). Residents and urban green spaces: The case of Bari. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.12.001>
- Semeraro, T., Pomes, A., Del Giudice, C., Negro, D., & Aretano, R. (2018). Planning ground based utility scale solar energy as green infrastructure to enhance ecosystem services. *Energy Policy*, 117, 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.050>
- Seto, K. C., & Shepherd, J. M. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.012>
- Stessens, P., Canters, F., Huysmans, M., & Khan, A. Z. (2020). Urban green space qualities: An integrated approach towards GIS-based assessment reflecting user perception. *Land Use Policy*, 91, 104319. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104319>
- Turgut, Y. N. (2012). *Çevre politikası ve hukuku* (2. baskı). İmaj Yayınevi, Ankara. ISBN=978-975-8752-71-3
- TÜBİVES. (2024). Türkiye bitkileri veri servisi. Erişim tarihi: 20 Mart 2024. <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=210&name=12>
- TÜİK. (2024). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi. Erişim tarihi: 17 Mart 2024 <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Vural, H., Meral, A., & Doğan, S. (2019). Kentsel gelişim ve yeşil alan planlama sürecinin katılımcı SWOT analizi yöntemi ile değerlendirilmesi: Bingöl Kenti. *İdealkent*, 10(28), 1069-1096. <https://doi.org/10.31198/idealkent.607383>
- Vural, H. (2020a). Bingöl halkının yeşil alan kullanımı ve kent parkları yeterliliklerinin değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 79-90. <https://doi.org/10.24011/barofd.671442>

- Vural, H. (2020b). Bingöl'ün yaşanabilir kent olma yolunda fiziki problemleri ve öncelikleri üzerine bir değerlendirme. *OPUS International Journal of Society Researches*, 15(1), 5006-5031. <https://doi.org/10.26466/opus.672743>
- Vural, H., & Çelik, Ş. (2021). Bingöl kenti yeşil alt yapı performansının “sosyal tasarım yaklaşımı” doğrultusunda değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 78-95.
- Yaltırık, F. (1993). *Dendroloji ders kitabı II Angiospermae* (2. Baskı). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Yavuz, F., Keleş, R., & Geray, C. (1978). *Şehircilik, sorunlar-uygulama ve politika* (gözden geçirilmiş ve genişletilmiş ikinci baskı). Ankara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları No: 415, Ankara Üniversitesi Basımevi.
- WHO. (World Health Organization). (2017). Urban green spaces: a brief for action. Erişim tarihi: 17 Mart 2024. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289052498>
- World Population Review. (2024). Largest Cities by Population 2024. Erişim tarihi: 17 Mart 2024. <https://worldpopulationreview.com/world-cities>



Research Article

Determination of Pesticide Exposures of Some Nozzle Types in Almond Trees Sprayed with Knapsack Sprayer

Ali BOLAT^{*1}, Hasret GÜNEŞ²

¹Adıyaman University, Agriculture Faculty, Field Crops Department, 02040, Adıyaman, Türkiye

²Adıyaman University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, 02040, Adıyaman, Türkiye

Ali BOLAT, ORCID No: 0000-0002-1019-0069, Hasret GÜNEŞ, ORCID No:0000-0003-3155-2695

*Corresponding author e-mail: alibolat@adiyaman.edu.tr

Article Info

Received: 19.08.2024

Accepted: 22.10.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1532365

Keywords

Coverage rate,
Deposition,
Knapsack sprayer,
Pesticide exposure

Abstract: In this study, field trials were conducted using a knapsack sprayer to determine the pesticide exposure of the pesticide application agricultural workers (The operators) in almond tree spraying, and pesticide exposure was determined by the whole-body approach technique. An electric knapsack sprayer with a 20-liter tank capacity was used in the study. The nozzles attached to the spray boom of the knapsack sprayer can be changed in practice. Three spray nozzles were used to measure the operator pesticide exposure. These nozzles are (M1) Air induction nozzle (11002), (M2) Extended range flat fan nozzle (XR 11002), and (M3) Hollow cone nozzle (TXA8002). Each method was applied at two different spray distances (50 and 100 cm), and water-sensitive papers (WSP) were used as a sample surface in all methods. When protective clothing was analyzed, it was found that the whole body could be exposed to pesticides. According to the results, the highest coverage was obtained from standard extended range flat fan nozzle (M2) method with a 23.6 (% coverage) coverage rate and deposition of 3.956 ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Sırt Pülverizatörü ile İlaçlanan Badem Ağaçlarında Bazı Meme Tiplerinin Pestisit Maruziyetlerinin Belirlenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 19.08.2024

Kabul: 22.10.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1532365

Anahtar Kelimeler

Birikim miktarı,
Kaplama oranı,
Pestisit maruziyeti,
Sırt pülverizatörü

Öz: Bu çalışmada, badem ağacı ilaçlamasında pestisit uygulaması yapan tarım işçilerinin (operatör) pestisit maruziyetini belirlemek amacıyla bir sırt pülverizatörü kullanılarak saha denemeleri yapılmış ve pestisit maruziyeti tüm vücut yaklaşım tekniği ile belirlenmiştir. Çalışmada 20 litrelik tank kapasitesine sahip elektrikli sırt pülverizatörü kullanılmıştır. Sırt pülverizatörünün püskürtme çubuğuna takılan memeler pratik olarak değiştirilebilmektedir. Tarım işçilerinin pestisit maruziyetini ölçmek için üç püskürtme memesi kullanılmıştır. Bu memeler; (M1) Hava emişli meme (11002) (M2) Yelpeze hüzmeli meme (XR 11002) (M3) Konik hüzmeli meme (TXA8002). Her yöntem iki farklı püskürtme mesafesinde (50 ve 100 cm) uygulanmış ve tüm yöntemlerde örnek yüzey olarak suya duyarlı kartlar (WSP) kullanılmıştır. Koruyucu giysiler incelendiğinde, tüm vücudun pestisitlere maruz kalabileceğini anlaşılmıştır. Sonuçlara göre, en yüksek kaplama 23.6 (% kaplama) ve 3.956 ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) birikim ile standart yelpeze hüzmeli meme (M2) yönteminden elde edilmiştir.

1.Introduction

Pesticides are widely used in agriculture all over the world. However, a risk assessment is being conducted that estimates environmental and human health concerns based on pesticide exposure. Requirements and solutions must be found to reduce the exposure risks of operators (US. EPA, 2017;

Charistou et al., 2022). Due to advances in risk assessment techniques, potential impacts on human health and the environment are increasingly considered when deciding pesticide regulations.

Pesticides are critical in reducing crop losses, increasing yields, and improving food quality by controlling diseases, weeds, and pests (Korucu et al., 2021; Tudi et al., 2022). However, human exposure to pesticides remains a serious concern due to their inherently toxic nature (Islam et al., 2021). New application methods are being developed that provide lower pesticide exposure (Shaw et al., 2023). Due to their excellent efficiency and portability, knapsack electric sprayers have taken the lead in greenhouse management of plant diseases and insect pests. However, the precision spray nozzles of these sprayers can atomize liquids into tiny droplets, which can carry the solution away from the target.

The operators can be poisoned if they are not adequately protected from droplets that can penetrate their eyes, skin, and respiratory tract (Ren, 2019). The use of pesticide products can expose operators to skin and respiratory exposure, which can lead to health problems (Lee et al., 2024). In various situations, such as mixing, applying pesticides during agricultural operations, and harvesting crops, operators are exposed to pesticides (Kim et al., 2011; Lee et al., 2022). The two main ways to get exposed are inhalation and the skin (Nordgren & Charavaryamath, 2018). The type of agricultural activity, working hours, length of contact with pesticides, field conditions, formulation, and spraying equipment are some of the elements that affect pesticide exposure (Hughes et al., 2008; Lee et al., 2018).

Therefore, it is essential to do pesticide exposure assessments in actual field settings for operators. The operators pesticide exposure can be evaluated using various techniques, such as whole-body dosimetry (Kim et al., 2015; Samiee et al., 2023). The "Whole Body Dosimeter" for receiving and assessing pesticide deposits involves putting an The operators in a jumpsuit covering his or her entire body, acting as a worldwide collector, and then cutting the jumpsuit into many pieces after spraying. These techniques, which substitute tracers for pesticides in the trial process, are simple, economical, and easy to implement without any risk to operators (Lawson et al., 2017). These methods involve gathering samples with various articles of clothing or materials to extract pesticides before they come into touch with the skin and are absorbed. As an alternative, the skin can be cleaned with an appropriate solvent to get rid of the pesticides (Nuyttens et al., 2009; Großkopf et al., 2013). Due to the eyes, mouth, and nose on the face, pesticide exposure is particularly important (Cao et al., 2015). There are several ways to accomplish this, such as wiping, washing, and using patches (Moon et al., 2013).

The agricultural control methods used by fruit growers in Turkey to control diseases and pests have been the subject of numerous studies (Erdoğan et al., 2017). In Turkey, almonds are grown as a border tree in agricultural areas, in mixed gardens with other fruit species, or as an individual plant. Although produced in very small quantities worldwide, almonds contribute significantly to global trade in terms of value. Thanks to the state's support for certified seedlings, the number of almond production areas in Adıyaman province is increasing every year with the establishment of new orchards (Şimşek, 2015). Almond growers in Adıyaman use pesticides in chemical control as their main weapon against problematic plant protection factors. In Adıyaman, where almond cultivation is widespread, pests such as fungal diseases, insects, and weeds continue to pose a serious threat to high-quality agricultural yields. Annual fungicide and pesticide use in Adıyaman addresses the problems of recurrent anthracnose, mealy blotch, and printer bugs in almond cultivation (Erdoğan et al., 2017).

For pesticide applications, farmers make extensive use of knapsack sprayers. Standard extended range flat fan, nozzles and cone nozzles are widely used in knapsack sprayers. In this study, in addition to these commonly used nozzle types, the pesticide exposure to the human body of the air induction nozzle type was also investigated. The air induction nozzle is a new-generation nozzle type with a lower drift potential. Air induction nozzles produce larger droplets, which drift less compared to extended range flat fan and cone nozzles (Ellis et al., 2002).

The main objective of this study was to determine the pesticide exposure of agricultural operators engaged in open-field almond cultivation. For this purpose, pesticide exposures were determined at three different nozzle types and two different spray distances (50 and 100 cm) of an electric knapsack sprayer commonly used by almond growers. Water-sensitive paper (WSP) were used as sampling surfaces to determine pesticide exposures.

2. Material and Methods

2.1.Spray application techniques

An electric knapsack sprayer with a 20-litre tank capacity was used in the study. The spray nozzle of the knapsack spray can be practically disassembled and assembled. In this context, three spray nozzles were used to measure the operators pesticide exposure. These nozzles are (M1) Air induction nozzle (11002 Teejet Co.-USA), (M2) Extended range flat fan nozzle (XR 11002 Teejet Co.-USA), (M3) Hollow cone nozzle (TXA8002 Teejet Co.-USA). In addition, each method was applied at two different spraying distances, 50 cm and 100 cm. Sprayer operating conditions for the tested methods are given in Table 1 below. The spraying process of the mentioned methods was carried out taking into account the spraying period of the flesh spot disease (*Polystigma ochraceum* (Wahl.) Sacc.) on almond trees in April 2024.

Table 1. Sprayer operating conditions for the tested methods

Methods	Nozzle type	Pressure (bar)	Nozzle output (l.min ⁻¹)
M1	Air induction	4	0.95
M2	Extended range flat fan	4	0.92
M3	Hollow cone	3	0.76

The nozzle outputs given in Table 1 were measured three times, and the liquid produced by each nozzle in one minute was determined. Before each spraying method, the sprayer tank was filled with tap water. In this study, the exposure of the operators bodies was assessed using the whole-body pesticide exposure approach.

2.2.Experimental design and sample analysis

Almond trees in the trial area have a planting distance of 4x4 m. A total of 15 trees (3 blocks x 5 trees/128m²) were used in each method, with five trees in each block (Figure 1). In all methods, the spraying application in each block was completed in 71 seconds. The amount of liquid sprayed per minute was measured to determine the application volume of each method. In the experiment, each method was applied at an average application volume of 9 l.da⁻¹. Each method was applied with 3 repetitions in the study.

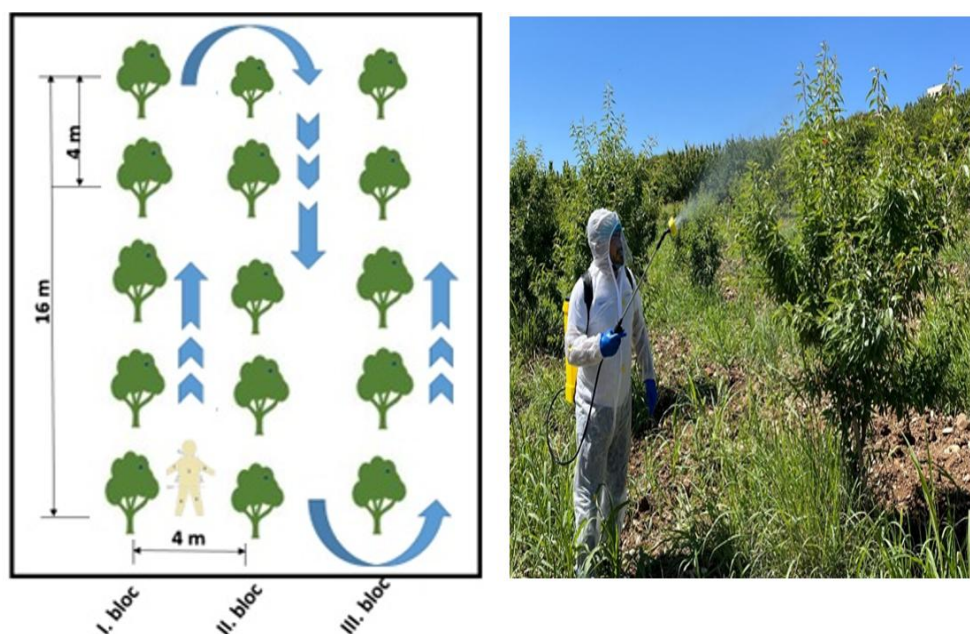


Figure 1. Schematic experimental plan and spray application.

Water-sensitive paper (Syngenta 76X26 mm) were used to determine the pesticide exposure of each method. In addition, tap water was used for the environmental health in mind. Water-sensitive paper, the operators coveralls, and their effectiveness on the whole body were observed (Machera et al., 2003). Water-sensitive cards on the coveralls were used to examine the areas that were taken. Similar to Lawson et al. (2017), 1-arm-left, 2-arm-right 3-head, 4-chest-upper, 5-chest-bottom, 6-leg-left, and 7-leg-right were used as sampling surfaces in 7 different surface of the the operators 's body (Figure 2). The WSP is attached to the operator with an adhesive material. This material allowed the WSPs to remain attached to the operator during spraying.

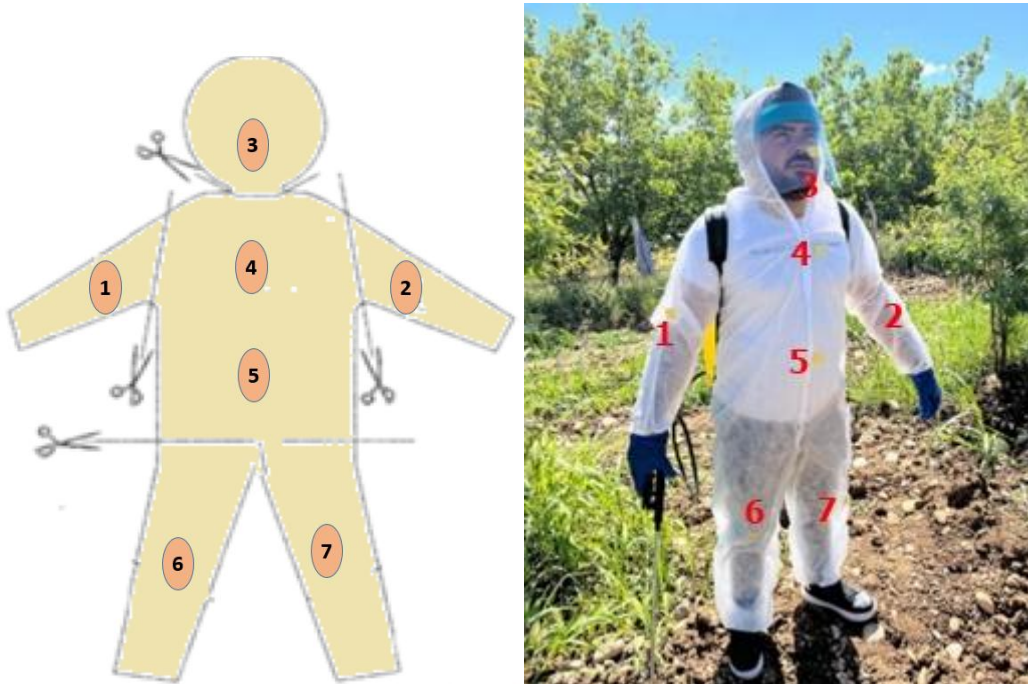


Figure 2. Water sensitive paper (WSP) sampling surfaces.

After spraying, WSPs on the operators were collected and analyzed. This was done for each method and each replicate. Meteorological conditions during spraying were measured with an anemometer (Pocket Wind IV). The mean air temperature was 27.8°C, and the mean wind speed was 1.3 m.s⁻¹.

Water-sensitive papers were used to determine the coverage rate and the amount of deposition. Firstly, droplets on water-sensitive papers were scanned at 600 dpi (600 pixels) on a scanner. The scanned cards were analyzed in the DepositScan program (Figure 3).

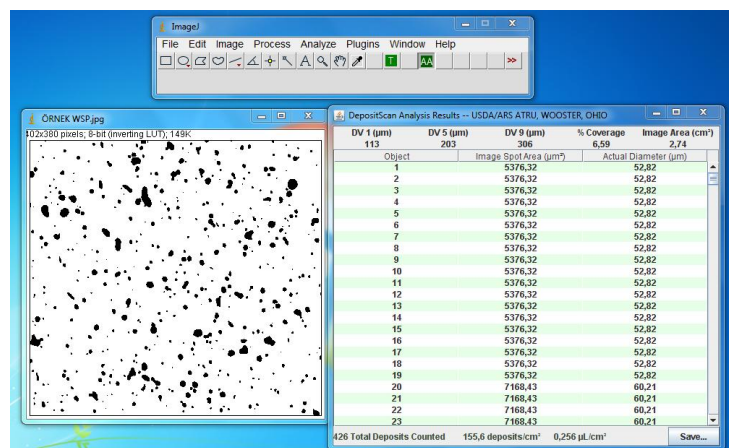


Figure 3. A Water sensitive paper analysis with DepositScan programme.

This program converts the previously scanned WSPs into an 8-bit grayscale image. Then, it selects an area to be analysed to obtain the number of points in the selected section and the area of each point. Finally, the program displays the results of the total number of points and the percentage of the area covered by the points (Zhu et al., 2011).

2.3. Statistical analysis

Statistical program JUMP 5.0 has been used to analyze coverage rates and deposition. Analysis has been done based on randomized strip block design and averages of significant factors compared via LSD tests.

3. Results

Overall coverage rates and depositions for each method are given in Table 2. Moreover, Table 2 shows the results of the average water quantities measured in the experiment with the knapsack sprayer on water-sensitive cards for two distances (50 cm and 100 cm). Accordingly, considering both distances, M2 gives the highest result regarding both Coverage rate and Accumulation amount, followed by M1 and M3 respectively (Table 2). At a distance of 50 cm, the highest coverage rate was M2 (23.6 %. cm^{-2}), and the lowest deposition was M3 (2.048 $\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$) and the difference between them was statistically significant ($p < 0.05$). At a distance of 100 cm, the highest Coverage rate was M2 (20.2 $\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$), and the lowest deposition was M3 (2.698 $\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$), and the difference between them was statistically significant ($p < 0.05$). However, the difference in accumulation amount between M3 and M1 is statistically insignificant ($p < 0.05$). In addition, considering 50 cm as a distance, both coverage rate and deposition amount have a higher value than 100 cm (Table 2).

Table 2. Overall coverage rates and depositions for each method

Methods	Spray distance (50 cm)		Spray distance (100 cm)	
	Coverage Rate (%. cm^{-2})	Deposition ($\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$)	Coverage Rate (%. cm^{-2})	Deposition ($\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$)
M1	19.9 a	3.075 b	16.0 b	2.797 ab
M2	23.6 a	3.956 a	20.2 a	3.370 a
M3	11.6 b	2.048 c	12.0 c	2.698 b
LSD	3.27**	0.64*	1.53**	0.58*

** : the values shown with the same letters on the column are not significant in the level of $p < 0.01$

* : the values shown with the same letters on the column are not significant in the level of $p < 0.05$

At 50 cm spray distance, the relative body coverage distribution is given in Figure 4. At 50 cm spray distance, the coverage distribution of the body is given in Figure 4. Accordingly, M2 has more exposure to the body, followed by M1 and M3. It is also clear from Figure 4 that most exposure is to the right arm and head. This is followed by the right leg (Figure 4). It was also found that the exposure on the left leg, above the chest, and below the chest was almost the same, with M2 being the highest and M3 the lowest at all three sites (Figure 4).

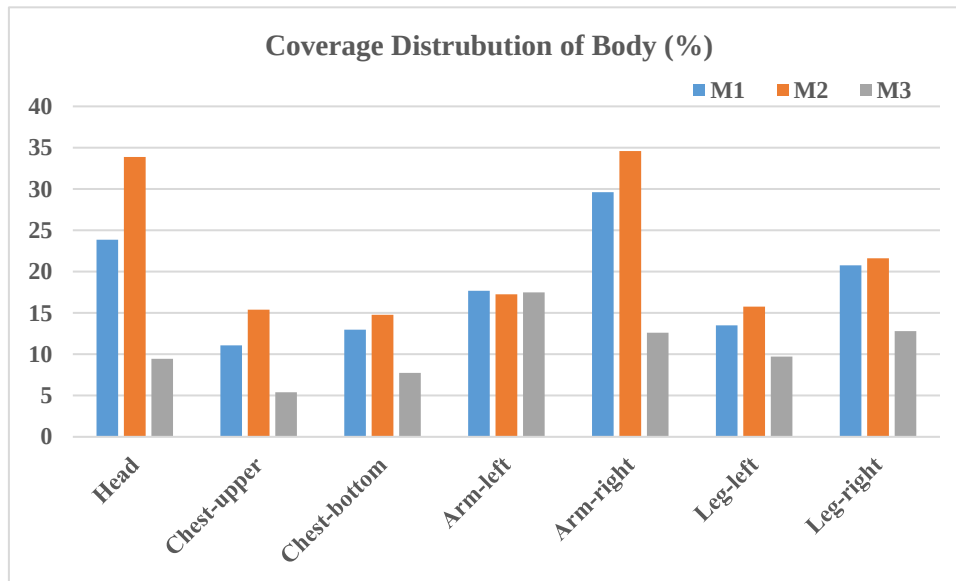


Figure 4. Relative coverage distribution of body (50 cm spray distance).

The relative deposition distribution of the body pattern at a spray distance of 50 cm is displayed in Figure 5. Accordingly, there were variations between the exposure in body regions in all methods. The most exposed body areas are the head, right leg, right arm, and left leg. The least affected areas are above and below the chest (Figure 5). The most striking observation in Figure 5 is that M1 has the highest value in the head region, and M3 has the lowest value; the opposite is observed in the right leg. In the left leg, M3 is the highest, and M2 is the lowest. In the left arm, the highest density was M3, while the densities of M1 and M2 were close to each other (Figure 5).

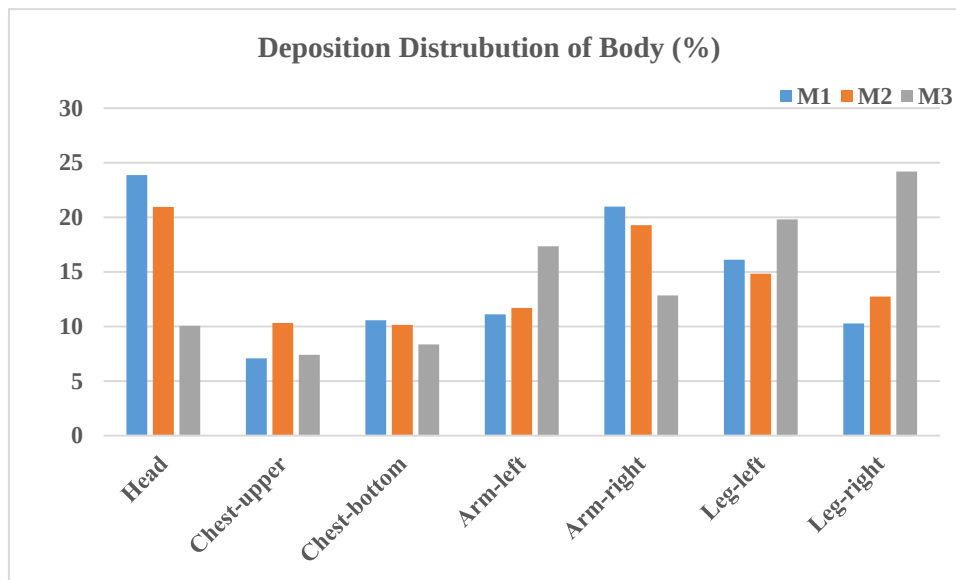


Figure 5. Relative deposition distribution of body (50 cm spray distance).

Figure 6 shows the relative coverage distribution of the body at a spray distance of 100 cm. Accordingly, M2 had the highest exposure distribution in all body parts except below the navel, followed by M1 and M3. The highest M2 value is in the head region, and the lowest M3 value is below the chest (Figure 6). In Figure 6, at a distance of 100 cm, the relative coverage distribution of the body is highest in the head and right arm. M1 and M2 values are close to each other in the upper chest, lower chest, left arm, and right leg regions.

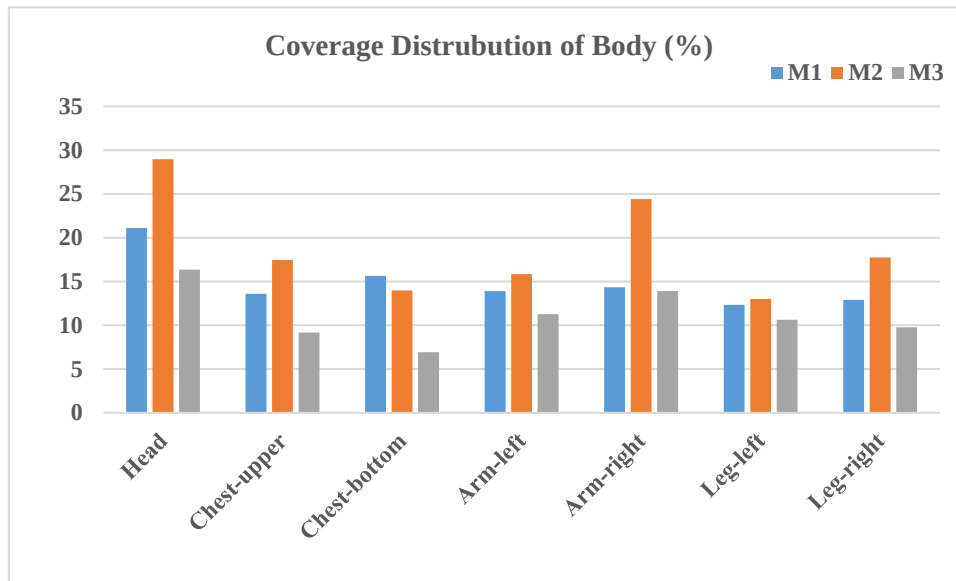


Figure 6. Relative coverage distribution of body (100 cm spray distance).

At 100 cm spray distance, the deposition distribution of the body is shown in Figure 7. Accordingly, the relative accumulation of M2 is lowest in the lower chest and left leg regions, while the opposite is the case in the other body regions and has the highest value (Figure 7). When the head and left legs are compared, M3 is highest in the left leg and lowest in the head. Another important point in Figure 7 is that M2 or M3 groups are higher in almost all body regions, while M1 is higher than the other methods only in the under-chest region. According to Figure 7, at a spray distance of 100 cm, the head, left leg, and right arm were most affected according to the relative accumulation distribution of the body.

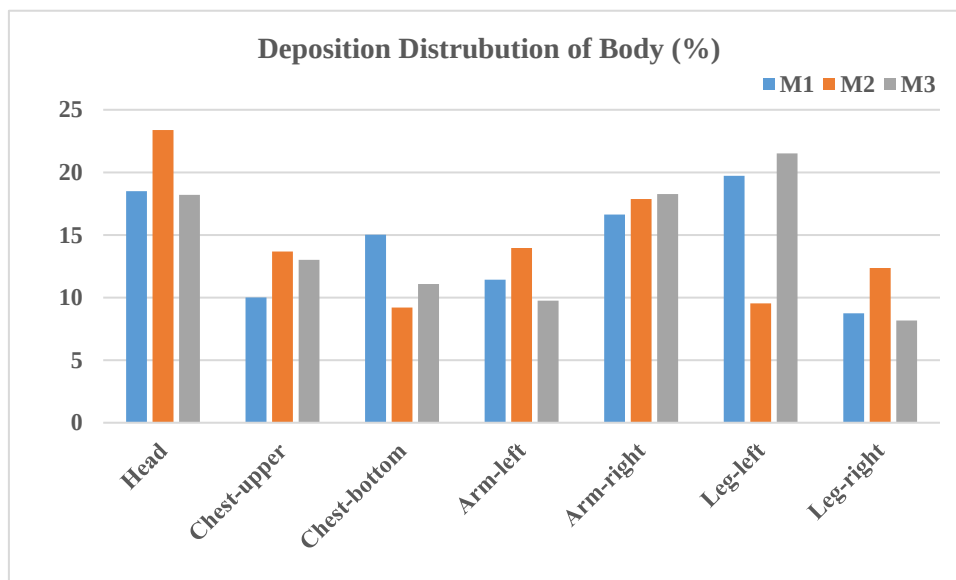


Figure 7. Relative deposition distribution of body (100 cm spray distance).

4. Discussion and Conclusion

An important component of risk assessment for crop safety and regulatory compliance is the assessment of farmers' exposure to pesticides. There are several techniques for determining pesticide exposure (Chester, 1993; Van Hemmen and Brouwer, 1995). Sampling techniques for exposure

assessment in less developed countries need to be cost-effective and user-friendly (Blanco et al., 2008). In this study, when the distance between the operators and the plant is taken into consideration, it was determined that the exposure increased as the proximity to the plant increased by 50 cm. For the experiment using a knapsack sprayer, the overall coverage rates and deposits are shown in Table 1. When backpack fog blowers were used to apply fungicides in vineyards, another study monitored operators' dermal exposure. The applied range of 49.3 mg.kg⁻¹ a.s. to 89.2 mg.kg⁻¹ a.s. were the actual dermal exposure levels assessed. Transfer factors from wearing gloves and coveralls were minimal (Thouvenin et al., 2016). Patch dosimeters and hand-washing techniques were used by Baldi et al. (2006) to monitor operators exposure in vineyards using backpack sprayers. Referring to a different previous study (Machera et al., 2001), the whole body dosimetry method was used to measure the operators exposure during application with knapsack sprayer sprayers. However, according to Tsakirakis et al. (2014), the operators using knapsack sprayer sprayers and lances mounted on large tanks for vineyard spraying had potential exposure levels of the same magnitude for both hands and body. An electric hexacopter was the subject of another study examining its ability to provide reliable spray deposition and canopy penetration for use in an almond pest control program. Pesticide residues on filter papers, residues on whole unshelled almonds at three canopy heights, and spray deposition on water-sensitive papers were used to examine the effectiveness of aerial and ground techniques at varying spray volumes (Li et al., 2021).

In our study, in general, as can be seen in all figures (Figure 4, Figure 5, Figure 6, and Figure 7), the head region is the most exposed part of the body in both deposition distribution and coverage distribution, regardless of distance (50 cm and 100 cm). Residues on legs, arms, and face increase as the sprayed target tree is closer to the spraying distance. Exposure levels and the distance between the target tree and the spray boom directly affect pesticide contamination (Shaw et al., 2023). Another study by Ren et al. (2019) presented a preliminary assessment of pesticide (commercial clothianidin formulation, 20% suspension concentrate) exposure in 60 greenhouse the operators using knapsack electric sprayers in Chinese greenhouse fields. Total body unit exposure during application was 598.71 mg.kg⁻¹. The leg was the most exposed site, with approximately 53% of the total body exposure. However, inhalation exposure was only 0.50 mg.kg⁻¹. In all cases, the exposure margin was significantly greater than 100, suggesting that wearing protective equipment may reduce the hazard. In a different study, farmers' chest regions showed signs of heavy contamination, indicating that even while the legs are also exposed to a lot of pesticides during operations, pesticides may still reach the entire body (Kim et al., 2013). However, in this study on almond trees, the highest body contamination region of the operator was measured in the head (Figure 7).

Within our research, as the operators moved forward, the handle of the electric knapsack sprayer held on the right arm was closer to the spray nozzle as it was tilted towards the left leg, increasing the settling of droplets on the lower parts (legs) and exposing the legs to the pesticide. There is, therefore, a correct ratio between the right arm and the left leg (Figure 5 and Figure 7). The thighs constitute the biggest exposure region at spray heights of 80–130 and > 130 cm, according to other research with comparable findings. The legs are the body areas that are most exposed, and this may be because the operators move forward (Stamper et al., 1989; Garrod et al., 1998; Marquez et al., 2001).

Conclusion

According to the findings, the main variables affecting exposure and increases in unit exposure were application distance and nozzle types. The results of this experimental field exposure study can be used to increase the robustness of agricultural workers' exposure estimates in the context of applications using knapsack sprayer sprayers. These data can guide future studies to generate recommendations and promote new integration of plant protection strategies for large canopy plants such as the almond tree.

The operators's skill level with the tool, the integrity of personal protective equipment, the type of plant, the weather, the kind of device being used, and the kind of spray tip are just a few of the numerous variables that might impact exposure. Therefore, this study especially highlights the need for more training in personal safety management to reduce the operators exposure.

References

- Baldi, I., Lebailly, P., Jean, S., Rougetet, L., Dulaurent, S., & Marquet, P. (2006). Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 16(2), 115-124. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500443>
- Blanco, L. E., Aragón, A., Lundberg, I., Wesseling, C., & Nise, G. (2008). The determinants of dermal exposure ranking method (DERM): a pesticide exposure assessment approach for developing countries. *Annals of Occupational Hygiene*, 52(6), 535-544. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men035>
- Cao, L., Chen, B., Zheng, L., Wang, D., Liu, F., & Huang, Q. (2015). Assessment of potential dermal and inhalation exposure of workers to the insecticide imidacloprid using whole-body dosimetry in China. *Journal of Environmental Sciences*, 27, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.07.018>
- Charistou, A., Coja, T., Craig, P., Hamey, P., Martin, S., et al. (2022). Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. European Food Safety Authority; EFSA Journal 20(1), 7032. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7032>
- Chester, G. (1993). Evaluation of agricultural worker exposure to, and absorption of, pesticides. *The Annals of Occupational Hygiene*, 37(5), 509-524. <https://doi.org/10.1093/annhyg/37.5.509>
- Ellis, M.B, Swan, T., Miller, PCH., Waddelow, S., Bradley, A., & Tuck, CR (2002). PM—Power and machinery: design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. *Biosystems Engineering*, 82(3), 289-296. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0069>
- Erdoğan, O., Tohumcu, E., Baran, M. F., & Gökdoğan, O. (2017). Adıyaman ili badem üreticilerinin zirai mücadele uygulamalarının değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(11), 1414-1421. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i11.1414-1421.1351>
- Garrod, A. N. I., Rimmer, D. A., Robertshaw, L., & Jones, T. (1998). Occupational exposure through spraying remedial pesticides. *The Annals of Occupational Hygiene*, 42(3), 159-165. <https://doi.org/10.1093/annhyg/42.3.159>
- Großkopf, C., Mielke, H., Westphal, D., Erdtmann-Vourliotis, M., Hamey, P., Bouneb, F., & Martin, S. (2013). A new model for the prediction of agricultural workers exposure during professional application of plant protection products in outdoor crops. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 8, 143-153. <https://doi.org/10.1007/s00003-013-0836-x>
- Hughes, E. A., Flores, A. P., Ramos, L. M., Zalts, A., Glass, C. R., & Montserrat, J. M. (2008). Potential dermal exposure to deltamethrin and risk assessment for manual sprayers: Influence of crop type. *Science of the Total Environment*, 391(1), 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.034>
- Islam, M. S., Rahman, M. R., Prodhan, M. D. H., Sarker, D., Rahman, M. M., & Uddin, M. K. (2021). Human health risk assessment of pesticide residues in pointed gourd collected from retail markets of Dhaka City, Bangladesh. *Accreditation and Quality Assurance*, 26, 201-210. <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01475-7>
- Kim, E. H., Lee, H. R., Choi, H., Moon, J. K., Hong, S. S., Jeong, M. H., Park, K.H., & Kim, J. H. (2011). Methodology for quantitative monitoring of agricultural worker exposure to pesticides. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 15(4), 507-528.
- Kim, E., Moon, J.K., Lee, H., Kim, S., Hwang, Y.J., Kim, B.J., Lee, D.H., & Kim, J.H. (2013). Exposure and risk assessment of agricultural workers to insecticide acetamiprid during treatment on apple orchard. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 31, 239-245. <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2013.12201>
- Kim, E., Moon, J. K., Choi, H., & Kim, J. H. (2015). Probabilistic exposure assessment for applicators during treatment of the fungicide kresoxim-methyl on an apple orchard by a speed sprayer. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(48), 10366-10371. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03217>
- Korucu, M. K., Elilbol, P. S., & Isleyen, M. (2021). An environmental risk assessment for a DDX-contaminated agricultural area in Turkey: soil vs. plant or human vs. animal. *Environmental*

- Science and Pollution Research*, 28(36), 50127-50140. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14154-4>
- Lawson, A. J., Akohou, H., Lorge, S., & Schiffers, B. (2017). Three methods to assess levels of farmers' exposure to pesticides in the urban and peri-urban areas of Northern Benin. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 12(1).
- Lee, J., Kim, E., Shin, Y., Lee, J., Lee, J., Moon, J. K., Choi, H. & Kim, J. H. (2018). Whole body dosimetry and risk assessment of agricultural workers exposure to the fungicide kresoxim-methyl in apple orchards. *Ecotoxicology and environmental safety*, 155, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.063>
- Lee, J., Park, E., Jung, M., Kim, S., Shin, Y., Kim, J., & Kim, J. H. (2022). Potential exposure to flubendiamide and risk assessment in Kimchi cabbage field, Gangneung, Gangwon-do, Republic of Korea: the protective role of PPE (personal protective equipment). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 28(9), 945-957. <https://doi.org/10.1080/10807039.2022.2112504>
- Lee, D. Y., Song, J. W., An, J. Y., Kim, Y. J., Seo, J. S., & Kim, J. H. (2024). Exposure and risk assessment for agricultural workers during chlorothalonil and flubendiamide treatments in pepper fields. *Scientific Reports*, 14(1), 5338. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55172-9>
- Li, X., Giles, D. K., Niederholzer, F. J., Andaloro, J. T., Lang, E. B., & Watson, L. J. (2021). Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. *Pest Management Science*, 77(1), 527-537. <https://doi.org/10.1002/ps.6052>
- Machera, K., Goumenou, M., Kapetanakis, E., Kalamarakis, A., & Glass, R. (2001). Determination of potential dermal and inhalation exposure of agricultural workers s, following spray applications of the fungicide penconazole in vineyards and greenhouses. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10(5), 464-469.
- Machera, K., Goumenou, M., Kapetanakis, E., Kalamarakis, A., & Glass, C. R. (2003). Determination of potential dermal and inhalation agricultural workers exposure to malathion in greenhouses with the whole body dosimetry method. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(1), 61-70. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef097>
- Marquez, M. C., Arrebola, F. J., González, F. E., Cano, M. C., & Vidal, J. M. (2001). Gas chromatographic–tandem mass spectrometric analytical method for the study of inhalation, potential dermal and actual exposure of agricultural workers to the pesticide malathion. *Journal of Chromatography A*, 939(1-2), 79-89. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)01347-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)01347-4)
- Moon, J. K., Park, S., Kim, E., Lee, H., & Kim, J. H. (2013). Risk assessment of the exposure of insecticide agricultural workers s to fenvalerate during treatment in apple orchards. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(2), 307-311. <https://doi.org/10.1021/jf3043083>
- Nordgren, T. M., & Charavaryamath, C. (2018). Agriculture occupational exposures and factors affecting health effects. *Current allergy and asthma reports*, 18, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11882-018-0820-8>
- Nuytens, D., Braekman, P., Windey, S., & Sonck, B. (2009). Potential dermal pesticide exposure affected by greenhouse spray application technique. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 65(7), 781-790. <https://doi.org/10.1002/ps.1755>
- Ren, J. X., Li, Z. K., Tao, C. J., Zhang, L. Y., Zhao, H. F., Wu, C. C., & She, D. M. (2019). Exposure assessment of agricultural workers s to clothianidin when using knapsack electric sprayers in greenhouses. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1471-1478. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1758-z>
- Samiee, F., Samadi, M. T., Bahrami, A., Poorolajal, J., Ghafouri-Khosrowshahi, A., & Leili, M. (2023). Risk assessment of imidacloprid and dichlorvos associated with dermal and inhalation exposure in cucumber greenhouse applicators: A cross-sectional study in Hamadan, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(3), 575-590. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1862811>
- Shaw, A., Sanvido, O., Wagate, G., & Röver, M. (2023). Pesticide operator safety: A global framework to support operator safety at the “local” level. *CABI Reviews*, (2023). <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2023.0025>

- Stamper, J. H., Nigg, H. N., Mahon, W. D., Nielsen, A. P., & Royer, M. D. (1989). Pesticide exposure to greenhouse handgunners. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 18, 515-529. <https://doi.org/10.1007/BF01055018>
- Şimşek, M. (2015). Türkiye'de badem yetiştiriciliğinin durumu ve yapılan seleksiyon çalışmaları konusunda bir araştırma. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 95-100.
- Thouvenin, I., Bouneb, F., & Mercier, T. (2016). Agricultural workers dermal exposure and individual protection provided by personal protective equipment during application using a backpack sprayer in vineyards. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 11, 325-336. <https://doi.org/10.1007/s00003-016-1047-z>
- Tsakirakis, A. N., Kasiotis, K. M., Charistou, A. N., Arapaki, N., Tsatsakis, A., Tsakalof, A., & Machera, K. (2014). Dermal & inhalation exposure of agricultural workers s during fungicide application in vineyards. Evaluation of coverall performance. *Science of the Total Environment*, 470, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.021>
- Tudi, M., Li, H., Li, H., Wang, L., Lyu, J., Yang, L., Tong, S., Yu, Q. J., Ruan, H. D., Atabila, A., Puhung, D. T., Sadler, R., & Connell, D. (2022). Exposure routes and health risks associated with pesticide application. *Toxics*, 10(6), 335. <https://doi.org/10.3390/toxics10060335>
- U.S. EPA. (2017). Office of prevention, pesticides, and toxic substances. Pesticides industry sales and usage 2008-2012 estimates. Washington, DC 20460 (Access date: 10.08.2024).
- Van Hemmen, J. J., & Brouwer, D. H. (1995). Assessment of dermal exposure to chemicals. *Science of the total environment*, 168(2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04617-A](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04617-A)
- Zhu, H., Salyani, M., Fox, R. D. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(1), 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.003>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Biyokömür ve Çiftlik Gübresi Uygulamalarının Ispanakta Bazı Büyüme ve Gelişme Parametreleri Üzerine Etkileri

Aynur SADAK TURHAN^{*1,2}, Suat SENSOY^{1,3}, Esra KINA⁴

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 65080, Van, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Tarım Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 65080, Van, Türkiye

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Aynur SADAK TURHAN, ORCID No: 0000-0002-5865-6497, Suat ŞENSOY, ORCID No: 0000-0001-7129-6185, Esra KINA, ORCID No: 0000-0001-6728-3453

*Sorumlu yazar e-posta: aynuursadak@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 28.07.2024

Kabul: 13.11.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1523642

Anahtar Kelimeler

Biyokömür,
Büyüme ve gelişme,
Çiftlik gübresi,
Ispanak,
Organik gübre

Öz: Van ekolojik koşullarında biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının ıspanakta bazı büyüme ve gelişme parametreleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla iki yıl boyunca sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde yürütülen bu çalışmada, Matador ıspanak çeşidi kullanılmıştır. Uygulama olarak; kontrol ve kimyasal gübre (KG) (N:P:K: 12kg:8kg:12kg) uygulamasının yanında, KG'ye ilave edilen 3 farklı çiftlik gübresi (1, 2 ve 3 ton koyun gübresi/da) uygulaması ve KG'ye ilave edilen 3 farklı biyokömür (100, 200 ve 300 kg meşe odun kömürü/da) uygulaması yer almaktadır. Tesadüf parselleri deneme bloklarına göre dizayn edilen denemede, 8 gübre uygulaması, 2 tohum ekim dönemi (sonbahar dönemi (15 ekim) ve ilkbahar dönemi (15 mart) 3 tekerrürlü olarak toplamda 48 uygulama parseli oluşturulmuştur. Parsellere tohum ekimi çizi usulü ile yapılmıştır. Ispanakta incelenen bazı parametreler (sürgün yaş ağırlığı (g), sürgün kuru ağırlığı (g), bitki boyu (cm), yaprak kalınlığı (mm), gövde çapı (mm), sapa kalma oranı (%) ve toplam verim (kg/da)) doğrultusunda kullanılan gübre uygulamalarının istatistiki olarak önemli sonuçlar verdiği; Çiftlik gübresi 3 ton/da + kimyasal gübre uygulaması, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (293.52 g), sürgün kuru ağırlığı (28.77 g), bitki boyu (37.25 cm), gövde çapı (9.33 mm) ve toplam verim (1502.9 kg/da) değerlerine ulaşırken, kontrol uygulamasının tüm bu parametrelerde en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Gübre uygulamaları arasında gözlenen farklılıklar, çiftlik gübresi uygulamalarında doz arttıkça bitki gelişimi ve verimde önemli artışların elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca, biyokömür gübresinin de organik bir materyal olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Effects of Biochar and Farmyard Manure Applications on Some Growth and Development Parameters in Spinach

Article Info

Recieved: 28.07.2024

Accepted: 13.11.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1523642

Keywords

Biochar,

Abstract: In this study carried out for two years in autumn and spring periods in order to determine the effects of biochar and farmyard manure applications on some growth and development parameters in spinach in Van ecological conditions, Matador spinach variety was used. As applications; in addition to control and chemical fertilizer (CF) (N:P:K: 12kg:8kg:12kg), 3 different farm manure (1, 2 and 3 tons sheep manure/da) applications added to CF and 3 different biochar (100, 200 and 300 kg oak wood charcoal/da) applications added to CF were included. In the experiment designed according to randomized plots trial blocks, a total of 48 application plots were created as 8 fertilizer applications, 2

Farmyard manure,
Growth and development,
Organic fertilizer,
Spinach

seed sowing periods (autumn period (15 October) and spring period (15 March)) with 3 replications. Seed sowing was done in the plots by scribe method. It was determined that the fertilizer applications used in spinach gave statistically significant results in terms of some parameters examined (shoot fresh weight (g), shoot dry weight (g), plant height (cm), leaf thickness (mm), stem diameter (mm), rate of bolting (%) and total yield (kg/da)); and the application of 3 tons/da of farmyard manure combined with chemical fertilizer achieved the highest values for fresh shoot weight (293.52 g), dry shoot weight (28.77 g), plant height (37.25 cm), stem diameter (9.33 mm), and total yield (1502.9 kg/da), while the control treatment had the lowest values for all these parameters. The observed differences among fertilizer treatments indicate that increasing doses of farmyard manure significantly enhance plant growth and yield. In addition, it is thought that biochar fertilizer can also be used as an organic material.

1. Giriş

Dünya beslenmesinde sebze tarımının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Sebzelerin tüketimi, insan sağlığı açısından içerdiği mineral madde ve vitaminler bakımından oldukça önemlidir (Kılavuz & Erdem, 2019). Tarımsal üretiminde, gübrelemenin ayrı bir önemi bulunmaktadır. Tarımsal üretimde toprakta istenilen mineral maddeler bulunmazsa veya yanlış bir gübreleme uygulanırsa tarımsal üretim kalitesi ve verim olumsuz etkilenir. Türkiye’de sebze yetiştiriciliğinde kimyasal gübreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sebze yetiştiriciliğinde kimyasal gübrelerin yerine organik gübrelerin kullanılması gerekir. Yaygın olarak organik gübrelerin kullanılması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği ve ekolojik dengeyi sağlayacaktır (Adiloğlu & Eraslan, 2012). Organik gübreler, doğal dengeyi korumak için kullanılan bitkisel ve hayvansal kaynaklı ürünlerdir. Organik gübreler, sürdürülebilir tarıma katkıda bulunan gübrelerdir ve tarımsal üretim için önemi ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Tarımsal üretimde organik gübrelerin kullanılması, tarım topraklarının iyileştirilmesini ve düşük maliyetle verim ve kalitenin artırılmasını sağlamaktadır. Organik gübreler; organik maddeler ve çeşitli mikroorganizmalar içerir. Böylece organik gübreler tarım topraklarının fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerini iyileştirmektedir (Kacar & Katkat, 2007). Organik gübreler, toprağın organik maddesini artırarak, yapısını geliştirerek ve fiziksel özelliklerini düzenleyerek toprağın yapısını iyileştirir. Organik gübrelerin tek başına ya da inorganik gübrelerle birlikte kullanılması son derece önemlidir (Asri ve ark., 2011; Özkan ve ark., 2013; Lescheva & Ivolga, 2015; Dong ve ark., 2016). Çiftlik gübresi, büyükbaş ve küçükbaş hayvanların dışkılarından elde edilir ve toprağa organik madde sağlamak için kullanılır (Schoenau, 2006; Göksu & Kuzucu, 2017). Çiftlik gübresi, toprak üzerinde sızma oranını azaltır, su tutma kapasitesini artırır, toprak sıcaklığını ve besin içeriğini artırır ve toprakta bulunan mikroorganizma faaliyetlerini artırır (Kacar & Katkat, 2007). Ayrıca, organik gübrelerin kimyasal gübrelerle birlikte uygulanmasının toprak verimliliği üzerindeki etkileri olduğu belirtilmektedir (Gürel, 2024).

Organik gübre olarak kullanılan biyokömür, organik gübre ve organik materyal parçaları gibi biyokütlelerin kapalı, havasız veya az oksijenli bir ortamda yakılması yoluyla elde edilen karbon açısından zengin ve yüksek miktarda mineral içeren bir toprak düzenleyicisidir (Blackwell ve ark., 2009; Lehmann & Joseph, 2009; Günel & Erdem, 2018). Bir başka organik gübre olarak kullanılan biyokömür, karbon açısından zengin ve yüksek miktarda mineral içeren bir toprak düzenleyicisidir. Bu, organik gübre ve organik materyal parçaları gibi biyokütlelerin kapalı, havasız veya az oksijenli bir ortamda yakılması yoluyla elde edilir (Blackwell ve ark., 2009; Lehmann & Joseph, 2009; Günel & Erdem, 2018). Organik gübreler ve biyokömür uygulamaları, toprak verimliliğini artırarak bitki gelişimini desteklemekte ve özellikle inorganik gübrelerin etkin kullanımını iyileştirerek sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlamaktadır (Mounirou ve ark., 2020). Rasheed ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, nanobiyokömür uygulamasının, tuzluluk ve kuraklık stresi altındaki ıspanak bitkilerinin büyüme dinamikleri ve antioksidatif yanıtları üzerinde önemli iyileşmeler sağladığı bildirilmektedir. Küresel iklim değişikliğinin, toprak bakteriyel topluluk yapısını ve bitkilerin besin elementi kullanımını değiştireceği öngörülmektedir. Biyokömür uygulamaları ise, toprak bakteriyel yapısını ve besin kullanımı verimliliğini iyileştirerek bitki büyümesini destekleyebilmektedir (Ahmad ve ark., 2024). Biyokömür ve kompostun ayrı ayrı veya birlikte toprak iyileştirici olarak kullanılması,

toprak kalitesini artırmak ve bitki gelişimini desteklemek açısından büyük faydalar sağlamaktadır (Pandey ve ark., 2024). Son yıllarda biyokömür, toprak düzenleyici olarak çevresel kirliliği azaltmak ve tarımsal atıkları değerlendirmek amacıyla tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır (Keskinaslan ve ark., 2023).

Serin iklim sebzesi olarak adlandırılan ıspanak, yaprağı yenilen ve tohumla yetiştirilen tek yıllık bir sebze türüdür. Türkiye'nin ıspanak üretimi 230.000 tona ulaşarak bir önceki yıla göre %5.37'lik bir artış göstermiş ve bu durum, Türkiye'yi küresel ıspanak üretiminde Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından üçüncü sıraya yerleştirmektedir (FAOSTAT, 2022). Ispanak, Türkiye'de geniş bir coğrafyada yetiştirilen ve yüksek besin değeri ile öne çıkan bir sebze olup, özellikle İç Anadolu, Marmara ve Ege bölgelerinde yoğun olarak üretilmektedir. Yüksek demir, vitamin ve mineral içeriği sayesinde beslenmede önemli bir yer tutan ıspanak, hem taze tüketimi hem de çeşitli yemeklerde kullanımıyla sağlıklı bir diyetin vazgeçilmez parçalarından biridir. Ispanak, sıcak iklimlerde yaz sonları ve kış, soğuk iklimlerde kış ve ilkbaharda yetiştirilir (Sağlam, 2005; Şensoy ve ark., 2011; Bozoğlu & Tepe, 2023). Ispanak üretimi, tohum ekiminden hasat dönemine kadar geçen kısa süre nedeniyle yaygındır (Şalk ve ark., 2008; Bozoğlu & Tepe, 2023).

Ispanak gibi hızla büyüyen ve nitrat birikimi riski taşıyan sebzelerde organik gübre kullanımının, hem bitki sağlığı hem de insan sağlığı açısından önemli faydaları bulunmaktadır. Organik gübreler, toprak verimliliğini artırarak bitkilerin daha sağlıklı büyümesini sağlar, aynı zamanda nitrat seviyelerinin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur. Nitrat birikimi, özellikle sağlığa zararlı olabilecek düzeylere ulaştığında, organik gübreleme yöntemi bu birikimin engellenmesine yardımcı olabilir. Bunun yanı sıra organik gübreler, toprağın su tutma kapasitesini artırarak, sürdürülebilir tarım uygulamalarına da katkı sağlamaktadır (Abdolahi Arshad ve ark., 2024). Rasheed ve ark. (2024) tarafından yapılan araştırmaya göre, 3% nanobiyokömür uygulaması, ıspanak bitkilerinin büyümesini, yaprak alanını, fotosentetik pigmentlerini ve besin içeriğini önemli ölçüde artırmış, özellikle kuraklık ve tuzluluk stres koşullarında antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirmiş ve bitkilerin membran stabilitesini iyileştirerek, lipid peroksidasyonunu ve elektrolit sızıntısını azaltmıştır, bu da nanobiyokömürün ıspanak yetiştiriciliğinde stres toleransını ve besin alımını artırmak için umut verici bir strateji olduğunu göstermektedir. Ispanak yetiştiriciliğinde organik gübre olarak bilinen biyokömür kullanımı, kimyasal gübre kullanımını azaltarak toprak kirliliğinin önüne geçilmesine ve insan sağlığını tehlikeye atmayacak kaliteli ürünler yetiştirmeye olanak sağlayabilecektir. Ürün verimini artırmanın yanı sıra çevresel sorunları önleyebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, Van koşullarının çeşitli ekim dönemlerinde ıspanakta bitki büyüme ve gelişme üzerinde inorganik kimyasal gübre kullanımına organik gübre takviyesi olarak çiftlik gübresi ve biyokömür kullanımının bitki büyüme ve gelişme üzerindeki etkilerini belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak Matador (Sunagri Tohumculuk) ıspanak çeşidi kullanılmıştır. Matador ıspanak çeşidi, geniş yapraklara sahip bir çeşittir. Yaprakları dolgun, kısa saplı, koyu yeşil renkte, pürüzsüz ve oval uçludur. Hızlı bir şekilde gelişir ve toprak yüzeyinde yayvan bir görünüm sergiler. Ülke genelinde yaygın olarak ekimi yapılmaktadır. Verimli bir çeşit olup, soğuk hava ve nakliye karşı dayanıklıdır. Gübre olarak, 2 farklı organik gübre (çiftlik gübresi (koyun gübresi) ve biyokömür (meşe odun kömürü) ve 1 kimyasal gübre (12:8:12 N:P:K, potasyum sülfat ve amonyum sülfat formlarında) olmak üzere 3 farklı gübre kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Çalışma, Van ilinde iki yıl boyunca farklı ekim dönemlerinde [(2020 sonbahar - 2021 ilkbahar dönemi) - (2021 sonbahar - 2022 ilkbahar dönemi)] gerçekleştirilmiştir. Van YYÜ Kampüs alanındaki parsellerde yürütülen bu çalışma dönemlerine ait iklim verileri Çizelge 1'de ve parsellerin toprak özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Tesadüf blokları deneme desenine göre dizayn edilen çalışmada, 2 tohum ekim dönemi (15 Ekim ve 15 Mart), 8 gübre uygulaması ve 3 tekerrürlü olarak 2×2 m² ebadında tavalarda şeklinde hazırlanmış ve toplamda 48 parsel oluşturulmuştur. 48 parselin yarısı (24 parsel)

ilkbahar dönemi uygulaması diğer yarısı (24 parsel) ise sonbahar dönemi uygulaması olarak seçilmiştir. Her iki yılda da aynı parseller çakılı düzende kullanılmıştır. Gübre olarak, bir inorganik kimyasal gübre (N:P:K 12:8:12) ve iki farklı organik gübre [biyokömür (meşe odun kömürü) - çiftlik gübresi (koyun gübresi)] olmak üzere üç farklı gübreleme yapılmıştır. Sonbahar ve ilkbahar dönemi uygulama gruplarına her parselde ek bir üst gübre olarak amonyum sülfat ve potasyum sülfat formlarında 4 kg N/da: 4 kg K₂O/da üst gübreleme yapılmıştır. Uygulanan gübre dozları olarak; kontrol uygulaması (hiç gübre verilmeyen), çiftlik gübresi (1, 2 ve 3 ton/da) + kimyasal gübre, biyokömür (100, 200 ve 300 kg/da) + kimyasal gübre ve kimyasal gübre (12kg:8kg:12kg) N:P:K olarak uygulanmıştır. Gübrelemede, her dönem tohum ekiminden yaklaşık olarak bir hafta önce kompose kimyasal gübre ve çiftlik gübresi ike biyokömür taban gübresi olarak uygulanmıştır. Parsellere tohum ekimi çizi usulü ile 2.5 kg/da oranında yapılmıştır. Her bir parselde (4m² lik alan) 8 sıra oluşturulmuş ve 8 sıraya eşit bir şekilde tohum ekimi yapılmıştır. Sulama, ilkbahar döneminde yağmurların azalmasıyla, sonbahar döneminde ise yağmurlar başlayıncaya kadar her sulamada her parselde eşit miktarda (~20 litre) su uygulanmıştır.

Çizelge 1. Van ili iklim değerleri (Anonim, 2022)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2020												
Ortalama sıcaklık (C°)				8.6	14.5	19.3	23.0	21.6	20.1	13.3	6.7	1.4
Ortalama nispinem (%)	74.5	77.1	72.5	65.4	54.0	44.4	46.4	44.5	41.3	53.0	65.4	71.5
Toplam yağış (mm/kg/m ²)	50.3	79.9	44.3	51.8	27.8	13.7	17.6	10.0	5.6	1.8	12.8	27.7
Ortalama rüzgâr hızı (m/sn)	0.9	1.2	1.6	1.7	2.2	2.0	1.8	1.7	1.5	2.1	2.5	2.4
2021												
Ortalama sıcaklık (C°)				11.0	15.0	21.4	22.2	23.8	19.1	12.6	6.1	0.6
Ortalama nispinem (%)	65.7	71.9	67.5	51.9	46.9	33.3	38.8	37.8	42.0	54.9	74.5	74.9
Toplam yağış (mm/kg/m ²)	23.3	29.7	60.9	7.5	13.2	0.0	0.0	7.5	16.3	37.8	21.2	8.6
Ortalama rüzgâr hızı (m/sn)	2.7	2.4	2.8	3.0	2.7	2.8	3.2	2.7	2.5	2.5	2.5	3.0
2022												
Ortalama sıcaklık (C°)				10.0	12.4	20.7	-	-	-	-	-	-
Ortalama nispi nem (%)	80.4	81.4	76.0	63.3	68.0	47.3	-	-	-	-	-	-
Toplam yağış (mm/kg/m ²)	68.1	26.1	39.1	16.2	42.8	7.5	-	-	-	-	-	-
Ortalama rüzgâr hızı (m/sn)	3.2	2.5	2.7	2.7	2.8	2.6	-	-	-	-	-	-

Çizelge 2. Çalışma alanı toprağının 2020 yılı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Toprak özellikleri		
pH	8.47	Alkali
Kireç	% 8.14	Orta kireçli
Organik madde miktarı	% 1.05	Düşük
EC	0.218 ds/m	Tuzsuz
K	51.64 ppm	Çok az
Mg	57.98 ppm	Az
Ca	337.53 ppm	Az

Çalışmada organik gübre olarak, 2 farklı gübre [biyokömür (meşe odun kömürü) ve çiftlik gübresi (koyun gübresi)] kullanılmıştır. Çalışma başlamadan önce her gübreden 500 gram alınarak organik gübre analizleri (EC, pH, karbon/azot tayini, suda çözünür potasyumoksit, toplam N, Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg ve Na) Martest Analiz Laboratuvarında Kacar ve Kütük (2010)'a göre yapılmıştır. Biyokömür gübre analizi Çizelge 3'te ve koyun gübresi analizi Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Biyokömür gübre analiz sonuçları

Biyokömür gübresi	
pH	8.97
Suda çözümlü potasyumoksit	% 0.12
Toplam azot	% 0.55
Elektriksel iletkenlik (EC)	0.41 ds/m
Organik karbon	% 3.47
Karbon/azot tayini (C/N)	% 6.31
Bakır (Cu)	28.96 mg/kg
Demir (Fe)	<0.01 mg/kg
Çinko (Zn)	15.76 mg/kg
Mangan (Mn)	1.44 mg/kg
Kalsiyum (Ca)	407.2 mg/kg
Magnezyum (Mg)	69.68 mg/kg
Sodyum (Na)	349.3 mg/kg

Çizelge 4. Koyun gübresi analiz sonuçları

Koyun gübresi	
pH	7.33
Suda çözümlü potasyumoksit	% 1.02
Toplam azot	% 0.86
Elektriksel iletkenlik (EC)	4.52 ds/m
Organik karbon	% 7.92
Karbon/azot tayini (C/N)	% 9.21
Bakır (Cu)	29.68 mg/kg
Demir (Fe)	349.6 mg/kg
Çinko (Zn)	26.12 mg/kg
Mangan (Mn)	5.53 mg/kg
Kalsiyum (Ca)	2539 mg/kg
Magnezyum (Mg)	617.5 mg/kg
Sodyum (Na)	2343 mg/kg

Fide büyüme ve gelişme parametreleri:

2.2.1. Sürgün yaş ağırlığı (g)

4 m²'lik parsellerden rastgele seçilen 15 adet ıspanak bitkisi hassas terazide tartılarak sürgün yaş ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu değer bitki sayısına bölünerek sürgün yaş ağırlıkları elde edilmiştir.

2.2.2. Sürgün kuru ağırlığı (g)

Sürgün yaş ağırlığı için sökülen bitkiler 3 gün açıkta serilerek bekletilmiş ve daha sonra bu örnekler kese kâğıtlarına bırakılarak 65 °C etüvde 48 saat boyunca sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Elde edilen bu örnekler hassas bir terazide tartılarak sürgün kuru ağırlık değerleri elde edilmiştir.

2.2.3. Bitki boyu (cm)

Ispanak en uzun yaprak boyu bir cetvel yardımı ile ölçülerek bitki boyu belirlenmiştir.

2.2.4. Yaprak kalınlığı (mm)

Ispanakta en uzun yaprağın orta kısmının kalınlığı dijital bir kumpas yardımıyla ölçülerek belirlenmiştir.

2.2.5. Gövde çapı (mm)

Ispanakta gövde çapı dijital bir kumpas ölçülerek belirlenmiştir.

2.2.6. Sapa kalma oranı (%)

Parseldeki sapa kalkan bitki sayısının toplam bitki sayısına oranıdır.

2.2.7. Toplam verim (kg/da)

Ispanak bitkilerinin hasat edildikten sonraki toplam ağırlığının kg/dekara çevrilmesiyle elde edilmiştir.

2.3. İstatistik analiz

Çalışmada varyans analizi için IBM SPSS 21.0 paket programı kullanılmıştır (SPSS, 2020). Bu program, farklı uygulamaların ortalamalarından elde edilen verileri karşılaştırmak için kullanılmıştır. Duncan çoklu karşılaştırma testine göre, istatistiksel açıdan önemli olan ortalamalar arasındaki farklılıklar gruplandırılmıştır. Ortalamalarda elde edilen standart sapma değerleri, $\pm$ işareti ile birlikte belirtilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmanın amacı, ıspanak bitkilerinde biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının büyüme ve gelişme üzerindeki etkilerini incelemektir. Hasat edilen ıspanak bitkilerinde bazı parametreler incelenmiştir. Bunlar; sürgün yaş ağırlığı (g), sürgün kuru ağırlığı (g), bitki boyu (cm), yaprak kalınlığı (mm), gövde çapı (mm), sapa kalma oranı (%) ve toplam verim (kg/da) aşağıdaki Çizelge 5 - 7'de belirtilmiştir.

Sürgün yaş ağırlığında gübre uygulamaları arasındaki farklar ve dönem x gübre uygulamaları interaksyonu istatistiksel açıdan ($P \leq 0.05$) önemli bulunmuştur. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulamasında (Ç3) en yüksek sürgün yaş ağırlığı ortalaması 293.52 g olurken, en düşük ortalama değerin ise 51.36 g ile kontrol uygulamasında (K0) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Sürgün kuru ağırlığında gübre uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel açıdan ($P \leq 0.05$) önemli bulunmuştur. Dönem x gübre uygulamaları interaksyonu da istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulaması (Ç3) en yüksek değerin (28.77 g) olduğu uygulama olurken, kontrol uygulaması (K0) en düşük ortalama değerin (4.79 g) olduğu uygulama grubu olarak belirlenmiştir (Çizelge 5). Gübre uygulamalarından elde edilen değerler, sürgün yaş ve sürgün kuru ağırlığının kontrol uygulamalarına göre önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Çalışmada, çiftlik gübresi uygulamalarından en yüksek sürgün yaş ve sürgün kuru ağırlık değerleri elde edilmiştir. Çiftlik gübresi dozu arttıkça sürgün yaş ve sürgün kuru ağırlık değerlerinde de artışlar olduğu belirlenmiştir. Her iki parametreye de uygulanan uygulamalar benzer sonuçlar vermektedir. Kontrol uygulaması (K0) en düşük değerin elde edildiği uygulama olurken, çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre (Ç3) ise en yüksek değerin elde edildiği uygulama olarak belirlenmiştir. Biyokömür 300 kg/da+kimyasal gübre uygulamasının (B3) çiftlik gübresi 1 ton/da+kimyasal gübre uygulamasına (Ç1), Kimyasal gübre uygulamasının (K1) ise biyokömür 1 ton/da+kimyasal gübre uygulamasına (B1) yakın değerlerinin olduğu tespiti yapılmıştır. Bu çalışmanın önceki araştırmalarla uyumlu olduğu ortaya çıkmaktadır. Ispanak yetiştiriciliğinde çiftlik gübresi kullanmanın etkisi üzerine yapılan bir araştırmada, çiftlik gübresi uygulamasının, kontrol ve kimyasal gübre uygulamalarına göre bitki yaş ve bitki kuru ağırlığı değerlerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiş; çiftlik gübresi uygulamasında en yüksek bitki yaş ve bitki kuru ağırlığı değerlerinin olduğu saptanmıştır (Sato ve ark., 2010). Çiftlik gübresi ve vermikompostun ıspanak bitkisindeki etkileri incelenen bu çalışmada, bitki yaş ve bitki kuru ağırlığında çiftlik gübresi ve vermikompostu uygulamasının, kontrol uygulamasına göre daha yüksek değerlerin olduğu tespit edilmiştir (Çıtak ve ark., 2011). Başka bir çalışmada ise tavuk gübresinin ıspanağa etkisine bakılmış ve bitki yaş ve bitki kuru ağırlığında kontrole göre önemli oranda artışların olduğu saptanmıştır (Mufwanzala & Dikinya, 2010).

Bitki boyunda gübre uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel açıdan ($P \leq 0.05$) önemli bulunmuştur. Dönem x gübre uygulamaları interaksyonu istatistiksel olarak önemsizdir. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulamasında (Ç3) en yüksek bitki boyu ortalaması 37.25 cm olurken, en düşük ortalama değerin ise 9.83 cm ile kontrol uygulamasında (K0) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çalışmada en yüksek bitki boyu değerleri çiftlik gübresi uygulamalardan elde edilmiştir. Doz miktarı arttıkça bitki boyu değerlerinde de nispeten artışlar olmaktadır. Çiftlik gübresinin ıspanak yetiştiriciliğine etkisi incelenen bir çalışmada, bitki boyu değerleri incelenmiş ve çiftlik gübresi uygulamasının, kontrol göre daha yüksek değerlerin olduğu belirlenmiş; en yüksek bitki boyu değerinin çiftlik gübresi uygulamasında olduğu tespit edilmiştir (Sato ve ark., 2010). Bir başka çalışmada, ise tavuk gübresinin ıspanak bitkisine etkisine bakılmış ve bitki boyunda tavuk gübresi uygulamasında, kontrol uygulamasına göre önemli oranda artışların olduğu saptanmıştır (Mufwanzala & Dikinya, 2010).

Çizelge 5. Biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının ıspanak bitkisine etkisi

Sürgün yaş ağırlığı (g/bitki)			
Uygulamalar	1.Yıl	2.Yıl	Yıllar ortalaması
K0	46.75 ± 19.14 e*	55.96 ± 16.20 e	51.36 ± 17.4 E*
K1	100.01 ± 53.56 de	125.31 ± 70.17 d	112.6 ± 6.52 D
B1	120.78 ± 35.96 d	184.23 ± 82.72 c	152.5 ± 59.29 CD
B2	139.46 ± 31.94 cd	212.78 ± 75.95 bc	176.12 ± 53.9 CD
B3	152.45 ± 26.75 cd	241.86 ± 70.23 b	197.15 ± 48.25 C
Ç1	186.16 ± 20.74 c	274.01 ± 78.87 b	230.09 ± 49.7 BC
Ç2	213.33 ± 10.98 bc	308.05 ± 78.10 b	260.69 ± 44.30 B
Ç3	240.15 ± 4.97 b	346.90 ± 83.43 a	293.52 ± 41.61 A
Sürgün kuru ağırlığı (g/bitki)			
K0	4.00 ± 1.92 öd	5.58 ± 2.26 öd	4.79 ± 2.06 D*
K1	9.32 ± 5.47	11.09 ± 5.46	10.21 ± 5.43 CD
B1	11.31 ± 4.15	15.27 ± 6.02	13.29 ± 5.08 C
B2	13.16 ± 3.32	19.40 ± 6.95	16.28 ± 5.13 BC
B3	14.08 ± 3.37	23.26 ± 8.35	18.64 ± 5.85 BC
Ç1	17.79 ± 2.63	27.26 ± 10.28	22.53 ± 6.45 B
Ç2	19.83 ± 0.97	31.47 ± 10.01	25.65 ± 5.45 B
Ç3	21.64 ± 1.22	35.89 ± 9.22	28.77 ± 5.19 A
Bitki boyu (cm)			
K0	9.16 ± 4.26 öd	10.50 ± 4.23 öd	9.83 ± 4.20 E*
K1	12.00 ± 4.85	14.00 ± 3.16	13.00 ± 3.96 D
B1	19.00 ± 6.29	23.50 ± 8.34	21.25 ± 7.24 C
B2	21.33 ± 6.59	27.00 ± 9.27	24.17 ± 7.92 BC
B3	24.50 ± 6.83	32.33 ± 9.20	28.42 ± 8.02 B
Ç1	28.83 ± 4.75	34.50 ± 8.26	31.67 ± 6.43 B
Ç2	31.00 ± 4.04	37.50 ± 8.26	34.25 ± 6.15 AB
Ç3	33.66 ± 4.41	40.83 ± 7.94	37.25 ± 6.15 A
Yaprak kalınlığı (mm)			
K0	0.21 ± 0.04 öd	0.29 ± 0.05 öd	0.25 ± 0.04 D*
K1	0.25 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.29 ± 0.05 CD
B1	0.33 ± 0.11	0.38 ± 0.09	0.36 ± 0.10 C
B2	0.39 ± 0.10	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.12 BC
B3	0.43 ± 0.08	0.48 ± 0.12	0.46 ± 0.10 B
Ç1	0.47 ± 0.07	0.53 ± 0.10	0.50 ± 0.09 B
Ç2	0.51 ± 0.08	0.58 ± 0.08	0.55 ± 0.08 A
Ç3	0.55 ± 0.05	0.60 ± 0.08	0.58 ± 0.07 A
Gövde çapı (mm)			
K0	2.78 ± 0.71 öd	3.80 ± 0.66 öd	3.29 ± 0.69 C*
K1	3.31 ± 0.72	4.41 ± 0.63	3.86 ± 0.67 C
B1	4.71 ± 1.70	5.72 ± 1.55	5.21 ± 1.61 BC
B2	5.67 ± 2.05	6.99 ± 2.26	6.33 ± 2.15 B
B3	5.91 ± 2.03	7.94 ± 2.99	6.93 ± 2.51 B
Ç1	7.19 ± 2.08	8.73 ± 3.08	7.96 ± 2.58 B
Ç2	7.68 ± 2.07	9.97 ± 3.51	8.83 ± 2.79 AB
Ç3	7.93 ± 2.19	10.73 ± 3.56	9.33 ± 2.88 A

*: P≤0.05 düzeyinde önemli, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, veriler ± standart sapmalarla ifade edilmiştir. Kontrol: K0, Kimyasal gübre (KG); K1, Biyokömür 100kg/da+K1; B1, Biyokömür 200kg/da+K1; B2, Biyokömür 300kg/da+K1; B3, Çiftlik gübresi 1ton/da+K1; Ç1, Çiftlik gübresi 2ton/da+K1; Ç2, Çiftlik gübresi 3ton/da+K1; Ç3

Yaprak kalınlığında gübre uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel açıdan (P≤0.05) önemli bulunmuştur. Yaprak kalınlığından elde edilen değerler arasında farklılıklar olmasına rağmen, dönem x gübre uygulamaları interaksyonu istatistiksel olarak önemsizdir. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal (Ç3) gübre uygulamasında en yüksek yaprak kalınlığı ortalaması 0.58 mm olurken, en düşük ortalama değer

ise 0.25 mm ile kontrol (K0) uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Yaprak kalınlığı değerlerine göre kontrol uygulamasının, gübre uygulamalarına göre azalış gösterdiği ve daha önceki çalışmalarla uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Vermikompostun ıspanak bitkisinde verim ve kaliteye etkisi belirlenmek amacıyla yapılan bir çalışmada, yaprak kalınlığı değerleri elde edilmiş; Vermikompost (0, 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da) uygulamalarının, kontrol uygulamalarına göre yaprak kalınlığı değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiş en yüksek değerin olduğu uygulama vermicompost 5 ton/da olduğu belirtilmiştir (Özkan ve ark., 2016). İnorganik ve organik gübrelerin ıspanakta büyüme ve gelişme üzerine etkileri incelenen çalışmada en yüksek yaprak kalınlığı değerlerinin, organik gübre ile kimyasal gübrenin birlikte uygulandığı uygulamadan elde edildiği tespit edilmiştir (Citak & Sonmez, 2010). Organik çay atıkları ve ahır gübresinin ıspanakta verim üzerine etkileri çalışılan başka bir çalışmada, kontrole göre en yüksek yaprak kalınlığı değerlerinin çay ve gübre karışımı uygulamada olduğu öne çıkmaktadır (Karataş & Büyükdinç, 2016).

Gövde çapında gübre uygulamaları arasındaki farklar istatistiki açıdan ($P \leq 0.05$) önemli bulunmuştur. Dönem x gübre uygulamaları interaksyonu istatistiki olarak önemsizdir. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulamasında (Ç3) en yüksek gövde çapı ortalaması 9.33 mm olurken, en düşük ortalama değerin ise 3.29 mm ile kontrol uygulamasında (K0) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Çalışmada en yüksek gövde çapı değerleri çiftlik gübresi uygulamalardan elde edilmiştir. Doz miktarı arttıkça gövde çapı değerlerinde de önemli artışlar olmaktadır. Gövde çapı değerleri 2.78 - 10.23 mm arasında yer almaktadır. Kontrol uygulaması (K0) en düşük değerin elde edildiği uygulama olarak tespit edilirken, çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulaması (Ç3) en yüksek değerin elde edildiği uygulama olarak belirlenmiştir. Ispanakta farklı organik kaynaklı gübre uygulamalarının bitki gelişimi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, en yüksek gövde çapı değerinin 7.16 mm ile çiftlik gübresi uygulamasında olduğu, en düşük gövde çapı değerinin ise 6.68 mm ile kontrol uygulamasında olduğu tespiti yapılmıştır (Yaman, 2019). Ispanağa farklı dozda uygulanan leonardit ve vermicompostun verim ve kaliteye etkisi bakılan bir çalışmada, gövde çapını gübre uygulamalarının, kontrol uygulamasına göre önemli oranda arttırdığı belirlenmiştir (Yıldız, 2019).

Sapa kalkma oranında gübre uygulamaları arasındaki farklar ve dönem x gübre uygulamaları interaksyonu istatistiki açıdan ($P \leq 0.05$) önemli bulunmuştur. Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulamasında (Ç3) en düşük sapa kalkma oranı ortalaması %3.43 olurken, en yüksek ortalama değerin ise %20.12 ile kontrol uygulamasında (K0) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6). Çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübrenin genel anlamda en iyi sonuçların elde edildiği uygulama olarak belirlenmiştir. Gübre uygulamalarının kontrol uygulamasına göre azalış gösterdiği ve daha önceki çalışmalarla uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Ispanak, yüksek sıcaklığa maruz kalırsa sapa kalkma oranı artmaktadır. Ispanakta sapa kalkma pazarlana bilirlilik açısından istenilmeyen bir durumdur (Sağlam, 2005). Ispanak üretimi için Van ekolojik koşullarında uygun ekim döneminin (ilkbahar dönemi ve sonbahar dönemi) belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, her iki dönemde de sapa kalkma oranı sorunuyla karşılaşmıştır. Fakat sonbahar döneminden elde edilen sapa kalkma oranı değerinin, ilkbahar dönemine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şensoy ve ark., 2011). Ispanak yetiştiriciliğinde uygun tohum ekim dönemi belirlenmesi amacıyla yapılan başka bir çalışmada, iki farklı yetiştirme dönemi (sonbahar dönemi ve ilkbahar dönemi) çalışılmış ve sonbahar döneminde elde edilen sapa kalkma oranının ilkbahar dönemi ekimine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tawfiq & Al-Sahaf, 2017).

Çizelge 7’de biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının toplam verime etkisi sunulmuştur. Sonbahar dönemine ait verilerde, biyokömür uygulamalarının, özellikle 200 kg/da ve 300 kg/da uygulama seviyelerinde, kontrol ve kimyasal gübre uygulamalarına göre belirgin bir verim artışı sağladığı görülmektedir. Çiftlik gübresi uygulamaları ise en yüksek verimi sağlayan uygulamalar olarak öne çıkmıştır. Ç3 (3 ton/da çiftlik gübresi + KG) uygulaması, toplam verimdeki en yüksek artışı (2267.60 kg/da) sağlamıştır, bu da çiftlik gübresinin toprak verimliliği üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Ayrıca, biyokömür ile kimyasal gübrenin birleşik kullanımı da verimi artırmada etkili olmuştur.

İlkbahar döneminde ise çiftlik gübresi ve biyokömür uygulamaları arasındaki farklar yine belirgin bir şekilde gerçekleşmiştir. Ç3 (3 ton/da çiftlik gübresi + KG) uygulaması, en yüksek verimi (738.35 kg/da) sağlamış, biyokömür uygulamaları ise verim artışında daha düşük oranlar göstermiştir. Ç3 (3 ton/da çiftlik gübresi + KG) uygulaması, verimde sonbahar döneminde 2267.60 kg/da, ilkbahar döneminde 738.35 kg/da ve ortalama 1502.9 kg/da olarak ön plana çıkmıştır. Ancak, biyokömür

uygulamalarının özellikle düşük oranlarda bile verimi artırdığı, toprağın besin içeriği ve bitki büyümesini desteklediği gözlemlenmiştir.

Bu bulgular, organik gübrelerin ve biyokömürün, özellikle sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında toprak verimliliğini artırmada önemli rol oynadığını ve her iki yöntemin de farklı düzeylerde etkinliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, çiftlik gübresinin daha büyük miktarlarının daha yüksek verimler sağladığı ve biyokömürün verimi artırmada daha belirgin etkiler gösterdiği bir dönemsel farklılık olduğu söylenebilir. Çalışma daha önce yapılmış olan paralel çalışmalarla uyum içerisindedir. [Ahmad ve ark. \(2024\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada, biyokömür uygulamasının topraktaki besin maddelerini artırarak, bitki besin elementi alımını ve büyümesini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Benzer şekilde, çalışmamızda da biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamaları ile bitki gelişiminde önemli artışlar gözlenmiştir.

Çizelge 6. Biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının ıspanak bitkisi sapa kalkma oranına etkisi

Sapa kalkma oranı (%)			
Uygulamalar	1.Yıl	2.Yıl	Yıllar ortalaması
K0	26.78 ± 9.58 a*	13.45 ± 4.08 bc	20.12 ± 6.83 D*
K1	19.55 ± 7.74 b	11.73 ± 4.59 bc	15.64 ± 6.16 C
B1	14.43 ± 4.56 bc	9.68 ± 4.65 c	12.06 ± 4.59 C
B2	10.08 ± 5.82 c	8.25 ± 5.08 c	9.17 ± 5.45 BC
B3	8.95 ± 4.99 c	6.63 ± 4.38 cd	7.79 ± 4.67 B
Ç1	6.25 ± 4.32 cd	5.30 ± 3.92 d	5.78 ± 4.12 AB
Ç2	4.80 ± 3.55 d	3.93 ± 3.27 de	4.37 ± 3.41 A
Ç3	3.75 ± 2.86 de	3.10 ± 2.47 de	3.43 ± 2.66 A

*: P≤0.05 düzeyinde önemli, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, veriler ± standart sapmaolarak ifade edilmiştir. Kontrol: K0, Kimyasal gübre (KG): K1, Biyokömür 100kg/da+K1: B1, Biyokömür 200kg/da+K1: B2, Biyokömür 300kg/da+K1: B3, Çiftlik gübresi 1ton/da+K1: Ç1, Çiftlik gübresi 2ton/da+K1: Ç2, Çiftlik gübresi 3ton/da+K1: Ç3

Çizelge 7. Biyokömür ve çiftlik gübresi uygulamalarının toplam verime etkisi

Toplam Verim (kg/da)			
Uygulamalar	1. Yıl (2020) Sonbahar Dönemi	2. Yıl (2021) Sonbahar Dönemi	Sonbahar Dönemi Yıllar Ortalaması
K0	499.88 ± 0.28 f*	666.60 ± 144.33 e	583.23 ± 2.15 D*
K1	625.03 ± 0.40 e	883.30 ± 14.05 de	754.18 ± 6.80 CD
B1	900.43 ± 0.45 de	1145.60 ± 89.80 d	1023.03 ± 45.2 C
B2	1250.13 ± 0.08 d	1508.28 ± 14.60 c	1379.20 ± 7.3 BC
B3	1500.13 ± 0.08 c	1675.08 ± 50.00 bc	1587.60 ± 25.5 B
Ç1	1525.20 ± 0.13 c	1943.48 ± 38.80 b	1734.33 ± 19.5 B
Ç2	1912.58 ± 0.05 bc	2204.25 ± 38.13 ab	2058.43 ± 9.1 AB
Ç3	2125.10 ± 0.08 b	2410.08 ± 56.38 a	2267.60 ± 28.3 A
Ortalama	1292.30 ± 560.05 öd	1554.58 ± 599.28	
Uygulamalar	1. Yıl (2021) İlkbahar Dönemi	2. Yıl (2022) İlkbahar Dönemi	İlkbahar Dönemi Yıllar Ortalaması
K0	87.55 ± 0.28 e*	110.10 ± 4.00 de	98.83 ± 1.90 CD*
K1	125.10 ± 0.10 de	168.43 ± 27.68 d	146.75 ± 1.31 C
B1	214.30 ± 1.50 d	251.80 ± 9.40 cd	233.18 ± 5 C
B2	292.33 ± 0.30 cd	400.70 ± 14.53 c	346.50 ± 7.2 BC
B3	400.40 ± 0.35 c	475.83 ± 0.7 bc	438.10 ± 0.43 B
Ç1	487.53 ± 0.25 bc	530.08 ± 38.65 b	508.80 ± 19.33 B
Ç2	622.90 ± 1.25 b	712.08 ± 49.85 ab	667.48 ± 7.43 AB
Ç3	675.85 ± 1.05 ab	800.88 ± 25.95 a	738.35 ± 11.45 A
Ortalama	363.23 ± 211.20 öd	431.23 ± 238.58	

*: P≤0.05 düzeyinde önemli, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, veriler ± standart sapmaolarak ifade edilmiştir. Kontrol: K0, Kimyasal gübre (KG): K1, Biyokömür 100kg/da+K1: B1, Biyokömür 200kg/da+K1: B2, Biyokömür 300kg/da+K1: B3, Çiftlik gübresi 1ton/da+K1: Ç1, Çiftlik gübresi 2ton/da+K1: Ç2, Çiftlik gübresi 3ton/da+K1: Ç3

Pandey ve ark. (2024), biyokömür ve kompostun birlikte kullanıldığında, kadmiyumla kontamine olmuş topraklarda toprak kalitesini iyileştirerek, bitki morfolojisi ve klorofil içeriğinde belirgin artışlar sağladığını bildirmiştir. Çalışmamızda da biyokömür ve gübre uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkileri benzer şekilde gözlenmiştir. Gürel (2024), yaptığı çalışmada torağa uygulanan organik bir madde olan gıda atığı kompostunun, toprağın organik madde içeriğini artırarak verimliliği iyileştirdiğini ve özellikle NPK ile beraber uygulandığında toprağın elektriksel iletkenliğini, organik madde ve azot oranını önemli ölçüde artırdığını belirtmektedir. İlkbahar ve sonbahar döneminde yetiştiriciliği yapılan ıspanağa biyokömürün etkisi incelenen çalışmada, biyokömür uygulamalarının ıspanakta büyüme ve gelişmeyi arttığı belirlenmiştir. Kontrol uygulamasına göre elde edilen toplam verimin ilkbaharda %100 ve sonbaharda ise %350 oranlarında olduğu ve sonbahar döneminden elde edilen değerlerin, ilkbahar dönemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zemanová ve ark., 2017). Ispanak yetiştiriciliğinde besin maddesi olarak deniz yosunu, bioenzim, sığır gübresi, tavuk gübresi, koyun gübresi ve inorganik gübre (NPK) çalışılmıştır. Genel anlamda organik gübrelerin kontrole göre verimi arttırdığı belirlenmiştir. Beşirli ve ark. (2010), çalışmalarında elde edilen en yüksek toplam verim değeri, 1150.29 kg/da ile sığır gübresi uygulamasıyla elde edilmiş olup, bunu 1134.54 kg/da ile tavuk gübresi uygulaması takip etmiştir. Majaule ve ark. (2022), biyokömürün, sulama suyundan fosforu tutma kapasitesinin arttığını ve fosforun biyoyararlanabilirliğini artırarak bitki alımını olumlu yönde etkilediğini belirtmektedirler. Ayrıca, Abdolahi Arshad ve ark. (2024) çalışmalarında, özellikle biyokömürün, yüksek besin adsorpsiyon ve su tutma kapasitesi sayesinde stres koşullarının bitki büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltılmasında da etkili olduğu belirtmektedirler. Son yıllarda, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önem kazanmasıyla birlikte, biyogübreler özellikle çevre dostu ve etkili gübre kaynakları olarak öne çıkmakta ve ıspanak gibi sebzelerde verim ve kaliteyi iyileştirmektedir (Günsan Can ve ark., 2022). Wang ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, asidik modifiye biyokömürün ıspanak bitkisi üzerinde büyüme, verim ve kaliteyi önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, bizim araştırmamızda da biyokömür uygulamalarının bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler sağladığı gözlemlenmiştir. Siddiqui ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, tavuk gübresi ve tavuk gübresi ile biyokömür karışımının, ıspanak ve marulda biyokütle üretimi ve ağır metal birikimi üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu uygulamalarının bitki biyokütlesi üzerinde önemli iyileşmelere yol açtığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, bizim araştırmamızda da çiftlik gübresi ve biyokömür uygulamalarının ıspanak biyokütlesi üzerinde önemli iyileşmelere yol açtığı belirlenmiştir.

Organik gübrelerin sürdürülebilir tarımda önemi uzun yıllardır vurgulanan bir konu olmuştur. Ancak, bu uygulamaların yaygınlaştırılabilmesi için üreticiler tarafından ekonomik açıdan da değerlendirilmesi gerekmektedir. Üreticiler için maliyet ve kazanç analizlerinin yapılması, organik gübre kullanımının ekonomik faydalarını ortaya koyarak bu yöntemlerin daha geniş bir şekilde kabul edilmesini sağlayabilir. Bu tür analizler, organik gübrelerin başlangıç maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen uzun vadede verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu sağladığını gösterebilir.

4. Sonuç

Sebze üretimi, doğru ve dengeli bir gübreleme gerektirir. Bu nedenle gübreleme ayrı bir öneme sahiptir. Tarımsal üretimde verim ve kalite olumsuz etkilenir çünkü toprakta istenilen mineral maddeler bulunmazsa veya yanlış bir gübreleme uygulanırsa tarımsal üretim kalitesi ve verim olumsuz etkilenir. Türkiye'de sebze yetiştiriciliğinde kimyasal gübreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sebze yetiştiriciliğinde kimyasal gübrelerin yerine organik gübrelerin kullanılması gereklidir. Yaygın olarak organik gübrelerin kullanılması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği ve ekolojik dengeyi iyileştirecektir. Bu çalışmanın amacı, Van koşullarında farklı ekim dönemlerinde ıspanakta inorganik kimyasal gübre kullanımına organik gübre takviyesi olarak biyokömür kullanımının ıspanağın büyüme ve gelişme parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Ispanakta organik gübre kullanımı, bazı büyüme ve gelişme parametrelerini (bitki boyu, sürgün yaş ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak kalınlığı, gövde çapı ve toplam verim) önemli ölçüde artırmıştır. Bu parametreler doğrultusunda, çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulamasının en yüksek sonuçların olduğu uygulama olarak belirlenmiştir. Bunu çiftlik gübresi 2 ton/da+kimyasal gübre, çiftlik gübresi 1 ton/da+kimyasal gübre, biyokömür 300 kg/da+kimyasal gübre, biyokömür 200 kg/da+kimyasal gübre, biyokömür 100 kg/da+kimyasal gübre, kimyasal gübre ve kontrol uygulamaları

takip etmiştir. Ispanakta sapa kalma oranında ise çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübre uygulaması en düşük değerlerin olduğu uygulama olarak belirlenmiştir.

İncelenmiş olan tüm parametrelere göre, çiftlik gübresi 3 ton/da+kimyasal gübrenin en yüksek sonuçların olduğu uygulama olarak tespit edilmiş ve bunu yine çiftlik gübresinin diğer dozları (çiftlik gübresi 2 ton/da+kimyasal gübre ve çiftlik gübresi 1ton/da+kimyasal gübre) takip etmiştir. Bu çalışma, ıspanak yetiştiriciliğinde çiftlik gübresinin kimyasal gübreye takviye olma potansiyelini ortaya koymakta ve gelecekteki araştırmalara, sürdürülebilir gübreleme yöntemleri konusunda önemli bir temel oluşturması beklenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FDK-2020-9302 No'lu proje olarak desteklenmiştir. Çalışma birinci yazarın doktora tezinin bir kısmını içermektedir. Bu çalışmaya destek sağlayan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Abdolah Arshad, M., Rangzan, N., & Nadian Ghomsheh, H. (2024). Effect of spent tea waste, compost and biochar on some growth parameters and concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 47(7), 1029-1044. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2292763>
- Adiloğlu, A., & Eraslan, F. (2012). Gübreler ve gübreleme tekniği. İçinde, M. R. Karaman (Ed.). *Bitki besleme "sağlıklı bitki, sağlıklı üretim"* (pp. 347-474). Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi.
- Ahmad, S., Sehrish, A. K., Umair, M., Mirino Jr, M. W., Ali, S., & Guo, H. (2024). Effect of biochar amendment on bacterial community and their role in nutrient acquisition in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under elevated CO². *Chemosphere*, 364, 143098. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143098>
- Anonim. (2022). Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü – Van. Erişim tarihi: 01.07.2022. <https://van.mgm.gov.tr/>
- Asri, F. Ö., Demirtaş, E. I., Özkan, C. F., & Arı, N. (2011). Organik ve kimyasal gübre uygulamalarının hıyar bitkisinin verim, kalite ve mineral içeriklerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 139-143.
- Beşirli, G., Sönmez, İ., Keçeci, M., & Güçdemir, İ. (2010, Temmuz). *Organik ıspanak üretiminde farklı bitki besin maddesi uygulamalarının toprak yapısı üzerine etkilerinin belirlenmesi*. Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu, Erzurum.
- Blackwell, P., Riethmuller, G., & Collins, M. (2009). Biochar application to soil. In J. Lehman, S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp. 2027-226). Earthscan.
- Bozoğlu, M., & Tepe, I. (2023). Beypazarı (Ankara)'nda havuç, ıspanak ve marul yetiştiriciliğine genel bir bakış ve yabancı ot sorunu. *Turkish Journal of Weed Science*, 26(2), 83-97.
- Citak, S., & Sonmez, S. (2010). Effects of conventional and organic fertilization on spinach growth, yield, vitamin c and nitrate concentration during two successive seasons. *Scientia Horticulturae*, 126(4), 415-420. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.010>
- Çıtak, S., Sönmez, S., Koçak, F., & Yaşın, S. (2011). Vermikompost ve ahır gübresi uygulamalarının ıspanak bitkisinin gelişimi ve toprak verimliliği üzerine etkileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 28(1), 56-69.
- Dong, X., Guan, T., Li, G., Lin, Q., & Zhao, X. (2016). Long-term effects of biochar amount on the content and composition of organic matter in soil aggregates under field conditions. *Journal of Soils and Sediments*, 16, 1481–1497.
- FAOSTAT. (2022). 20. Statistic Database. Erişim Tarihi: 01.06.2022. <https://www.fao.org/faostat/en>
- Göksu, G. A., & Kuzucu, Ö. (2017). Karpuzda farklı dozlardaki vermikompost uygulamalarının verim ve bazı kalite parametrelerine etkisi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 48-58. <https://doi.org/10.28979/comufbed.344546>

- Günel, E., & Erdem, H. (2018). Biyokömür tanımı kullanım ve tarım topraklarındaki etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 87-93. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.405858>
- Günsan Can, B., Yıldız, M., & Şensoy, S. (2022). Mikroalg kullanımının ıspanakta bitki gelişimi üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science & Technology*, 12(4), 1884-1895. <https://doi.org/10.21597/jist.1110614>
- Gürel, S. (2024). Gıda atığı kompostu ile kimyasal gübre uygulamasının marul ve ıspanak yetiştirilen vertisol grubu toprakların verimliliğine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(2), 396-408. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1433803>
- Kacar, B., & Katkat, A. V. (2007). *Gübreler ve gübreleme tekniği*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Kacar, B., & Kütük, C. (2010). *Gübre Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Karataş, A., & Büyükdinç, D. T. (2016). Organik çay atığının ıspanak ve marul yetiştiriciliğinde bitki gelişimi üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 201-210.
- Keskinaslan, G. S., Saridas, M. A., & Paydaş, S. (2023). Biyokömürün çilek yapraklarında besin element içerikleri üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 520-528. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1282155>
- Kılavuz, E., & Erdem, İ. (2019). Dünyada tarım 4.0 uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü. *Social Sciences*, 14(4), 133-157.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An introduction. In *Biochar for environmental management: Science and technology*, (pp. 1-12). Earthscan.
- Lescheva, M., & Ivolga, A. (2015). Intensification of agricultural production vs. environmental management: Russia's approaches to green economics. In A. Jean-Vasile, I. R. Andreea, T. R. Adrian (Eds.), *Green economic structures in Mmodern business and society* (pp. 140-160). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8219-1.ch008>
- Majaule, U., Dikinya, O., & Glaser, B. (2022). Biochar and sewage sludge phosphorus fertilizer effects on phosphorus bioavailability and spinach (*Spinacia oleracea* L.) yields under no-till system in semi-arid soils. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11(4). <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1927076.1231>
- Mounirou, M. M., Kaya, E. C., Ouedraogo, A. R., Demir, K., Güneş, A., & İnal, A. (2020). Biyokömür ve organik gübre uygulamalarının soğan bitkisinin gelişimi ve kimyasal gübreden yararlanma oranına etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 36-45. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.757008>
- Mufwanzala, N., & Dikinya, O. (2010). Impact of poultry manure and its associated salinity on the growth and yield of spinach and carrot, *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4), 489-494.
- Özkan, C. F., Asri, Ö. F., Demirtaş, E. I., & Arı, N. (2013). Örtüaltı biber yetiştiriciliğinde organik ve kimyasal gübre uygulamalarının bitkinin beslenme durumu ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 2(2), 96-101.
- Özkan, N., Dağlıoğlu, M., Ünser, E., & Müftüoğlu, M. (2016). Vermikompostun ıspanak verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-5.
- Pandey, M., Mishra, S. M., Tiwari, A., Tirkey, A., Tiwari, A., Dubey, R., Alamri, S., & Pandey, S. K. (2024). A systematic study on synergistic effect of biochar-compost in improving soil function and reducing cadmium toxicity in *Spinacia oleracea* L. *Environmental Technology & Innovation*, 36, 103775. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103775>
- Rasheed, A., Anwar, S., Shafiq, F., Khan, S., & Ashraf, M. (2024). Physiological and biochemical effects of biochar nanoparticles on spinach exposed to salinity and drought stresses. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 14103-14122. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31953-7>
- Sağlam, F. (2005). *Ispanak yetiştiriciliği*, T.C. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, No: S/6.
- Sato, A., Takeda, H., Oyanagi, W., Nishihara, E., & Murakami, M. (2010). Reduction of cadmium uptake in spinach by soil amendment with animal waste compost. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3), 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.011>
- Schoenau, J. (2006). Benefits of long-term application of manure. *Advances in Pork Production*, 17, 153.

- Siddiqui, H. J., Gul, S., Kakar, A., Shaheen, U., Rehman, G. B., Khan, N., & Samiullah, N. (2021). Poultry manure as an organic fertilizer with or without biochar amendment: Influence on growth and heavy metal accumulation in lettuce and spinach and soil nutrients. *Phyton*, 90(2), 651–676. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.011413>
- SPSS. (2020). IBM SPSS software. <http://www.ibm.com/tr-tr/analytics/spss-statistics-software>
- Şalk, A., Arın, L., Deveci, M., & Polat, S. (2008). *Özel sebzeçilik*. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Ders Kitabı, 480s, İstanbul.
- Şensoy, S., Türkmen, Ö., & Görgün, Y. (2011). Determination of suitable sowing dates for spinach production in Van ecological condition. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 140-145.
- Tawfiq, G. K., & Al-Sahaf, F. H. (2017). Role of different manure source and level on quantitative and qualitative characteristics of cabbage and spinach yield. *Kufa Journal For Agricultural Sciences*, 9(1), 267-239.
- Wang, J., Shi, D., Huang, C., Zhai, B., & Feng, S. (2023). Effects of common biochar and acid-modified biochar on growth and quality of spinach in coastal saline soils. *Plants*, 12(18), 3232. <https://doi.org/10.3390/plants12183232>
- Yaman, Ö. (2019). *Farklı organik kaynaklı gübre uygulamalarının ıspanakta (Spinacia oleracea L.) bitki gelişimi, verim, kalite özellikleri ve besin elementi içeriği üzerine etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Yıldız, K. Y. (2019). *Farklı dozda uygulanan leonardit ve vermicompostun yaprağı yenen sebzelerde (marul ve ıspanak) verim ve kalite kriterlerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Zemanová, V., Břendová, K., Pavlíková, D., Kubátová, P., & Tlustoš, P. (2017). Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard. *Plant Soil and Environment*, 63(7), 322–327. <https://doi.org/10.17221/318/2017-pse>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Katı-Sıvı Ekstraksiyonunda Matematiksel Modelleme ve Termodinamik Değerlendirme

Ümran CANSU^{*1}, Gökhan BORAN²

¹Harran Üniversitesi, OSB Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Programı, 63200, Şanlıurfa, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Ümran CANSU, ORCID No: 0000-0002-0504-8308, Gökhan BORAN, ORCID No: 0000-0002-8871-8433

*Sorumlu yazar e-posta: umrancansu@harran.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 05.03.2024

Kabul: 29.08.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1447518

Anahtar Kelimeler

Katı-sıvı ekstraksiyon,
Kinetik modelleme,
Termodinamik

Öz: Çözücü ekstraksiyonu gıda endüstrisinde sıkça kullanılan basit ve aynı zamanda etkili bir tekniktir. Son yıllarda özellikle atıkların işlenmesi, ekonomik katma değerin artırılması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve biyolojik kaynakların verimli kullanılması için sıklıkla tercih edilen bir uygulamadır. Elde edilmek istenen bileşen ve kullanılan hammaddeye bağlı olarak farklı parametrelerle uygulanan çözücü ekstraksiyonunda, çözücü ve karışımları, çözücü-hammadde oranı, sıcaklık ve hammadde özellikleri en çok üzerinde durulan parametreler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu derleme çalışmada, söz konusu parametrelerin katı-sıvı ekstraksiyonunda verim üzerine etkisi ve işlemin matematiksel olarak modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca katı-sıvı ekstraksiyonu termodinamik yönden de değerlendirilmiştir. Katı-sıvı ekstraksiyonunda verimin artırılması, varyasyonların azaltılması, üretimde karşılaşılan zorlukların ve üretim maliyetinin düşürülmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılan modelleme ve termodinamik çalışmalar; farklı ekstraksiyon parametrelerinin son ürünün verim ve kalitesi üzerine etkisini belirlemek, ekstraksiyonda gerçekleşen fiziksel ve kimyasal olayları açıklamak ve en önemlisi prosesin öngörülebilirliğini sağlamak bakımından önemlidir.

Mathematical Modeling and Thermodynamic Assessment in Solid-Liquid Extraction

Article Info

Received: 05.03.2024

Accepted: 29.08.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1447518

Keywords

Kinetic modeling,
Solid-liquid extraction,
Thermodynamics

Abstract: Solvent extraction is a simple yet effective technique commonly used in the food industry. It has recently been preferred, especially in processing food waste, creating value-added products, preventing environmental pollution and efficient use of biological resources. In solvent extraction, different parameters depending on the extract, raw materials used, solvent and their mixtures, a ratio of solvent to raw material, temperature and raw material characteristics stand out as the most emphasized and studied parameters. In this review study, the effect of the mentioned above on extraction yield and recent studies on mathematical modelling of extraction are generally evaluated. In addition, solid-liquid extraction is examined thermodynamically. It is essential to increase efficiency in solvent extraction, minimize variations, and reduce costs and possible difficulties encountered in production. Therefore, mathematical modeling and thermodynamic evaluation are crucial tools to increase the product's yield and quality, explain physical and chemical events that occurred in the extraction process, and most, importantly, provide predictability for the process.

1. Giriş

Organik maddelerin içerdiği değerli ve biyoaktif bileşenlerin geri kazanımı için çözücü ekstraksiyonu yaygın kullanılan bir uygulamadır. Bu amaçla, hedef bileşenin içinde en iyi çözündüğü çeşitli çözücüler kullanılmaktadır. Elde edilmesi hedeflenen bileşenin çözücüye geçmesi sıcaklık ve karıştırma gibi unsurlarla sağlandıktan sonra çözücünün uzaklaştırılması gerekmektedir (Winitson ve ark., 2008). Birçok endüstride farklı uygulamaları olmasıyla beraber günümüz gıda endüstrisi de, çözücü ekstraksiyonu tekniklerine oldukça yoğunlaşmış olup bu tekniklerden yaygın bir şekilde faydalanmaktadır. Ayrıca, son yıllarda bitkisel ve hayvansal pek çok işleme artığının değerlendirilmesinin önem kazanması, bu değerli bileşenlerin geri kazanımı ve katma değerinin yükseltilmesi önem kazanmıştır (Winitson ve ark., 2008; Chan ve ark., 2014). Çözücü ekstraksiyonu, birçok ana gıda maddesinin elde edilme yöntemi olmasının yanı sıra söz konusu gıda atıklarının değerlendirilmesinde en çok kullanılan teknik olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte gıda biliminde atıkların değerlendirilmesi ve değerli bileşenlerin geri kazanımı konusunda çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen bu çalışmalar genellikle bitkisel gıda atıklarından aktif bileşiklerin elde edilmesine yoğunlaşmıştır. Örneğin; üzüm posasından fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu, domates çekirdeklerinden protein ekstraksiyonu, zeytin yapraklarından antioksidan bileşenlerin ekstraksiyonu gibi çalışmalar mevcutken, hayvansal ürün işleme atıkları olan deri, kemik vb. atıklardan çözücü ekstraksiyonu ile jelatin elde edilmesi gibi çalışmalar bulunmaktadır (Mantell ve ark., 2002; Seikova ve ark., 2004; Carcel ve ark., 2010; Cansu & Boran, 2015; Cansu & Boran, 2022).

Organik maddelerden çeşitli bileşenlerin ekstraksiyonu pek çok sektörde uygulama alanı bulmaktadır. Ekstraksiyon işleminde verim, hız, maliyet ve son ürünün kalite unsurları önem arz etmektedir. Gıda sektöründe ekstraksiyon yoluyla elde edilen bileşenler için de söz konusu unsurlar önemlidir ve en çok üzerinde durulan unsur verim olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, ekstraksiyonda kullanılan hammaddeye uygulanacak ön işlemler, hedef bileşen için elde edilecek verim miktarını önemli derecede etkilemektedir. En yüksek verim için, hedef bileşenin öncelikle izole edilmesi, hedef bileşen haricindeki bileşenlerin hammaddeden uzaklaştırılması, hammaddenin yüzey alanının artırılması, uygun sıcaklık, süre ve hammadde:çözücü oranı uygulanarak ekstraksiyon yapılması hedeflenir. Ayrıca, ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu ve kinetik modelleme, ekstraksiyon koşullarının prosesi, verim ve kalite unsurlarını nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Kinetik çalışmalar, verim ve kalite unsurlarına etkiyen unsurların etki düzeyinin anlaşılması ile hedeflenen verim ve kalite düzeylerine ulaşması temin etmektedir (Chan ve ark., 2014).

Katı-sıvı ekstraksiyonu belli bir hızda ve belli bir kinetik ile ilerlemektedir. Kinetik modelleme bu işlemin ilerleyişini matematiksel olarak açıklayan ve tahminlerde bulunmayı kolaylaştıran bir yaklaşımdır. Ekstraksiyon kinetiği belli olan bir prosesin, ekstraksiyonun herhangi bir zaman diliminde veya herhangi bir parametre düzeyinde anlık ilerleyişi (genellikle verim) tahmin edilebilir olmaktadır. Kinetik modelleme, biyokimyasal reaksiyonlar ile birlikte mikrobiyolojik ve fiziksel (kristalizasyon, yoğunluk değişimi, kütle transferi) değişimlerde de kullanılmaktadır (Tijssens ve ark., 2011; Chan ve ark., 2014). Ekstraksiyon prosesinin termodinamik olarak incelenmesi bir diğer önemli konu olarak ortaya çıkmakta, prosesin enerji ihtiyacının belirlenmesi ve ekstraksiyon hız ve veriminin hangi düzeyde olacağı hakkında bilgi vermektedir. Termodinamik parametrelerin incelenmesi sayesinde ekstraksiyon işleminde elde edilen hedef bileşenin ekstraksiyon süresince ısı ve enerji ile ilgili davranışları tespit edilmiş olmaktadır.

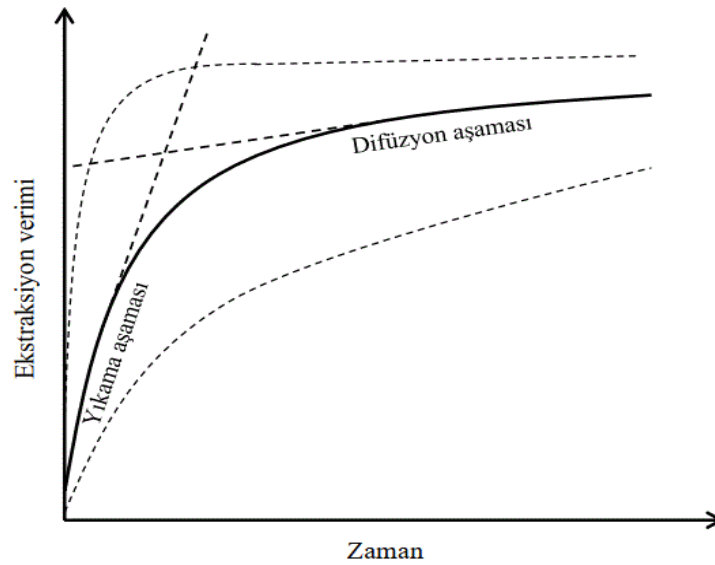
Bu çalışmada; çözücü ekstraksiyonu genel anlamda ele alınarak, özellikle gıda işleme artıkları ile ilgili yapılan çözücü ekstraksiyonunun işleyiş mekanizması ve en çok uygulanan parametrelerine değinilmiştir. Gıda artıkları ile yapılan ekstraksiyon işlemleri, kinetik modelleme ve termodinamik yaklaşımlar derlenerek aktarılmıştır. Bunun yanında çözücü ekstraksiyon işleminin tahmin edilebilirliği için en çok kullanılan matematiksel modeller ve kinetik parametreler açıklanmıştır.

2. Çözücü Ekstraksiyonu

Çözücü ekstraksiyonu; temelde iki aşamada gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, aktif bileşenlerin çözücüye geçişi zamana karşı grafiğe geçirildiği zaman ekstraksiyon eğrisi elde edilir ve birçok hammadde için aktif bileşenin çözücüye geçişini temsil eder. Ekstraksiyon eğrisi genellikle hızlı

ekstraksiyon aşaması (yıkama aşaması) ve yavaş ekstraksiyon aşamasından (difüzyon aşaması) oluşmaktadır (Şekil 1).

Ekstraksiyon işleminde, çözücünün aktif bileşene teması ve dolayısıyla aktif bileşenin çözücüye geçişi gerçekleşir (Perez ve ark., 2011; Chan ve ark., 2014). Çözücünün hammaddede ile teması sonucunda hızlı ekstraksiyon aşaması başlamakta ve bu aşama hedef bileşenin çözücüye en hızlı geçiş yaptığı aşama olmaktadır. Söz konusu aşama, hızlı ekstraksiyon aşaması veya yıkama aşaması olarak adlandırılmakta ve hammaddede bulunan hedef bileşenin doğrudan çözücüye geçtiği aşamadır (Chan ve ark., 2014). Hedef bileşenin ana materyalde bulunduğu konuma ve kullanılan parametrelerin etkinliğine bağlı olarak genel anlamda hızlı ekstraksiyon (yıkama) aşamasında hedef bileşenin büyük kısmı elde edilebilmektedir. Herhangi bir ekstraksiyon işleminde elde edilecek en yüksek hedef bileşen veriminin %70'i hızlı ekstraksiyon basamağında gerçekleşmektedir. Öyle ki, bu oran bazen %90'ları bulabilmektedir. Bu nedenle, hızlı ekstraksiyon aşamasının verimi toplam ekstraksiyon verimini çok önemli ölçüde etkilemektedir (Perez ve ark., 2011; Cansu & Boran, 2022). Ekstraksiyon veriminin zamana karşı grafiğinde hızlı ekstraksiyon aşaması yüksek eğimli bir eğri olarak yer alır (Şekil 1). Bu aşamada, hedef bileşen çözücüye çok hızlı bir şekilde geçtiği için geçiş hızının belirlenmesi biraz karmaşık ve güçtür (Cansu & Boran, 2022).



Şekil 1. Ekstraksiyon eğrisi (Chan ve ark., 2014).

Ekstraksiyon işlemindeki ikinci aşama ise difüzyon aşaması olarak bilinmekte ve bu aşamada hammaddenin daha iç kısımlarında bulunan ve ayrılması daha zor olan hedef bileşenin çözücüye geçişi beklenmektedir. Ekstraksiyonda kullanılan çözücünün hammaddenin iç kısımlarına nüfuzu daha zor olmakta ve bu nedenle bu kısımda yer alan hedef bileşenin geri kazanımı daha yavaş gerçekleşmektedir (Winitson, 2008; Chan ve ark., 2014). Bu aşama, ekstraksiyon eğrisinde yıkama aşamasının sonrasında seyreden ve daha düşük eğimli hatta gittikçe yataya yakın bir eğri olarak devam eden yavaş ekstraksiyon basamağı ya da difüzyon aşaması olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1). Ekstraksiyon hızı ve verimi, yıkama aşamasında hammaddede yer alan hedef bileşen konsantrasyonuna, çözücü etkinliğine, sıcaklığa ve karıştırma-çalkalama gibi mekanik işlemlere bağlı iken; difüzyon aşamasında hammaddenin şekil ve boyut gibi özellikleri yanı sıra yüzey alanı, parçalanma düzeyi gibi unsurlara bağlı olarak gerçekleşmektedir (Perez ve ark., 2011).

2.1. Çözücü ekstraksiyonunda önemli parametreler

Ekstraksiyonda kullanılacak hammadde ve elde edilmesi planlanan hedef bileşene göre farklı çözücü ve ekstraksiyon koşulları uygulanmaktadır. Bu durum, hedef bileşenin istenen özelliklerde ve yüksek verimde elde edilebilmesine yöneliktir. Çözücü ekstraksiyonunda öne çıkan en önemli

parametreler; hedef bileşen konsantrasyonu, hedef bileşenin çözünürlüğü, ekstraksiyonda kullanılan çözücü türü, hammadde yüzey alanı, ekstraksiyon sıcaklık ve süresi, karıştırma veya çalkalama gibi mekanik işlemlerin varlığı ve çözücü:hammadde oranı olarak sıralanabilir. Her ekstraksiyon işleminde, yukarıda bahsi geçen parametrelerin en yüksek verim ve kalitenin elde edilmesi için optimize edilmesi gerekmektedir (Büyüktuncel, 2012).

2.1.1. Çözücü türü ve karışımları

Ekstraksiyonda kullanılan farklı çözücüler, hedef bileşenin geçişi için gerekli olan aktivasyon enerjisi eşiğini farklı düzeylerde aşar (Rakotondramasy-Rabesiaka ve ark., 2009; Chan ve ark., 2014). Bu enerjiyi daha hızlı aşan çözücü ve/veya çözücü karışımları, hammaddede matriksinde bulunan ve çözücüye geçmesi zor olan hedef bileşenin etkin bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır. En yaygın olarak kullanılan çözücüler inorganik bir çözücü olan destile suyun yanı sıra etanol ve hekzan gibi organik çözücülerdir. Ayrıca bu çözücülerin farklı oranlarda karışımları da enerji bariyerini daha etkin bir şekilde aşmak ve en az çözücü ihtiyacı için kullanılmaktadır. En uygun çözücü türü ve/veya karışımı kullanıldığında, özellikle yıkama aşamasının daha hızlı gerçekleşmesi, dolayısıyla ekstraksiyon süresinin kısaltması ve ekstraksiyon veriminin artması sağlanmaktadır (Rakotondramasy-Rabesiaka ve ark., 2009).

2.1.2. Çözücü/katı madde oranı

Doğru bir çözücü/katı madde oranı, aktif bileşenlerin difüzyon sırasında kütle transfer bariyerini düşürerek ekstraksiyon verimini artırmaktadır. Genel kütle transferi ilkelerine paralel olarak, yüksek çözücü/hammadde oranı ve hammadde ile çözücüde bulunan hedef bileşen konsantrasyonu arasındaki farkın daha yüksek olması, hedef bileşenin çözücüye daha hızlı geçmesi ile sonuçlanmaktadır (Carciochi ve ark., 2018). Ancak optimum çözücü oranından yüksek bir oran seçildiğinde ekstraksiyon verimi artmamakla birlikte çözücü artışı da oluşmaktadır. Bu durum, son ürün elde edilirken ekstraksiyon işlemi maliyetini artırmaktadır (Herodez ve ark., 2003; Franco ve ark., 2007; Qu ve ark., 2010). Bununla birlikte yüksek çözücü/katı madde oranı yıkama aşamasındaki verimi artırırken, yıkama aşamasındaki hedef bileşenin geçiş hızının çözücü/katı madde oranından önemli ölçüde etkilenmediği tespit edilmiştir. (Herodez ve ark., 2003). Düşük çözücü/katı madde oranında gerçekleştirilen ekstraksiyonda, denge veriminin düşmesi nedeniyle yüksek çözücü/katı madde oranında gerçekleştirilenlere ekstraksiyonlara göre çok daha hızlı dengeye ulaşma eğiliminde olmaktadır (Stanisavljevic ve ark., 2008).

2.1.3. Parçacık büyüklüğü

Aktif bileşenlerin difüzyonunu en çok etkileyen parametre katı materyalin parçacık büyüklüğü olarak saptanmıştır (Qu ve ark., 2010). Parçacık boyutunun küçülmesiyle beraber artan yüzey alanına bağlı olarak hem yıkama hem de difüzyon aşamasında hedef bileşenlerin difüzyon hızı artmaktadır. Buna bağlı olarak ekstraksiyon süresi kısalmaktadır. Ayrıca hammaddenin parçacık boyutu küçüldükçe hem hücreler arasında hem de hücre içinde bulunan bileşenlerin daha hızlı şekilde çözücü ile karşılaşması mümkün olmakta ve ekstraksiyon veriminin artması sağlanmaktadır. Ancak bu durum, aynı zamanda kullanılan ana materyalin geometrik şekli ile de ilişkilidir. Çok ince ve düz plaka şeklindeki materyallerde hedef bileşenin çözücüye geçiş hızı daha çok hammadde boyutlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Wongkittipong ve ark., 2004). Parçacık boyutunun küçülmesi ile birlikte ekstraksiyon çözeltisine istenmeyen bileşenlerin geçiş miktarı da artmaktadır (Qu ve ark., 2010; Cisse ve ark., 2012). Bu durum, son ürünün saflık derecesini ve kalitesini olumsuz yönde etkilemekte ve bununla birlikte istenmeyen maddelerin hedef bileşenden ayrılmasını zorunlu kılmaktadır.

2.1.4. Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi

Ekstraksiyon sıcaklığı aktif bileşenlerin dayanımını etkileyen ve kontrol eden parametre olarak bilinmektedir. Sıcaklığın etkisi, enerji bariyerini düşürerek hedef bileşenin difüzyon hızının artmasının yanında hem yıkama hem de difüzyon aşamasının verimini de artırmaktadır. Ancak bu durum her ekstraksiyon işlemi için geçerli değildir. Yüksek sıcaklıklar ile yapılan ekstraksiyonlar, termal olarak

stabil olmayan bileşenlerin zarar görmesine dolayısıyla son ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Sıcaklığa duyarlı bileşenler için uygun ekstraksiyon sıcaklığının seçilmesi hem bileşenlerin bozulmasını hem de ekstraksiyon etkinliğini etkilemektedir. Bunun yanında, termal olarak stabil olan aktif bileşenler için farklı sıcaklıkların uygulanması ekstraksiyon süresinin kısılmasını sağlamaktadır (Rakotondramasy-Rabesiaka ve ark., 2009; Cisse ve ark., 2012; Xiao ve ark., 2012).

2.1.5. Çözücünün iyon konsantrasyonu

Hedef bileşen izoelektrik noktanın altında ve üstündeki pH değerlerinde çözünmektedir. İzoelektrik nokta dışındaki pH değerleri hedef bileşenin geçiş hızını etkilemektedir. Öyle ki bazı pH değerleri tampon görevi görerek hedef bileşenin geçişini yavaşlatırken bazı pH değerleri ise daha hızlı çözünmesini ve geçmesini sağlamaktadır. Ayrıca, elektriksel kuvvetin asit veya alkali muameleler ile ortadan kaldırılması, yapısal değişikliklerle hedef bileşenin daha kolay taşınmasını sağlayabilmektedir (Liu ve ark., 2015). Bu durumda, çözücünün pH değeri hedef bileşenin çözücüye geçiş hızını artırmak ve daha yüksek verim elde etmek için ayarlanmaktadır (Cansu & Boran, 2022).

3. Katı-Sıvı Ekstraksiyon Kinetiği ve Modelleme

Matematiksel modeller; prosesin uygulanmasını, optimizasyonunu, dizaynını ve kontrolünü kolaylaştıran araçlar olarak düşünülebilir. Ekstraksiyon işlemi söz konusu olduğunda, matematiksel modeller enerji, zaman, hammadde ve çözücünün etkin kullanımını sağlamaktadır. Kinetik modeller; gıda kalitesi ile ilgili kimyasal, fiziksel ve mikrobiyel değişimlerin gidişatını göstermektedir.

Kinetik çalışmalar ile gıdalarda meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonların gidişatı ve hızı modellenebilir ve söz konusu modeller ile endüstriyel proseslerin öngörülebilirliği artırılabilir. Ayrıca, kinetik modeller ile söz konusu reaksiyonların hangi parametrelerden nasıl etkilendiği de ortaya konabilir. Kinetik modeller, belli bir prosesin hangi koşullarda hangi sonuçları üreteceğini tahmin etmek için kullanılabilecek araçlardır (Van Boekel Maj, 2000). Ekstraksiyon aşamalarında elde edilen ürün kalitesi ve verimin hangi parametrelerden etkilendiği ya da ne yönde etkilendiği ancak matematiksel bir yöntemle açıklanabilmektedir. Böylece, ekstraksiyon prosesi için gereken enerji ihtiyacı, kullanılacak hammadde miktarı, gerekli ekstraksiyon süresi, beklenen verim gibi unsurlar tahmin edilebilir (Van Boekel Maj, 2000; Chan ve ark., 2014).

Gıda alanında yapılan modelleme çalışmaları daha çok bitkisel kaynaklı aktif bileşenlerin çözücü ekstraksiyonu ile eldesi ve kinetik modellenmesi ile ilgili olarak yapılmıştır. Ancak son zamanlarda hayvansal ürün işleme artıkları ile ekstraksiyon ve modelleme çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda ekstraksiyon prosesinin hangi parametrelerden ne derece etkilendiği araştırılmış ve ekstraksiyon veriminin artırılması için parametreler farklı düzeylerde uygulanmıştır. Çizelge 1’de, literatürde mevcut çalışmalarda belirtilen ekstraksiyon parametreleri ve matematiksel modeller verilmiştir.

Çizelge 1. Çözücü ekstraksiyonu üzerine yapılan kinetik modelleme çalışmaları

Ekstraksiyon İşlemi	Model	Parametre(ler)	Kaynak
Darıdan polisakkarit ekstraksiyonu	I. derece	Ekstraksiyon sıcaklığı Çözücü oranı Karıştırma hızı	Zhu (2022)
Kolombiya propolisinin ekstraksiyonu	I. derece Parabolik difüzyon Peleg’s	Ekstraksiyon sıcaklığı	Barrientos-Lezcano ve ark. (2023)
Su yosunundan biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu	Peleg’s	Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması	Golshany ve ark. (2024)
Fındık kabuklarından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu	I. derece Peleg’s Kararsız difüzyon Film teorisi	Ekstraksiyon sıcaklığı Partikül büyüklüğü Çözücü oranı	Dulo ve ark. (2023)

Çizelge 1. Çözücü ekstraksiyonu üzerine yapılan kinetik modelleme çalışmaları (devam)

Ekstraksiyon İşlemi	Model	Parametre(ler)	Kaynak
Mantardan polisakkarit ekstraksiyonu	Difüzyon kontrolü	Farklı ekstraksiyon yöntemleri Ekstraksiyon sıcaklığı	Hou ve ark. (2024)
Portakal kabuğundan uçucu yağ ekstraksiyonu	I. derece	Ekstraksiyon sıcaklığı Çözücü oranı Çözücü çeşidi	Amanullah (2024)
Domates işleme atıklarından likopin ekstraksiyonu	I. derece Difüzyon kontrolü Peleg's	Çözücü oranı Ekstraksiyon sıcaklığı	Poojary ve ark. (2015)
Arpadan toplam polifenol ekstraksiyonu	Kararsız difüzyon	Çözücü oranı ve çeşidi Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi	Paunovic ve ark. (2014)
Bitkilerden andrografolid ekstraksiyonu	Difüzyon kontrolü	Çözücü oranı ve çeşidi Partikül büyüklüğü Ekstraksiyon sıcaklığı	Wongkittipong ve ark. (2004)
Balıktan kolajen ekstraksiyonu	Parabolik difüzyon Peleg's	Farklı balık türlerinin ekstraksiyon verimlerinin modellerle karşılaştırılması	Kiew & Don (2013)
Yağ ekstraksiyonu	Difüzyon kontrolü	Çözücü oranı	Franco ve ark. (2007)
Antioksidan ekstraksiyonu	Difüzyon kontrolü	Ekstraksiyon sıcaklığı Çözücü oranı Partikül büyüklüğü	Herodez ve ark. (2003)
Tütün çekirdeğinden yağ ekstraksiyonu	Kararsız difüzyon	Çözücü çeşidi ve oranı	Stansiavljevic ve ark. (2008)
Nar kabuğundan toplam fenolik bileşen ekstraksiyonu	Oran yasası	Çözücü oranı Partikül büyüklüğü Ekstraksiyon sıcaklığı	Qu ve ark. (2010)
Üzüm çekirdeklerinden toplam polifenol ekstraksiyonu	Peleg's	Partikül büyüklüğü Ekstraksiyon sıcaklığı	Bucic-Kojic ve ark. (2007)
Tavuk derisinden jelatin ekstraksiyonu	I. derece Oran yasası Peleg's	Çözücü oranı Partikül büyüklüğü Çözücü iyon konsantrasyonu	Cansu & Boran (2022)
Soya fasulyesinden daidzein ve genisteinin ekstraksiyonu	Peleg's	Çözücü çeşidi Çözücü oranı Ekstraksiyon sıcaklığı	Nan ve ark. (2018)
Safran çiçeği biyo-kalıntılarından polifenol ve antosiyanin ekstraksiyonu	Oran yasası	Çözücü oranı	Da Porto & Natolino, (2018)
Kanola yağı ve tokoferol ekstraksiyonu	Difüzyon kontrolü	Ekstraksiyon sıcaklığı	Fernández ve ark. (2012)
Mısır tohumundan biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu	I. derece Parabolik difüzyon Oran yasası	Çözücü çeşidi ve karışımları Ekstraksiyon zamanı	Aranha ve ark. (2021)
Mercimek kabuğundan fenolik ekstraksiyonu	Parabolik difüzyon Oran yasası Peleg's	Çözücü çeşidi ve karışımları	Galgano ve ark. (2021)

3.1. Matematiksel modelleme yöntemleri

3.1.1. Birinci derece kinetik model

Hammaddede bulunan hedef bileşen, tek yönlü reaksiyon gibi, tek taraflı olarak solüsyona geçmektedir (1. Eşitlik). Madde geçişi ekstraksiyon işlemi tamamlanana kadar devam etmektedir.

$$V_m = V_s \quad (1)$$

Bu denklemden; V_m hedef bileşenin hammaddedeki konsantrasyonunu (mg/g) ve V_s ise çözücüye geçen hedef bileşen konsantrasyonunu (mg/g) göstermektedir. Ekstraksiyon kütle denkliği (2. Eşitlik) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{d(V)_s}{dt} = -k[(V)_m - (V)_s] \quad (2)$$

Bu denklemden; k , ekstraksiyon hız sabitini (1/s) göstermektedir. 2. eşitliğin integrali alınarak daha sade ve kullanışlı olan 3. eşitlik elde edilebilir (Poojary & Passamonti, 2015).

$$(V)_s = V_m(1 - \exp^{-kt}) \quad (3)$$

Genellikle V_m değeri, limit denge konsantrasyonu olarak ele alınmakta ve teorik olarak elde edilebilecek en yüksek hedef bileşen konsantrasyonu olarak düşünülmektedir (Cacace & Mazza, 2003; Poojary & Passamonti, 2015).

3.2. Kütle transfer kinetik modeli (difüzyon kontrol metodu)

Düz plaka geometrisine sahip materyallerden hedef bileşenin ekstraksiyon modellenmesi için Fick'in difüzyon yasası kullanılan bir diğer yöntemdir (Perez ve ark., 2011; Cheung ve ark., 2012). Yatışkın olmayan sistemlerde ve çözücü içindeki hedef bileşen konsantrasyonunun zamanla değiştiği durumlarda uygulanan 2. Fick yasası 4. eşitlikte verilmiştir.

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-B_n t) \quad (4)$$

Verilen eşitlikte; M_t herhangi bir t (dakika) zamanında çözücüye geçen hedef bileşen miktarını (mg/mL) ve M_∞ ise elde edilebilecek en yüksek hedef bileşen miktarını (mg/mL) temsil etmektedir. Söz konusu modelde, sadece düz plaka şeklinde olan materyallerin geometrisi göz önüne alındığı zaman ekstraksiyon ile ilgili başlangıç ve sınır koşulları şu şekilde gerçekleşir;

$$\begin{aligned} t = 0 &> M = 0 \\ t = t_0 &> M = M_0 \\ t = t &> M = M_t \\ t \rightarrow \infty &> M = M_\infty \end{aligned} \quad (5)$$

Yukarıda verilen değerler yeterince uzun sürelerde gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemiyle 4. eşitliğin çözümlenmiş hali 6. eşitlik elde edilir;

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - A \exp[-Bt] \quad (6)$$

Buradaki A ve B katsayıları geometrisi düz plaka şeklinde olan materyaller için şu şekilde tanımlanmıştır;

$$A = \frac{8}{\pi} \quad (7)$$

$$B = \frac{D_e \pi^2}{4L^2} \quad (8)$$

Karakteristik uzunluk olarak değerlendirilen L değeri materyalin parçacık boyutuna göre değişiklik göstermektedir. 8. eşitlikteki etkin difüzyon katsayısı (D_e), farklı sıcaklıklar yapılmış ekstraksiyonlar için tespit edilebilir ve Arrhenius tipi şu eşitlikle çözümlenmektedir;

$$D_e = D_0 \exp \left[\frac{\Delta E_a}{RT} \right] \quad (9)$$

Bu eşitlikte; D_0 denklem sabiti, ΔE_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R gaz sabiti (kJ/mol K) ve T ise mutlak sıcaklıktır (K) (Crank, 1975; Spiro & Page, 1984; Poojary & Passamonti, 2015).

3.3. Peleg modeli

Ekstraksiyonda çeşitli kinetik modeller kullanılabilmektedir. Söz konusu kinetik modeller ya temel matematiksel modellerden türetilmiş ya da ekstraksiyon ile elde edilen verilerin işlenmesi ile oluşturulmuştur. Üstsel olmayan ve deneysel temelli olan Peleg modeli (Peleg, 1988);

$$C_t = C_o + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (10)$$

olarak ifade edilmekte ve pek çok ekstraksiyon çalışmasında uygulanmış bir modeldir (So & Macdonald, 1986; Peleg, 1988). Burada C_t (mg/g), hedef bileşenin t (s) zamanındaki konsantrasyonunu, C_o (mg/g), hedef bileşenin $t=0$ zamanındaki konsantrasyonunu, K_1 ve K_2 ise sırasıyla hız sabiti ve kapasite sabitini göstermektedir (So & Macdonald, 1986; Bucic-Kojic ve ark., 2007).

3.4. Kararsız difüzyon modeli ve film teorisi

Çözücü ekstraksiyonunun yıkama ve difüzyon aşamalarını ayrı ayrı açıklayan ve bu aşamalara göre düzenlenmiş olan modellerin temeli Fick'in difüzyon yasalarına dayanmaktadır (Veljkovic & Milenovic, 2002).

Film teorisi

$$\frac{c}{c_{\infty}} = 1 - (1 - b) e^{-kt} \quad (11)$$

Kararsız difüzyon modeli

$$\frac{c}{c_o} = (1 - b') e^{-k't} \quad (12)$$

Burada, b ve b' ekstraksiyon işleminde yıkama aşamasının kat sayılarını açıklarken, k ve k' difüzyon aşamasının katsayılarını temsil etmektedir (Wongkittipong ve ark., 2004).

3.5. Oran yasası modeli

Bu model, hedef bileşenlerin ekstraksiyonu için uyarlanan ikinci derece bir kinetik modeldir (Qu ve ark., 2010; Pan ve ark., 2012). Daha çok konvansiyonel veya konvansiyonel olmayan ekstraksiyon işlemleri için uyarlanan bu modelde çözücüye geçen hedef bileşen miktarı oransal olarak tanımlanır ve 13. eşitlikte olduğu gibi ifade edilir.

$$\frac{c}{t} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h}\right) + \left(\frac{t}{c_{\infty}}\right)} \quad (13)$$

$$h = k_1 c_{\infty}^2 \quad (14)$$

Burada; c konsantrasyonu, t zamanı, c_{∞} maksimum verimi temsil etmektedir. 13. eşitlikte, c/t başlangıçtaki ekstraksiyon miktarını, 14. eşitlikte belirtilen k_1 , ikinci dereceden ekstraksiyon sabitini gösterir (Rakotondramasy-Rabesiaka ve ark., 2009; 2010).

3.6. Parabolik difüzyon modeli

Bu model, polinomal şekilde ilerleyen ekstraksiyon prosesleri için kullanışlı bir modeldir. Genel denklem;

$$y = \sum_{i=0}^n A_i t^{\frac{i}{2}} \quad (15)$$

şeklinde olup, verim miktarına göre uyarlanmıştır. Kim ve ark. (2002), bu denklemi üç aşamalı bir polinomal denklem haline getirmiş ve uygulamıştır.

$$y = A_0 + A_1 t^{\frac{1}{2}} + A_2 t \quad (16)$$

16. eşitlikte verilen denklem, ekstraksiyon süresince gerçekleşen 3 aşamayı da temsil etmektedir. Bu modelde yıkama aşaması, difüzyon aşaması ve kimyasal reaksiyon aşaması göz önüne alınmaktadır.

$$y = A_0 + A_1 t^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Genel olarak, hedef bileşenler için geçerli olan 2 aşamalı ekstraksiyonu (yıkama ve difüzyon) temsil eden denklem ise 17. eşitlikte verilmiştir. Burada; A_0 yıkama aşaması katsayısını, A_1 difüzyon aşaması katsayısını ve y zamana bağlı verimi temsil eder (Kim ve ark., 2002; Kiew & Don. 2013).

4. Katı-Sıvı Ekstraksiyonunun Termodinamiği

Enerjinin aktarımı ve dönüşümü termodinamiğin asıl ilgi alanı olarak bilinmektedir. Termodinamik, çeşitli sistemlerin madde ve/veya enerji alışverişisiyle ilgilense de söz konusu olayların hızıyla ilgilenmez. Termodinamik yasaları, çok genel bir geçerliliğe sahip olmalarının yanında karşılıklı etkileşimin ayrıntılarına veya incelenen sistem ve proseslerin özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Bu sayede sistemin veya prosesin sadece madde veya enerji giriş-çıkışının bilinmesi ile bu sisteme uygulanabilir olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Katı-sıvı ekstraksiyonunda madde ve ısı alış-verişi yoluyla termodinamik yasalar uygulanabileceği gibi ekstraksiyon işleminde ısı ve enerjiye bağlı olarak gerçekleşen olayların açıklığa kavuşturulmasını sağlayabilecek diğer bir husustur. Termodinamik parametreler; ekstraksiyon işleminin enerji gereksinimi ve bu sırada gerçekleşen biyokimyasal olayları, proses ilerleyişini ve düzenliliği belirtmektedir.

Katı sıvı ekstraksiyon işleminin biyokimyasal ve fiziksel değişimlerinin tanımlanması ve açıklığa kavuşturulması için hem aktivasyon termodinamiği hem de ekstraksiyon termodinamiği parametreleri ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Bu sayede aktivasyon parametreleri, aktif bileşenin katı materyalden sıvı faza geçişi esnasındaki gerekli enerji, düzen durumu ve prosesin ilerleyişi belirlenirken,

ekstraksiyon termodinamiğinde ise ekstraksiyon işleminin genel anlamda uygulanabilir, kendiliğinden, endotermik ya da ekzotermik olup olmadığı anlaşılabilir.

4.1. Aktivasyon termodinamiği

Katı-sıvı ekstraksiyonunda, hammaddedeki hedef bileşenlerin çözücüye transferi için gerekli aktivasyon enerjisi ve bu esnada gerçekleşen fiziksel ve biyokimyasal olguların tanımlanması için aktivasyon parametreleri belirlenmektedir. Aktivasyon termodinamiği kısaca ekstraksiyondaki difüzyon olayının başlangıç noktasını tanımlamaktadır. Bu amaçla; hedef bileşenin çözücüye geçiş anındaki aktivasyon enerjisi (E_a), aktivasyon entalpisindeki değişim (ΔH^*), aktivasyon entropisindeki değişim (ΔS^*) ve aktivasyon serbest enerjisindeki değişim (ΔG^*) hesaplanabilmektedir. Aktivasyon enerjisi, aşağıda verilen Arrhenius eşitliğine göre hesaplanmaktadır.

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (18)$$

Arrhenius eşitliğinde; k , hız sabitini, A , Arrhenius sabitini (1/s), E_a , aktivasyon enerjisini (J/mol), R , gaz sabitini (J/mol K) ve T , ise mutlak sıcaklığı (K) belirtmektedir (Price & Spitzer, 1994). Arrhenius eşitliğinden türetilen ve aşağıda verilen formüller kullanılarak katı-sıvı ekstraksiyonu için aktivasyon termodinamik parametreleri hesaplanabilmektedir.

$$\Delta H^* = E_a - RT \quad (19)$$

$$\Delta G^* = \Delta H^* - T\Delta S^* \quad (20)$$

Aktivasyon termodinamik parametreleri katı-sıvı ekstraksiyonunun ilk gerçekleşme zamanını anlamlı hale getirmektedir. Öyleki aktivasyon enerjisi, hammaddeden çözücüye geçiş için enerji miktarını ve eşik enerji değerini belirtirken ekstraksiyon sıcaklığına bağlı difüzyon hızı hakkında bilgi vermektedir. Entalpi, çevreden alınan veya çevreye verilen ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Aktivasyon entalpisi (ΔH^*), ekstraksiyonda difüzyon işleminin gerçekleşebilmesi için enerji (ısı) gereksiniminin olup (endotermik) olmadığını (ekzotermik) ifade etmektedir. Herhangi bir sistem veya prosesin düzensizliği ya değişmez ya da artar. Genel anlamda ayrı duran maddelerin iç enerjileri bir arada olandan daha düşüktür ve bu maddeler daha düzensizdir. Buna verilebilecek önemli bir örnek difüzyon olayıdır. Hammaddenin içindeki hedef bileşen bir arada ve daha sık yapıdadır, dolayısıyla iç enerjisi yüksektir. Çözücüye geçtiği anda çözücü içinde daha geniş bir alana dağılır ve taneler birbirinden uzaklaşarak daha düşük iç enerjiye sahip olur. Bu durum entropi artışıyla uyumludur. Ekstraksiyon işleminde aktivasyon entropisi (ΔS^*), hedef bileşenin hammaddeden çözücüye geçiş anındaki düzensizliğini göstermektedir. Termodinamik parametrelerin hiçbirisi kendi başına bir olayın veya bir tepkimenin yönünü ve ilerleme durumunu açıklamak için yeterli değildir. Ancak entalpi ve entropinin bir fonksiyonu olan serbest enerji, tepkimenin kendiliğinden olup olmadığını ve yönünü tahmin için kullanılmaktadır. Hammaddeden çözücüye hedef bileşen geçişinin kendiliğinden ilerleyen (egzergonik) veya kendiliğinden ilerlemeyen (endergonik) bir işlem olduğunu ve çözücüye madde geçişinin olabilmesi için enerji ihtiyacı olup olmadığını gösteren parametre aktivasyon Gibbs serbest enerjisi (ΔG^*) olarak bilinmektedir. Negatif bir aktivasyon Gibbs serbest enerjisi (ΔG^*) değeri olayın kendiliğinden başlayacağını (egzergonik) gösterirken, pozitif bir aktivasyon Gibbs serbest enerjisi (ΔG^*) değeri olayın kendiliğinden başlayamayacağını, başlayabilmesi için enerji gerektiğini ifade etmektedir.

4.2. Ekstraksiyon termodinamiği

Ekstraksiyon termodinamiği, aktivasyon termodinamiğine nazaran ekstraksiyon olayının tamamını açıklamaktadır. Katı-sıvı ekstraksiyonuna ait genel termodinamik değişimleri belirlemek ve prosesi anlamak için ekstraksiyonun termodinamik parametreleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$k_e = c_t/c_k \quad (21)$$

$$\Delta G^0 = -R.T.lnk_e \quad (22)$$

$$lnk_e = \frac{-\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (23)$$

Burada c_t (mg), T (K) sıcaklığında çözücüdeki madde konsantrasyonunu ve c_k (mg), hammaddede kalan madde miktarını göstermektedir. R , ideal gaz sabitini (8.314 J/mol); ΔH^0 , entalpi değişimini; ΔS^0 , entropi değişimini ve ΔG^0 ise Gibbs serbest enerji değişimini temsil etmektedir (Price & Spitzer, 1994).

Ekstraksiyon işlemine ait entalpi değişimi (ΔH^0) ile, söz konusu işlemin endotermik veya egzotermik olduğu, yani enerji gereksinimi olup olmadığı belirlenmektedir. Sürecin düzensizliği ile ilgili bilgi veren entropi değişimi (ΔS^0), difüzyon olayından sonra çözücüye geçen bileşenin eğilimini belirtmektedir. Ayrıca ekstraksiyon işleminde, çözücüye geçen bileşenin geri dönüşsüz ve sürekli bir şekilde geçişe devam ettiğini göstermektedir. İş yapamayan enerji olarak tabir edilen Gibbs serbest enerji değeri, ekstraksiyon prosesinin kendiliğinden ilerlemeye yatkın olup olmadığını (itici bir enerji gereksinimi ihtiyacı olup olmadığını) veya ekstraksiyon prosesinin elverişli olup olmadığını göstermektedir. Bununla beraber, aynı ekstraksiyon işlemi farklı sıcaklıklarda egzergonik veya endergonik özellik göstermesi mümkün olmaktadır. Bu durum belli bir sıcaklıkta elverişli ve öngörülebilir bir işlemin başka sıcaklıkta elverişsiz ve uygulanamaz olabileceğini veya tam tersi durumun olabileceğini göstermektedir.

Katı-sıvı ekstraksiyonu ve kinetik modellemeler ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok bitkisel bazlı materyallerde uygulandığı gibi bu alanda yapılan ekstraksiyonun termodinamik yaklaşımı da yine bitkisel bazlı materyallerde ön plana çıkmaktadır. Gıda alanında literatürde mevcut katı-sıvı ekstraksiyonu termodinamik çalışmalarına dair örnekler Çizelge 2’ de verilmektedir.

Söz konusu çalışmaların büyük bir kısmı, bitkisel işleme atıkları ve/veya bitkisel materyallerden yağ ekstraksiyonunun termodinamik yaklaşımını içermektedir. Bunun yanında diğer çalışmalarda fenolik bileşikler, karotenoidler ve flavonoidler farklı parametrelerde ekstra edilmiş ve yapılan ekstraksiyon prosesi termodinamik yönden incelenmiştir. Ancak bu çalışmalarda aktivasyon termodinamik parametrelerin yanı sıra daha çok ekstraksiyon termodinamiği parametreleri tespit edilmiş ve açıklığa kavuşturulmuştur.

Çizelge 2. Çözücü ekstraksiyonu ile yapılmış termodinamik çalışmalar

Ekstraksiyon işlemi	Termodinamik model	Araştırılan ekstraksiyon koşulları	Termodinamik parametreler	Kaynak
Darıdan polisakkarit ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı Çözücü oranı Karıştırma hızı	$E_a, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Zhu (2022)
Mantardan polisakkarit ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı Farklı ekstraksiyon yöntemleri	$E_a, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Hou ve ark. (2024)
Elma posasından polifenolik ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Çözücü karışımları Ekstraksiyon sıcaklığı	E_a	Hobbi ve ark. (2021)
Mango çekirdeğinden yağ ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Parçacık boyutu Ekstraksiyon sıcaklığı	$E_a, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Agu ve ark. (2020)
Maydanozdan apigenin-glikozit ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Çözücü karışımları Çözücü/örnek oranı Ekstraksiyon sıcaklığı	$E_a, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Janković ve ark. (2021)

Çizelge 2. Çözücü ekstraksiyonu ile yapılmış termodinamik çalışmalar (devam)

Ekstraksiyon İşlemi	Termodinamik model	Araştırılan ekstraksiyon koşulları	Termodinamik parametreler	Kaynak
Soya fasulyesinin atıklarından İzoflavon ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Hua ve ark. (2009)
Zeytin kekinden yağ ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Meziane & Kadi (2008)
Meyve kabuğundan karotenoid ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Chutia & Mahanta (2021)
Pamuk tohumundan gossipol ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Singh ve ark. (2020)
Kahve çekirdeği ve endüstriyel pres kekinden yağ ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Çözücü türleri Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Oliveira ve ark. (2019)
Hindistan cevizi atıklarından yağ ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Çözücü türleri Parçacık boyutu Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Sulaiman ve ark. (2013)
Mısır tohumundan yağ ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Çözücü/örnek oranı Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Stamenkovic ve ark. (2020)
Palm yapraklarından α -Tokoferol ekstraksiyonu	Aktivasyon ve ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$\Delta H^*, \Delta S^*, \Delta G^*$ $Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Ofori-Boateng & Lee (2014)
Yulaf lipidleri ve fosfolipitler ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Li ve ark. (2021)
Havuçtan β -karoten ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Da Silva ve ark. (2020)
Microalglerden yağ ekstraksiyonu	Aktivasyon ve ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$\Delta H^*, \Delta S^*, \Delta G^*$ $Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Ahmad ve ark. (2014)
Pamuk tohumu küspesinden gossipol ekstraksiyonu	Ekstraksiyon termodinamiği	Ekstraksiyon sıcaklığı	$Ea, \Delta H^0, \Delta S^0, \Delta G^0$	Saxena ve ark. (2012)

5. Sonuç

Çözücü ekstraksiyonu, katı materyallerden uygun bir çözücü ve/veya çözücü karışımları kullanılarak hedef bileşenlerin elde edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Ekstraksiyon sürecinin uygulanabilirliği açısından hedef bileşenin kalitesi ve verimi ön planda tutulmaktadır. Kullanılan hammaddenin çeşidi ve hedef bileşene bağlı olarak kalite ve verimin en yüksek seviyelerde gerçekleşmesi için farklı ekstraksiyon parametreleri üzerinde durulmaktadır. Bu parametrelerin başında ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi gelmekle beraber; çözücü çeşidi, çözücü karışım oranları, karıştırma hızı, parçacık büyüklüğü ve çözücünün iyon konsantrasyonu olarak sıralanabilmektedir. Temel olarak çözücü ekstraksiyonu yıkama ve difüzyon aşamalarından oluşmaktadır. Yıkama aşamasında hammaddenin çözücü ile ilk temas eden kısımlarında bulunan hedef bileşenin alındığı, yıkama aşamasında ise çözücünün geç ulaştığı kısımlarda bulunan hedef bileşenin alındığı aşama olarak değerlendirilmektedir.

Farklı uygulamalar ile farklı endüstrilerde kullanılan katı-sıvı ekstraksiyonunun gerçekleşme mekanizması, hangi kinetik yolla ilerlediği, prosesi en çok etkileyen parametrelerin derlendiği bu çalışmada ayrıca çözücü ekstraksiyonunun da gıda alanındaki uygulamalarına değinilmiştir. Özellikle gıda atıklarının değerlendirilmesinde ve/veya biyoaktif bileşenlerin elde edilmesinde tercih edilen bu tekniğin işlem süresince ilerleyişini matematiksel olarak açıklayan modeller incelenmiştir. Söz konusu modellerin temeli Fick'in difüzyon yasalarına dayanmakla beraber bazı modeller modifiye edilmiştir. Fick yasaları ise temel de zamana bağlı gerçekleşen difüzyon hızı üzerine oluşturulmuştur. Bu matematiksel modeller çözücü ekstraksiyonuna yüksek oranda uyumluluk göstererek ekstraksiyonun zamana bağlı açıklanabilir olmasını sağlamıştır. Böylece hem zaman hem de enerji kayıpları minimize edilebilecektir. Bunun yanında ekstraksiyonun ısı ve enerji ile ilgili davranışlarının termodinamik kavramlar ile nasıl değerlendirileceği açıklanmıştır. Çözücü ekstraksiyonunda hedef bileşenin enerji bariyerini aşması, çözücüye geçiş zamanı ve bu esnada gerçekleşen hal değişimleri ile ilgili enerji ve ısı değişimleri aktivasyon ve ekstraksiyon termodinamiği ile açıklığa kavuşturulabilmektedir. Aynı zamanda herhangi bir termodinamik parametrenin ekstraksiyon koşullarından nasıl etkilendiği belirlenebilmesi çözücü ekstraksiyonunu anlamlı hale getirmektedir.

Herhangi bir gıda bileşeninin en yüksek verim ve kalitede elde edilebilmesi için dikkat edilecek ekstraksiyon parametreleri belirlenebilir. Proses parametre ve koşullarının ürün kalitesi ve verimine etkisi önemlidir. Bu parametrelerden hangisinin ne düzeyde olacağı kinetik modeller ile tespit edilebilmektedir. Buna bağlı olarak zaman tasarrufu, çözücü gibi kimyasalların daha az kullanımı ve prosesin daha verimli ve ekonomik olarak gerçekleşmesi mümkün olacaktır. Ekstraksiyon işleminin ısı ve enerji ihtiyacı termodinamik olarak açıklandığında prosesin enerji ihtiyacı ve uygulanabilir olup olmadığı değerlendirilebilir.

Kaynakça

- Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2014). Kinetic studies and thermodynamics of oil extraction and transesterification of *Chlorella* sp. for biodiesel production. *Environmental Technology*, 35(7), 891-897. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.855263>
- Agu, C. M., Menkiti, M. C., Ohale, P. E., & Ugonabo, V. I. (2020). Extraction modeling, kinetics, and thermodynamics of solvent extraction of *Irvingia gabonensis* kernel oil for possible industrial application. *Engineering Reports*, 3(4), 12306. <https://doi.org/10.1002/eng2.12306>
- Amanullah, M. F., Rasamani, P., & Sukumar, M. (2024). Process kinetics optimization for extraction of essential oil from the peel of *Citrus sinensis* for the development of food packaging film. *Journal of Food Process Engineering*, 47(4), e14613. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14613>
- Aranha, A. C. R., de Matos Jorge, L. M., Nardino, D. A., Sipoli, C. C., Suzuki, R. M., Tonin, L. T. D., & Defendi, R. O. (2021). Modelling of bioactive components extraction from corn seeds. *Chemical Engineering Research and Design*, 175, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.09.021>
- Barrientos-Lezcano, J. C., Gallo-Machado, J., Marin-Palacio, L. D., & Builes, S. (2023). Extraction kinetics and physicochemical characteristics of Colombian propolis. *Journal of Food Process Engineering*, 46(11), e14272. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14272>
- Bucic-Kojic, A., Planinic, M., Tomas, S., Bilic, M., & Velic, D. (2007). Study of solid-liquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.027>
- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, (2), 209-242.
- Cacace, J. E., & Mazza, G. (2003). Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. *Journal of Food Engineering*, 59(4), 379-389. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00497-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00497-1)
- Cansu, Ü., & Boran, G. (2015). Optimization of a multi-step procedure for isolation of chicken bone collagen. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(4), 431. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.4.431>

- Cansu, Ü., & Boran, G. (2022). Kinetic evaluation of gelatin extraction from chicken skin and the effect of some extraction parameters. *Journal of Food Process Engineering*, 45(4), e13995. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13995>
- Carcel, J.A., Garcia-Perez, J.V., Mulet, A., Rodriguez, L. & Riera, E. (2010). Ultrasonically assisted antioxidant extraction from grape stalks and olive leaves. *Physics Procedia*, 3(1), 147 -152. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.021>
- Chan, C. H., Yusoff, R., & Ngoh, G. C. (2014). Modeling and kinetics study of conventional and assisted batch solvent extraction. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(6), 1169-1186. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.10.001>
- Cheung, Y. C., Siu, K. C., & Wu, J. Y. (2012). Kinetic models for ultrasound-assisted extraction of water-soluble components and polysaccharides from medicinal fungi. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2659–2665. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0929-z>
- Chutia, H., & Mahanta, C. L. (2021). Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67, 102547. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102547>
- Cisse, M., Bohuon, P., Sambe, F., Kane, C., Sakho, M., & Dornier, M. (2012). Aqueous extraction of anthocyanins from Hibiscus sabdariffa: Experimental kinetics and modeling. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.012>
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Da Porto, C., & Natolino, A. (2018). Extraction kinetic modeling of total polyphenols and total anthocyanins from saffron floral bio-residues: Comparison of extraction methods. *Food Chemistry*, 258, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.059>
- Da Silva, H. R. P., Iwassa, I. J., Marques, J., Postau, N., Stevanato, N., & Da Silva, C. (2020). Enrichment of sunflower oil with β -carotene from carrots: Maximization and thermodynamic parameters of the β -carotene extraction and oil characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4), 14399. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14399>
- Dulo, B., De Somer, T., Moyo, M., Nakyese, E., Githaiga, J., Raes, K., & De Meester, S. (2023). Kinetic modeling of phenolic compounds extraction from nutshells: influence of particle size, temperature and solvent ratio. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(19), 23565–23579. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04993-1>
- Fernández, M. B., Perez, E. E., Crapiste, G. H., & Nolasco, S. M. (2012). Kinetic study of canola oil and tocopherol extraction: Parameter comparison of nonlinear models. *Journal of Food Engineering*, 111(4), 682–689. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.036>
- Franco, D., Pinelo, M., Sineiro, J., & Nunez, M. (2007). Processing of Rosa rubiginosa: Extraction of oil and antioxidant substances. *Bioresource Technology*, 98(18), 3506–3512. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.012>
- Galgano, F., Tolve, R., Scarpa, T., Caruso, M. C., Lucini, L., Senizza, B., & Condelli, N. (2021). Extraction kinetics of total polyphenols, flavonoids, and condensed tannins of lentil seed coat: Comparison of solvent and extraction methods. *Foods*, 10(8), 1810. <https://doi.org/10.3390/foods10081810>
- Golshany, H., Yu, Q., & Fan, L. (2024). Comparative extraction and antioxidant potential of bioactive compounds from Fucus vesiculosus: Kinetic modeling and UPLC-Q-TOF-MS phenolic profiling. *Food Bioscience*, 57, 103575. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103575>
- Herodež, Š. S., Hadolin, M., Škerget, M., & Knez, Ž. (2002). Solvent extraction study of antioxidants from Balm (*Melissa officinalis* L.) leaves. *Food Chemistry*, 80(2), 275–282. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00382-5](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00382-5)
- Hobbi, P., Okoro, O. V., Delporte, C., Alimoradi, H., Podstawczyk, D., Nie, L., Bernaerts, K. V., & Shavandi, A. (2021). Kinetic modelling of the solid–liquid extraction process of polyphenolic compounds from apple pomace: influence of solvent composition and temperature. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00465-4>
- Hou, F., Song, S., Yang, S., Wang, Y., Jia, F., & Wang, W. (2024). Study on the Optimization, Extraction Kinetics and Thermodynamics of the Ultrasound-Assisted Enzymatic Extraction of Tremella fuciformis Polysaccharides. *Foods*, 13(9), 1408. <https://doi.org/10.3390/foods13091408>

- Hua, L., Guoqin, H., & Dan, L. (2009). Study of thermodynamic mechanism for using organic solvent to extract isoflavone from soybean residuals. *Journal of the Korean Chemical Society*, 53(4), 427-431. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2009.53.4.427>
- Janković, S., Mitić, M., Arsić, B., & Stankov-Jovanović, V. (2020). The kinetic and thermodynamic studies of solid-liquid extraction of apigenin-glycosides from parsley (*Petroselinum crispum*). *Separation Science and Technology*, 56(13), 2253–2265. <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1821219>
- Kiew, P. L., & Don, M. M. (2013). Screening and empirical kinetic models of collagen extraction from selected Malaysian freshwater fish. *Journal of Food Engineering*, 36(4), 428–438. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2012.00683.x>
- Kim, J. Y., Kim, C. L., & Chung, C. H. (2002). Modelling of nucliderelease from low-level radioactive parafin waste: A comparison of simulated and real waste. *Journal of Hazardous Materials*, 94(2), 161–178. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(02)00062-6)
- Li, Y., Obadi, M., Qi, Y., Shi, J., Liu, S., Sun, J., Chen, Z., & Xu, B. (2021). Extraction of oat lipids and phospholipids using subcritical propane and dimethyl ether: experimental data and modeling. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(1), 2000092. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000092>
- Liu, D., Wei, G., Li, T., Hu, J., Lu, N., Regenstein, J. M., & Zhou, P. (2015). Effects of alkaline pretreatments and acid extraction conditions on the acid-soluble collagen from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin. *Food Chemistry*, 172, 836-843. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.147>
- Mantell, C., Rodriguez, M., & Martinez de la Ossa E. (2002). Semi-batch extraction of anthocyanins from red grape pomace in packed beds: Experimental results and process modeling, *Chemical Engineering Science*, 57(18), 3831–3838. [https://doi.org/10.1016/s0009-2509\(02\)00320-2](https://doi.org/10.1016/s0009-2509(02)00320-2)
- Meziane, S., & Kadi, H. (2008). Kinetics and thermodynamics of oil extraction from olive cake. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 85(4), 391–396. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1205-2>
- Nan, G., Gao, Y., Guo, L., Meng, X., & Yang, G. (2018). Solid-liquid extraction of daidzein and genistein from soybean: Kinetic modeling of influential factors. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 48(10), 946–953. <https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1525565>
- Ofori-Boateng, C., & Lee, K. T. (2014). Ultrasonic-assisted extraction of α -tocopherol antioxidants from the fronds of *Elaeis guineensis* Jacq.: Optimization, kinetics, and thermodynamic studies. *Food Analytical Methods*, 7(2), 257–267. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9619-3>
- Oliveira, E. R., Carvalho, G. R., Cirillo, M. A., & Queiroz, F. (2019). Effect of ecofriendly bio-based solvents on oil extraction from green coffee bean and its industrial press cake. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36(4), 1739-1753. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190364s20190102>
- Pan, Z., Qu, W., Ma, H., Atungulu, G. G., & McHugh, T. H. (2012). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(2), 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.05.015>
- Paunović, D. Đ., Mitić, S. S., Kostić, D. A., Mitić, M. N., Stojanović, B. T., & Pavlović, J. L. (2014). Kinetics and thermodynamics of the solid-liquid extraction process of total polyphenols from barley. *Savremene Tehnologije*, 3(2), 58-63. <https://doi.org/10.5937/savteh1402058p>
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53(4), 1216–1217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>
- Perez, E. E., Carelli, A. A., & Crapiste, G. H. (2011). Temperature dependent diffusion coefficient of oil from different sunflower seeds during extraction with hexane. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.025>
- Poojary, M. M., & Passamonti, P. (2015). Extraction of lycopene from tomato processing waste: Kinetics and modelling. *Food Chemistry*, 173, 943–950. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.127>
- Price, W. E., & Spitzer, J. C. (1994). The kinetics of extraction of individual flavanols and caffeine from a Japanese green tea (Sen Cha Uji Tsuyu) as a function of temperature. *Food Chemistry*, 50(1), 19-23. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90086-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90086-8)
- Qu, W., Pan, Z., & Ma, H. (2010). Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc. *Journal of Food Engineering*, 99(1), 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.020>

- Rakotondramasy-Rabesiaka, L., Havet, J. L., Porte, C., & Fauduet, H. (2009). Solid–liquid extraction of protopine from *Fumaria officinalis* L. Kinetic modeling of influential parameters. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 516–523. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.10.001>
- Rakotondramasy-Rabesiaka, L., Havet, J. L., Porte, C., & Fauduet, H. (2010). Estimation of effective diffusion and transfer rate during the protopine extraction process from *Fumaria officinalis* L. *Separation and Purification Technology*, 76(2), 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.09.030>
- Saxena, D., Sharma, S., & Sambi, S. (2012). Kinetics and thermodynamics of gossypol extraction from defatted cottonseed meal by ethanol. *Polish Journal of Chemical Technology*, 14(2), 29–34. <https://doi.org/10.2478/v10026-012-0067-4>
- Seikova, I., Simeonov, E., & Ivanova, E. (2004). Protein leaching from tomato seed-experimental kinetics and prediction of effective diffusivity, *Journal of Food Engineering*, 61(2), 165–171. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00083-9](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00083-9)
- Singh, S., Sharma, S. K., & Kansal, S. K. (2020). Extraction of natural pigment gossypol from defatted cottonseed using 2-propanol-water green solvent, its kinetics and thermodynamic study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(9), 7539–7550. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04665-6>
- So, G. C., & Macdonald, D. G. (1986). Kinetics of oil extraction from Canola (Rapeseed). *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 64(1), 80–86.
- Spiro, M., & Page, C. M. (1984). The kinetics and mechanism of caffeine infusion from coffee: Hydrodynamic aspects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, 925–930. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740350818>
- Stamenkovic, O. S., Kostic, M. D., Tasic, M. B., Djalovic, I. G., Mitrovic, P. M., Biberdzic, M. O., & Veljkovic, V. B. (2020). Kinetic, thermodynamic and optimization study of the corn germ oil extraction process. *Food and Bioproducts Processing*, 120, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.12.013>
- Stanisavljević, I. T., Stojičević, S. S., Veličković, D. T., Lazić, M. L., & Veljković, V. B. (2008). Screening the antioxidant and antimicrobial properties of the extracts from plantain (*Plantago major* L.) leaves. *Separation Science and Technology*, 43(14), 3652–3662. <https://doi.org/10.1080/01496390802219091>
- Sulaiman, S., Abdul Aziz, A. R., & Aroua, M. K. (2013). Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil. *Journal of Food Engineering*, 114(2), 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.025>
- Tijssens, L. M. M., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. M. (2001). *Food process modeling*. Abington, UK: Woodhead Publishing.
- Van Boekel Maj, S. (2000). Kinetic modeling in food science: a case study on chlorophyll degradation in olives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1), 3–9. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000101\)80:1%3C3::AID-JSFA532%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000101)80:1%3C3::AID-JSFA532%3E3.0.CO;2-3)
- Veljkovic, V. & Milenovic, D. (2002). Extraction of resinoids from St. John's worth (*Hypericum perforatum* L.) II. Modeling of extraction kinetics. *Chemical Industry*, 56(2), 60–67. <https://doi.org/10.2298/hemind0202060v>
- Winitorn, A., Douglas, P.L., Douglas, S., Pongampai, S. & Teppeitorn, W. (2008). Modeling the extraction of valuable substances from natural plants using solid–liquid extraction. *Chemical Engineering Communications*, 195(11), 1457–1464. <https://doi.org/10.1080/00986440801967288>
- Wongkittipong, R., Prat, L., Damronglerd, S., & Gourdon, C. (2004). Solid–liquid extraction of rographolide from plants-experimental study, kinetic reaction and model. *Separation and Purification Technology*, 40(2), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.02.002>
- Xiao, X., Song, W., Wang, J., & Li, G. (2012). Microwave-assisted extraction performed in low temperature and in vacuum for the extraction of labile compounds in food samples. *Analytica Chimica Acta*, 712, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.034>
- Zhu, A. (2022). Kinetics and thermodynamics of water extraction of foxtail millet polysaccharides. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 41(2), 510–520. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2020.131368.4244>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Psikobiyotikler ve Süt Ürünlerindeki Potansiyel Uygulamaları

Çiğdem KONAK GÖKTEPE*

Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 42400, Konya, Türkiye
Çiğdem KONAK GÖKTEPE, [ORCID No: 0000-0003-4615-1050](https://orcid.org/0000-0003-4615-1050)

*Sorumlu yazar e-posta: ckonak@selcuk.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 03.07.2024
Kabul: 30.09.2024
Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1510149

Anahtar Kelimeler

Gastrointestinal sistem,
Mikrobiyotik,
Probiyotik,
Psikobiyotik,
Ruh sağlığı,
Süt ürünleri

Öz: Psikobiyotikler yeterli miktarda beslenmeye dahil edildiklerinde bireylere ruhsal sağlık açısından çeşitli faydalar sağlayan bir grup probiyotiktir. Bu probiyotikler; nöral, bağışıklık ve metabolik yolları içeren bağırsak-beyin eksenini aracılığıyla insan davranışını ve merkezi sinir sistemini etkilemektedir. İncelenen literatür gastrointestinal sistemin işleyişini iyileştiren psikobiyotik takviyelerin insanlarda stresin etkilerini azaltmak ve çok çeşitli yan etkileri olan kimyasal ilaçların kullanımından kaçınmak için umut verici uygulamalar olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi, bakteriyel canlılık gıda matrisinin türü ve mikroorganizma suşu ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda süt ürünlerinin psikobiyotik olanlar da dahil olmak üzere probiyotik suşlar için etkili taşıyıcılar olduğu bildirilmiştir. Süt açısından zengin diyetlerin psikobiyotik alımıyla birleştirilmesinde bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisinin, beyin fonksiyonuyla ilişkisinin ve psikiyatrik semptomlar üzerindeki potansiyel terapötik etkilerinin açıklığa kavuşturulması için daha fazla bilimsel kanıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca ruhsal sağlığı iyileştirmek için psikobiyotiklerin kullanımında sürekliliğin sağlanması ve bireyler tarafından daha kolay ulaşılabilir olması için diyetle nasıl dahil edileceğine dair yapılan çalışmaların sayısının artırılması gerekmektedir. Bu derleme ile psikobiyotiklerin etki mekanizmaları ve süt ürünlerindeki potansiyel uygulamaları değerlendirilerek farklı yaklaşımlara ışık tutmak amaçlanmaktadır.

Psychobiotics and Their Potential Applications in Dairy Products

Article Info

Received: 03.07.2024
Accepted: 30.09.2024
Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1510149

Keywords

Dairy products,
Gastrointestinal system,
Mental health,
Microbiota,
Probiotic,
Psychobiotics

Abstract: Psychobiotics are a group of probiotics that provide various mental health benefits to individuals when included in adequate amounts in the diet. These probiotics influence human behavior and central nervous system through the gut-brain axis including neural, immune and metabolic pathways. The reviewed literature indicates that psychobiotic supplements that improve the functioning of the gastrointestinal tract are promising applications to reduce the effects of stress in humans and avoid the use of chemical drugs with a wide range of side effects. As is known, bacterial viability is closely related to the type of food matrix and the strain of microorganism. In this context, studies have reported that dairy products may be the most effective carriers for probiotic strains, including psychobiotic ones. More scientific evidence is needed to clarify the effect of milk-rich diets combined with psychobiotic intake on gut microbiota, its relationship with brain function and potential therapeutic effects on psychiatric symptoms. In addition, the number of studies on how to include psychobiotics in the diet should be increased to ensure continuity in the use of psychobiotics to improve mental health and to make them more easily accessible to individuals. This review aims to shed light on different approaches by evaluating the mechanisms of action of psychobiotics and their potential applications in dairy products.

1. Giriş

Probiyotikler, yeterli miktarda uygulandığında konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalardır ve kişinin bağışıklık fonksiyonunu korumak ve doğal bağırsak mikroflorasının özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Hill ve ark., 2014). Diyetin bağırsak sağlığını modüle edebileceği ve aynı zamanda probiyotik takviyeleri veya prebiyotikler olarak bağırsak mikroflorasının yönetebileceği bilinmektedir (Sharma & Bajwa, 2021). Yetişkinlerin bağırsak mikrobiyotasına *Bacteroidetes* (%23), *Firmicutes* (%64), *Proteobacteria* (%8) ve *Actinobacteria* (%3) cinslerine ait 4 ana bakteri grubunun hâkim olduğu bildirilmiştir. Mikrofloranın bir parçası olan probiyotik bakteriler hızlı gelişme ve bağırsak duvarına yapışma özelliğine sahiptir ve böylece vücut dışına atılmayı önleyebilirler (Hattori & Taylor, 2009).

Prebiyotikler ise, gastrointestinal sistem (GİS)'de bir veya sınırlı sayıda bakterinin gelişimini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyarak konakçıyı faydalı bir şekilde etkileyen ve böylece konakçının durumunu iyileştiren sindirilemeyen gıda bileşenleri olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonel gıda bileşenleri, fruktooligosakkaritler (oligofruktoz ve inülin), galaktooligosakkaritler (laktuloz) ve glukove ksilo-oligosakkaritler olarak ayrılan oligosakkaritleri içerir. Prebiyotiklerin temel özellikleri, kolonik mikroflora fermentasyonuna duyarlı kalırken insan vücudu tarafından üretilen sindirim enzimlerine karşı dirençli olmalarıdır (Gibson & Roberfroid, 2008). Prebiyotik ve probiyotiklerin sinbiyotik olarak adlandırılan bir kombinasyonunun sinerjik etkiler gösterdiğine inanılmaktadır. Yani, sinbiyotikler probiyotikler aracılığıyla faydalı bağırsak mikroflorasının gelişimini etkilerken, prebiyotikler patojenik bakterilerin büyümesini engeller (Wasilewski ve ark., 2015). Probiyotikler, bağırsak mikrobiyomunu modüle ederek sağlık açısından çeşitli faydalar sağlamaktadır. Ancak canlılık kontrolleri gibi teknolojik sınırlamalar, gıda ve ilaç sektörlerinde tam anlamda potansiyel uygulamalarını engellemiştir. Bu nedenle odak noktası yavaş yavaş canlı probiyotik bakterilerden canlı olmayan paraprobiyotiklere ve/veya postbiyotikler olarak adlandırılan probiyotiklerden türetilmiş biyomoleküllere doğru kaymaktadır (Nataraj ve ark., 2020).

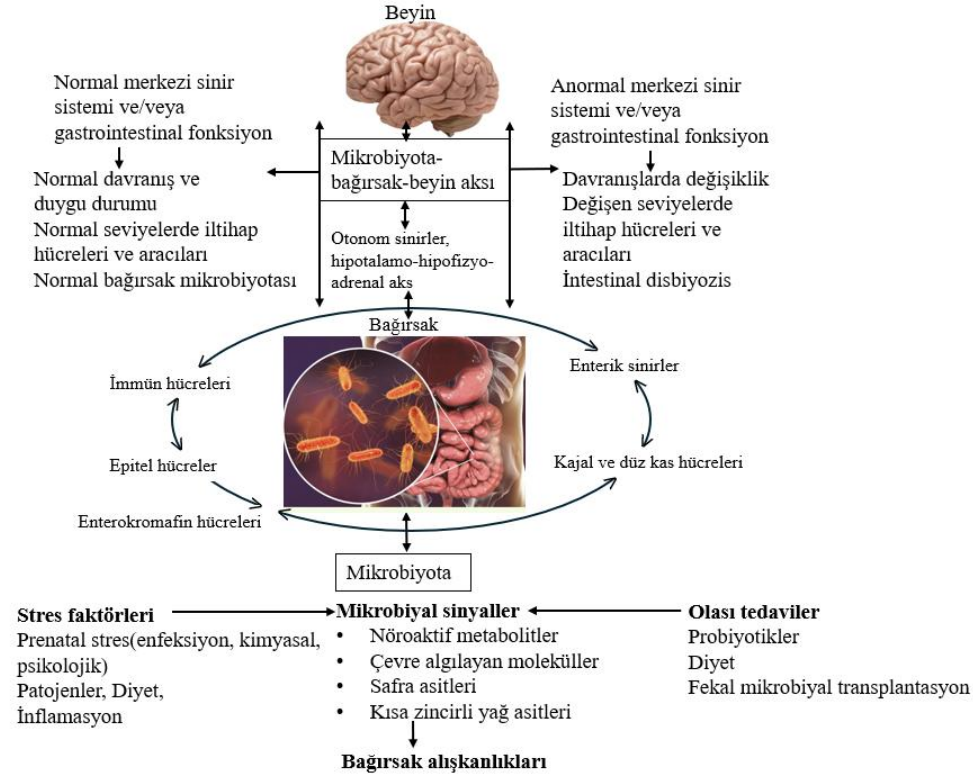
Son yıllarda bilim insanları özellikle bağırsak-beyin aksının yanı sıra probiyotiklerin sinir sistemi üzerindeki etkisiyle de ilgilenmektedir. Bu da psikobiyotik kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Cichońska ve ark., 2023). Psikobiyotikler, dinamik mikrobiyota-bağırsak-beyin çapraz iletişimi yoluyla konağın ruh sağlığı üzerinde fayda sağlayan yeni bir probiyotik mikroorganizma sınıfını içermektedir (Casertano ve ark., 2022). Probiyotik takviyeleri veya probiyotik içeren gıdalar, bağırsak mikrobiyotasının kompozisyonunu ve işlevselliğini modüle ederek konakçı sağlığını belirlemede etkili bir beslenme stratejisi olarak önerilmektedir. Üstelik bazı probiyotik suşlarının potansiyel nörotropik aktivitesi, uygun miktarda tüketildiğinde 'mikrobiyota-bağırsak-beyin aksı' yoluyla psikolojik sıkıntı çeken hastalarda sağlık açısından fayda sağladıkları bildirilmiştir (Dinan ve ark., 2013).

Bu derleme psikobiyotikler, özellikleri, etki mekanizmaları ve süt ürünlerindeki potansiyel kullanımları gibi konularda bilgileri ortaya koyarak bu alandaki yetersiz sayıda olan insan çalışmalarına ışık tutacaktır.

2. Bağırsak Mikrobiyotası ve Beyin İlişkisi

İrritabl bağırsak sendromu veya inflamatuvar bağırsak hastalığı gibi sindirim sistemi ile ilgili rahatsızlıklar ile depresyon ve anksiyete başta olmak üzere ruhsal bozuklukların sıklıkla bir arada görülmesi, GİS ile merkezi sinir sistemi (MSS) arasında genellikle bağırsak-beyin aksı olarak adlandırılan özel bir bağlantı olduğunu düşündürmektedir (Fichna & Storr, 2012). GİS'de yaşayan tüm mikrobiyal suşlar ve genomları bağırsak mikrobiyomuna dahildir. Bağırsak mikrobiyomunun sağlıklı ve sürekli kolonizasyonu sayesinde, bireyin sağlığının korunmasında beyin ve bağırsağın iş birliği çabaları için önemli olan karşılıklı bir bağırsak-beyin ortaklığı gelişir (Mohammad ve ark., 2022). Bağırsak-beyin aksı sistemi, GİS'deki mikrobiyotayı içeren ve enterik sinir sistemi yoluyla beyne bağlanan karmaşık bir prosedürdür. Bağırsak-beyin aksı, bağırsak ve beyin arasındaki nöral, hormonal ve immünolojik sinyalleşmeyi entegre eden ve bağırsak mikrobiyotasına ve metabolitlerine beyne erişmek için potansiyel bir yol sağlayan bir iletişim sistemidir. Bu iletişim sistemi çift yönlüdür ve beynin gastrointestinal işlevleri (hareketlilik, salgı ve müsin üretimi gibi) ve bağışıklık işlevlerini (mukozal bağışıklık sistemi hücreleri tarafından sitokin üretiminin modülasyonu dahil) etkilemesini

sağlar (Mayer, 2011). Mikrobiyota-bağırsak-beyin aksı (MBBA)'da gerçekleşen çift yönlü iletişim Şekil 1'de verilmiştir.



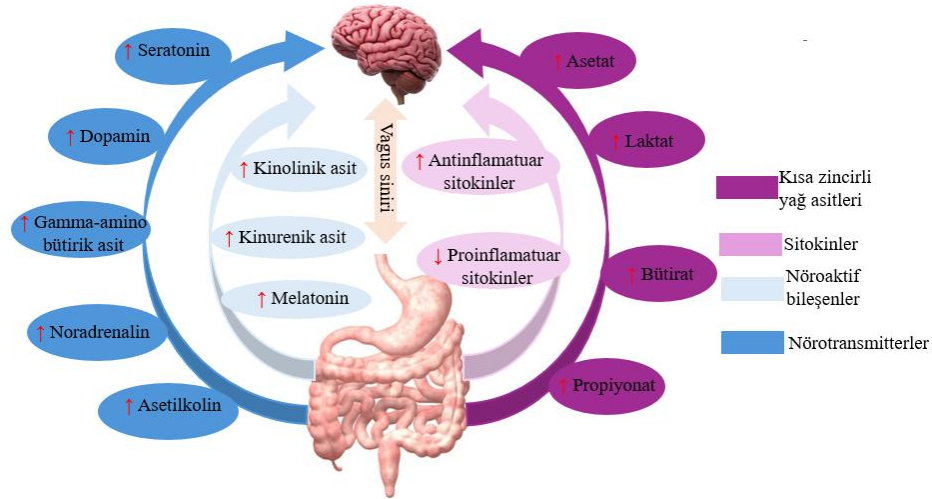
Şekil 1. Mikrobiyota-bağırsak-beyin aksında gerçekleşen çift yönlü iletişim (Mayer ve ark., 2015; Wasilewski ve ark., 2015).

Nöronal mekanizmalar arasında serotonin, asetilkolin ve kortikotropin salgılatıcı faktör gibi çeşitli nörotransmitterler ve nöromodülatörler içeren enterik sinir sistemi yer almaktadır. Enterik sinir sistemi, stres koşulları altında bağırsak bariyerinin geçirgenliğinin artmasına katkısı nedeniyle özellikle dikkat çekicidir. MBBA'nın bir diğer bileşeni olan otonom sinir sistemi sempatik ve parasempatik dallardan oluşur. Çeşitli çalışmalar, proinflatuar sitokinlerin, beynin soliter kanal çekirdeği gibi belirli bölgelerine uyarılar ileten afferent sinir liflerinin aktivasyonu yoluyla MSS üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Long-Smith ve ark., 2020).

Mikrobiyotanın bağırsak-beyin sinyalizasyonunu nasıl etkilediğine ilişkin mekanizmalar yapılan son çalışmalarla açıklığa kavuşmuştur. Bu mekanizmalar, triptofan metabolizmasındaki değişiklikler ve spesifik mikrobiyal nöroaktif metabolitlerin üretimi yoluyla mikrobiyal bileşimdeki değişiklikleri, bağışıklık aktivasyonunu, vagus sinir sinyalini içermektedir (Gao ve ark., 2018). Buna ek olarak, bakteriler aynı yollar aracılığıyla beta amiloid fibril oluşumunun engellenmesi ve antioksidan özellik dahil olmak üzere çeşitli diğer nöroprotektif işlevler de sağlamaktadır. Psikobiyotikler vagus siniri yoluyla ve kısa zincirli yağ asitleri, enteroendokrin hormonlar, sitokinler ve nörotransmitterler dahil olmak üzere birçok metabolitin etkisiyle hareket eder (Şekil 2) (Sharma ve ark., 2021).

Psikobiyotikler asetat, bütirat, laktat ve propiyonat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin seviyesinde artışa neden olurlar ve bu yağ asitleri mukozal astarın endokrin hücreleriyle etkileşime girerek kolesistokinin peptid tirozin-tirozin ve glukagon-benzeri peptid-1 hormonlarının üretimini katalize eder. Probiyotiklerle karşılaştırıldığında prebiyotiklerin bu konuda daha güçlü etkileri olabilmektedir. Kısa zincirli yağ asitleri ve hormonlar daha sonra sinir sistemini etkilemek için vücutta dolaşır (Sarkar ve ark., 2016).

Lactobacillus ve *Bifidobacterium* türü probiyotikler ortamdaki prebiyotikleri kullanarak proinflatuar sitokin seviyesini azaltarak, antinflatuar sitokin seviyesinin artmasını sağlar. Bu durum bağırsak bütünlüğünün korunarak bakterilerin bağırsak ortamından çıkıp doku ve organlarda enfeksiyon oluşturmaları önlenmektedir (Sarkar ve ark., 2018).



Şekil 2. Psikobiyotiklerin etki şekli (Sharma ve ark., 2021).

Enterik sinir sistemi ve MSS'yi birbirine bağlayan vagus siniri, bağırsaktaki dendritik hücrelerle ilişkili nöropeptit sensörleri tarafından algılanan endotoksinler, peptitler ve inflammatuar sitokinler gibi çeşitli bakteriyel metabolitler tarafından uyarılır ve daha sonra beyne sinyaller iletir (Long-Smith ve ark., 2020).

Psikobiyotik bakteriler aynı zamanda sindirilmeyen liflerin metabolizması aracılığıyla çeşitli nörotransmitterlerin üretilmesini stimüle etmektedir. Bu nörotransmitterler arasında dopamin ve noradrenalinin üretimi *Bacillus* türleri tarafından stimüle edilirken, noradrenalin ve serotoninin *Escherichia* türleri, gama aminobütirik asit (GABA)'ın *Bifidobacteria*, serotoninin *Enterococci* ve *Streptococci* ve asetil kolin ve GABA'nın ise *Lactobacilli* familyasına ait bakteriler tarafından stimüle edildiği bilinmektedir. Enterik sinir sistemi, çeşitli nörotransmitterleri kullanan oldukça karmaşık bir ağdır ve bu nedenle seviyelerdeki bir dengesizlik, sistemin işleyişini etkileyerek MSS'ye ulaşan sinyallerin değişmesine neden olabilir (Sharma ve ark., 2021).

Stres veya depresyon gibi duygusal faktörler, bağırsak-beyin aksı yoluyla inflammatuar bağırsak hastalıkları (en yaygın olanları Crohn hastalığı ve ülseratif kolittir) ve irritabl bağırsak sendromu gibi kronik gastrointestinal hastalıkların doğal seyrini etkilemektedir. Stresin bağırsak epitelinin bütünlüğünü etkilediği ve bağırsak hareketliliğini, salgılarını ve müsin üretimini etkilediği, böylece yerleşik bakterilerin habitatını bozduğu ve mikrobiyal kompozisyon veya aktivitede değişiklikleri teşvik ettiği gösterilmiştir (Collins & Bercik, 2009).

3. Psikobiyotik Mikroorganizmaların Bazı Potansiyel Türleri

Psikobiyotikler terimi, ilk kez 2013 yılında Timothy Dinan ve çalışma arkadaşları tarafından, psikiyatrik hastalıkların tedavisinde potansiyel bir yaklaşıma işaret eden yeni bir probiyotik grubu olarak tanımlanmıştır (Dinan ve ark., 2013). Psikobiyotikler, yeterli miktarda alındıklarında zihinsel veya psikotik bozuklukları olan hastalarda sağlık yararları sağlayan canlı mikroorganizmalardır. Glutamat, serotonin ve GABA gibi nörotransmitterleri ve bazı proteinleri modüle ederek nöral inhibitör ve eksitator dengenin, hafıza sürecinin ve bilişsel işlevlerin düzenlenmesinde hayati bir işleve sahip oldukları rapor edilmiştir. *Lactiplantibacillus* (L.) *plantarum* subsp. *plantarum*, *Levilactobacillus* (L.) *brevis*, ve *Bifidobacterium* (B.) *dentium* gibi bazı *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* suşları serotonin ve GABA üretmektedir (Jostins ve ark., 2012). Ayrıca *Lactobacillus odontolyticus* ve *L. plantarum* subsp. *plantarum* gibi laktobasillerin asetilkolin ürettiği bilinmektedir (Roshchina, 2016). Son zamanlarda, mikroorganizmaların bağırsaktaki serotonin sentezini düzenleyebildiği de keşfedilmiştir (Yano ve ark., 2015). Bu bağlamda probiyotiklerin psikobiyotik olarak potansiyellerini incelemek oldukça önemlidir. Nörolojik durumlar üzerindeki etkilerine ilişkin bazı suşlar Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Nörolojik durumlarda etkileri tanımlanmış bazı probiyotik suşların listesi (Misra & Mohanty, 2019)

	Nörolojik durum		
	Depresyon ve stres	Depresyon ve anksiyete	Stres ve anksiyete
<i>Lactobacillus</i> ve <i>Bifidobacterium</i> türlerine ait bazı probiyotik suşlar	<i>B. breve</i> 1205	<i>L. helveticus</i>	<i>B. bifidum</i>
	<i>B. longum</i> NCC3001	<i>L. rhamnosus</i>	<i>B. bifidum</i> W23
	<i>B. longum</i> 1714		<i>B. lactis</i> W52
	<i>L. fermentum</i> NS9		<i>L. lactis</i> W58
			<i>L. acidophilus</i>
			<i>L. acidophilus</i> W37
			<i>L. lactis</i> W19
			<i>L. brevis</i> W63
			<i>L. salivarius</i> W24
			<i>L. helveticus</i> NS8
			<i>L. casei</i> W56
			<i>L. casei</i>

4. Psikobiyotik Olarak Bağırsak Mikroorganizmaları

Yetişkin insan bağırsak mikrobiyomu, bakteriler, virüsler, mantarlar, arkealar ve protozoa dahil olmak üzere yaklaşık 10^{13} - 10^{14} mikroorganizma içerir (Thursby & Juge, 2017). Mikrobiyotanın bileşimi her birey için özgündür ve bağırsak ortamındaki değişiklikler, yaşam tarzı ve beslenme alışkanlıklarıyla ilgili çeşitli faktörlerin sonucudur. Bağırsak mikrobiyotasının işlevleri metabolik, trofik ve koruyucu işlevler olmak üzere üç kategoride tanımlanabilir. Metabolik işlev, sindirilmeyen gıda artıklarının ayrıştırılması ve B vitaminleri ile K vitamini üretimi ile gerçekleştirilir. Trofik işlevler, enterositlerin olgunlaşması ve değişimi ile ilgili süreçlere katılarak bağırsak epitelinin sıkılığını kontrol etmeyi içerirken, mikrobiyotanın aktivite açısından etkileşimi gastrointestinal motor beceri işlevinin bir başka örneğidir (Shi & Walker, 2015).

Lactobacillus (L.) *acidophilus*, *Lactocaseibacillus* (L.) *casei*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium* (B.) *longum*, *Bifidobacterium* (B.) *bifidum*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Streptococcus* ve *Enterococcus* gibi bazı bağırsak mikroorganizmaları serotonin, norepinefrin ve GABA gibi nörotransmitterler üretebilmektedir. Ayrıca endokannabinoid reseptörleri gibi nörokimyasal reseptörlerin ekspresyonunu modüle edebilir ve psikotropik etkilerle (antidepresan ve anksiyolitik) sonuçlanan varsayılan beyin-bağırsak aksı üzerinde etki edebilirler. Bağırsak mikroorganizmalarının psikolojik sorunlara iyi geldiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Örneğin *Lactobacillus* (L.) *helveticus* R0052 ve *B. longum* R0175 (Probio'Stick®) suşlarından oluşan probiyotik kombinasyonunun bir aylık süre boyunca oral uygulanmasının depresyon, öfke, anksiyeteyi iyileştirdiği ve stres hormonu kortizol seviyesini düşürdüğü de bildirilmiştir (Messaoudi ve ark., 2011). Ayrıca fonksiyonel manyetik rezonans görüntülemeyi içeren plasebo kontrollü küçük bir çalışma da *Bifidobacterium* (B.) *animalis* subsp *lactis*, *Streptococcus* (S.) *thermophilus*, *Lactobacillus* (L.) *delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Lactococcus* (L.) *lactis* subsp *lactis* içeren fermente bir gıdanın bir aylık tüketiminin başlangıç seviyesine kıyasla beyin aktivitesini etkileyebileceğini göstermiştir (Tillisch ve ark., 2013).

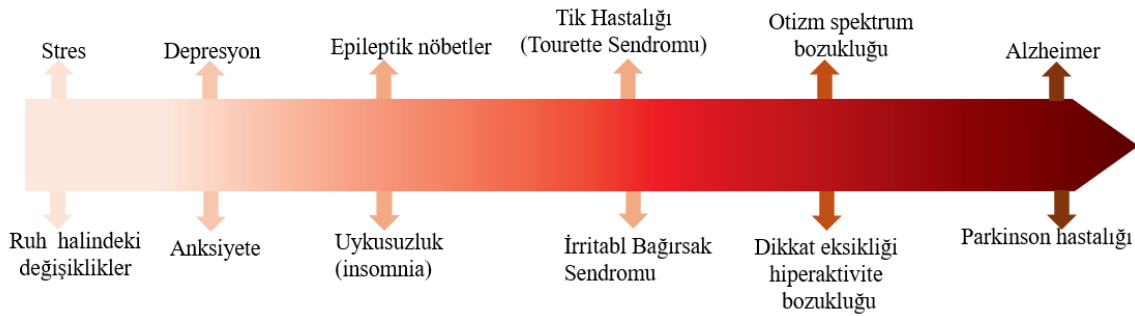
5. Psikobiyotiklerin Özellikleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Bağırsak mikroorganizmaları, MSS tarafından kontrol edilen süreçleri dolaylı olarak etkilemektedir. Bu, bağışıklık sistemini, hipotalamik-hipofiz-adrenal eksenini, nörotransmitterleri ve kısa zincirli yağ asitleri, yani bütirat, asetat ve propiyonat gibi metabolitlerin sentezini modüle ederek gerçekleştirilir. Mevcut veriler, kısa zincirli yağ asitlerinin kan-beyin bariyerini geçme kabiliyetleri nedeniyle mikrobiyota-bağırsak-beyin eksenini ve beynin fizyolojisini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca bağırsak bariyerinin düzgün çalışması ve bütünlüğünün korunması için de kritik öneme sahiptirler (Sarkar ve ark., 2016).

Bağırsaklar süper organizmalara, yani bakteriler, arkeler, virüsler ve ökaryotik organizmalar da dahil olmak üzere mikroorganizmaların bir koleksiyonu olan bağırsak mikrobiyotasına ev sahipliği yapar. Bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve işlevleri, her bir sistemin çalışmasının yanı sıra tüm vücudu da etkiler (Milani ve ark., 2017). Örneğin, bu organizmalar sindirim sürecinde, gıdalardan enerji elde edilmesinde ve sindirilmemiş gıda artıklarının fermente edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Hamaker & Tuncil, 2014). Bağırsak mikrobiyotası ayrıca B grubu ve K vitamini de dahil olmak üzere vitaminlerin sentezinden de sorumludur (Das ve ark., 2019). Bu nedenle, bağırsak mikrobiyotasının homeostazi bozulduğunda, bir bağırsak disbiyozu durumu oluşur. Bu durumun enflamatuvar bağırsak hastalıkları, irritabl bağırsak sendromu ve ince bağırsakta bakterilerin aşırı çoğalmasının yanı sıra obezite, diyabet ve kanser gibi uygarlık hastalıkları ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Walsh ve ark., 2014). Ayrıca, son yıllarda yapılan araştırmalar depresyon gibi ruhsal hastalıklar ile bağırsak mikrobiyotası arasında bir bağlantı olduğunu açıkça göstermektedir (Quigley, 2017).

Psikobiyotikler sadece nöroimmün aksları modüle etmekle kalmaz, aynı zamanda hafıza, öğrenme ve genel davranış gibi bilişsel süreçleri de etkiler. Bu tespit, bakteriler ve insan vücudu arasındaki mevcut simbiyoz paradigmasında değişikliklere yol açmıştır. Son raporlara göre, bu ilişki saf simbiyozdan ziyade kommensalizme benzemektedir (Sharma ve ark., 2021).

Psikobiyotiklerin etki mekanizmalarını tanımlarken bahsedilmesi gereken önemli bir husus da sinir sisteminin yapısıdır. Mikroglia, MSS'ye ait nöronal olmayan hücreler topluluğudur ve glial hücrelerin %5-20'sini oluşturur. Bağırsak mikrobiyotasının ruh sağlığı üzerindeki etkisi bağlamında özellikle önemli bir gerçek, mikroglial hücrelerin sitokin salgılaması ve bir dereceye kadar enflamatuvar yanıtı aktive etmekten sorumlu olmasıdır (Mossad ve ark., 2022). Psikobiyotiklerin nörolojik hastalıklar için tedavi potansiyeli kapsamı, ruh hali değişimleri, anksiyete ve stres gibi orta şiddette rahatsızlıklar ile Alzheimer ve Parkinson gibi daha ağır rahatsızlıklara kadar uzanmaktadır (Sharma & Bajwa, 2021). Psikobiyotiklerin terapötik potansiyelinin spektrumu Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Terapötik potansiyelleri açısından psikobiyotiklerin kapsamı (Sharma ve ark., 2021).

Yapılan bir çalışmada probiyotik türü *L. plantarum* P-8 suşunun 12 hafta boyunca tüketmenin stresli yetişkinlerin stresini ve kaygısını hafifletebildiği belirtilmiştir (Ma ve ark., 2021). Kronik stres, genellikle stres hormonu olarak bilinen yüksek kortizol seviyeleri ile de ilişkilidir. Kortizol, adrenal korteks tarafından üretilen bir steroid hormondur ve insan vücudundaki glikoz seviyelerinin düzenlenmesinde rol oynayan bileşikler olan glukokortikosteroidler olarak bilinen gruba aittir. Tüm sinirsel, hormonal ve dolaşımla ilgili mesajlar bağırsak-beyin aksı yoluyla bağırsaklara ulaşır. Bu mesajlar mast hücrelerinin aktivasyonuna ve bağırsak bariyerinin işlevlerinde değişikliklere neden olur. Otonom sinir sisteminin aktivasyonu kortizol ve tümör nekroz faktörü-alfa, interlökin-8 veya interlökin-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin konsantrasyonunda artışa neden olur. Bu gibi durumlarda, psikobiyotik müdahale kan kortizol konsantrasyonunu azaltmada çok yardımcı olabildiği belirtilmiştir (Wu ve ark., 2021).

6. Psikobiyotiklerin Süt Ürünlerindeki Bazı Uygulamaları

Belvitge Üniversite Hastanesi (Barselona, İspanya) Psikiyatri Bölümü uzmanları, psiko-duygusal patolojileri doğrudan yeme bozukluklarıyla ilişkilendirmiştir. Hastaların %38'inden fazlasında

aşırı yeme ve dengesiz beslenmeyle ilişkili olarak artan anksiyete gözlemlendiği rapor edilmiştir (Fernández-Aranda ve ark., 2020). Yeterli beslenmenin oluşması için beslenme uzmanları, bağışıklık ve sinir sistemlerinin tam olarak çalışmasını sağlayan belirli bileşenlerin tüketiminin günlük olarak izlenmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Bu tür bileşenlerin özellikle süt proteinleri ve fermente süt ürünlerinde bulunan probiyotik kültürler olduğunu rapor etmişlerdir (Agarkova ve ark., 2021).

Neredeyse her diyet önerisinde yer alan süt ve süt ürünleri özellikle fermente sütler probiyotikler için en uygun taşıyıcılar olarak kabul edilmektedir (Soccol ve ark., 2010). Yoğurt, peynir veya dondurma probiyotik taşımak için sıklıkla kullanılan süt ürünlerinden bazılarıdır (Granato ve ark., 2010). Bunun başlıca nedeni, bu ürünlerin büyük miktarda protein, yağ ve laktoz içeren fizikokimyasal bileşimlerinin yanı sıra yüksek tamponlama kapasiteleridir. Bu faktörler probiyotik bakterilerin GİS'den geçişleri sırasında korunmalarını sağlar (Barros ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2022). Aynı zamanda süt ürünleri probiyotik ve psikobiyotiklerin gelişimi için iyi bir matris sağlamaktadır. Fermente süt ürünlerinde psikobiyotikler, yalnızca fermentasyondan hemen sonra değil aynı zamanda depolamadan sonra da mikroorganizmaların terapötik dozda (1×10^6 kob/ml'nin üzerinde) kalması mükemmel bir avantajdır (Mirković ve ark., 2021).

Ayrıca, esas olarak laktobasillerin ve bifidobakterilerin aktivitelerine odaklanan geniş bir çalışma yelpazesinde potansiyel psikobiyotik etkiler rapor edilmiştir. Bu bağlamda *L. casei* suşu Shirota psikobiyotik potansiyelinin araştırıldığı ilk suşlardan biridir. Benton ve ark. (2007), *L. casei* suşu Shirota (1×10^8 kob/ml) ile fermente edilmiş sütün, başlangıçta, 10 ve 20 günlük tüketimden sonra tüketimden sonra farklı testlerle deneklerin ruh hali ve bilişi üzerindeki etkisini ölçmüştür. Ruh halinde genel bir iyileşme bulmuşlar, ancak hafıza ölçümleriyle ilgili önemli bir sonuç elde edememişlerdir (Benton ve ark., 2007). Bu suş ayrıca Kato-Kataoka ve ark. (2016) tarafından akademik stres altındaki öğrencilere uygulanan fermente bir süt ürününde de çalışılmıştır. Bu çalışmada, 8 hafta boyunca *L. casei* suşu Shirota ($>1 \times 10^9$ kob/ml) içeren 100 ml fermente süt alımının, plasebo grubunununkine kıyasla fekal serotonin seviyelerini artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, günlük fermente süt alımı, fiziksel semptomların (strese yanıt olarak) yaşandığı toplam gün sayısını ve stresli durumlarda bu semptomları yaşayan deneklerin oranını önemli ölçüde azaltmıştır.

Başka bir çalışmada, sağlıklı orta yaşlı yetişkinlere 8 hafta boyunca, bilişsel işlev üzerindeki etkilerini belirlemek için 190 g *L. helveticus* ile fermente edilmiş ve laktonadekapeptit içeren süt içeceği verilmiş ve nöropsikolojik durumları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, plasebo grubuna kıyasla süt içeceği alan katılımcıların toplam puanında, dikkat puanında ve gecikmeli bellek puanında önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir (Ohsawa ve ark., 2018). Benzer şekilde, *L. helveticus* R0052 gibi probiyotiklerin stresle ilişkili bozuklukların ilaç dışı tedavisinde kullanımını destekleyen bulgular bulunmaktadır (Edebol Carlman ve ark., 2022).

Kanada'da McMaster Üniversitesi Psikiyatri ve Davranışsal Sinir Bilimleri Bölümü'nde, bağırsak mikrobiyotasının MSS'nin işlevini etkileme kabiliyeti kanıtlanmış ve çeşitli probiyotik kültürler üzerinde çalışılmıştır. *Limosilactobacillus (L.) reuteri* ile fermente edilmiş sütü 9 gün boyunca alan sıçanlarda, bağırsağın kas zarındaki antihipertansif nöronların aktivitesi artmıştır. Bu da *L. reuteri*'nin bağırsak hareketliliği üzerindeki doğrudan etkisini göstermektedir (Kunze ve ark., 2009).

Aynı zamanda, *L. acidophilus*, *L. casei*, *B. bifidum* ve *Limosilactobacillus fermentum* (her biri için 2×10^9 kob/g) içeren fermente sütün potansiyel psikobiyotik etkiler gösterdiği Akbari ve ark. (2016) tarafından bildirilmiştir. Alzheimer hastalarına 12 hafta boyunca günde 200 ml probiyotik fermente süt uygulamışlardır. Ayrıca, tedaviden önce ve sonra tüm deneklerde mini zihinsel durum muayenesi yapılmış ve puanlamalar kaydedilmiştir. Fermente süt tüketen hastalar, plasebo grubuna kıyasla yapılan puanlamalarda anlamlı bir iyileşme gösterdiği rapor edilmiştir.

Tillisch ve ark. (2013) sağlıklı kadınlar tarafından fermente süt tüketiminin beyin içsel bağlantısını veya duygusal dikkat görevlerine verilen tepkileri değiştirip değiştirmediğini araştırmıştır. Fermente süt *B. animalis* subsp *lactis* (1.25×10^{10} kob/porsiyon), *S. thermophilus*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (1.2×10^9 kob/porsiyon) ve *L. lactis* subsp *lactis* (1.2×10^9 kob/porsiyon) içermektedir. 4 haftalık kronik 125 g fermente süt tüketiminden sonra katılımcılara manyetik rezonans görüntüleme yapılmıştır. Formülasyonun, geniş bir beyin ağının duyarlılığını modüle ettiği ve duygu ve hislerin merkezi olarak işlenmesini kontrol eden beyin bölgelerinin aktivitesini etkilediği bildirilmiştir.

Yapılan başka bir araştırmada, petrokimya işçilerinde *L. acidophilus* LA5 ve *Bifidobacterium lactis* BB12 (1×10^7 kob/g) içeren probiyotik yoğurdun ruh sağlığı ve hipotalamik-hipofiz-adrenal aksı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Ruh sağlığını ölçmek için genel sağlık anketi ve depresyon anksiyete

ve stres ölçeği skorları parametre olarak kullanılmıştır. Kişilere 6 hafta boyunca 100 g probiyotik yoğurt verilmiştir. Serum kinürenin, triptofan, nöropeptid Y, kortizol ve adrenokortikotropin hormonu seviyelerini ölçmek için kan örnekleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, probiyotik yoğurt uygulamasının ruh sağlığı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu, ancak hipotalamik-hipofiz-adrenal eksenini etkilemediği; sağlık anketi ile depresyon anksiyete ve stres ölçeği puanlarında önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir (Mohammadi ve ark., 2016).

Fermente bir süt ürünü olan kefirin fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, kefirinin farelerde mikrobiyota-bağırsak-beyin aksının belirli yönlerini modüle edebileceğini rapor edilmiştir. Farelere 3 hafta boyunca oral sindirim yoluyla iki farklı kefir verilmiştir. Açık alan testi, stres kaynaklı hipertermi testi ve zorunlu yüzme testi gibi çeşitli testler ve bağırsaktaki sistemik bağışıklık ve serotonin seviyelerinin ölçümleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, bağırsak mikrobiyotası dışkı maddesinin metagenomik dizilimi ve dışkı metabolom analizi ile incelenmiştir. İki kefir, farelerde hem tekrarlayan hem de ödülle ilişkili davranışları önemli ölçüde etkilemiştir. Ayrıca kefir tüketimi konakçı mikrobiyotasının bileşimini değiştirmiş ve sistemik bağışıklık ile kolonik serotonerjik sinyali farklı şekilde etkilemiştir. Ayrıca kefir tüketimi, *L. reuteri*'nin artan prevalansına bağlı GABA biyosentezi de dahil olmak üzere belirli bağırsak mikrobiyal fonksiyonel kapasitelerini etkilediği bildirilmiştir (van de Wouw ve ark., 2020). Benzer şekilde, bir bağırsak simbiyozu ve potansiyel psikobiyotik suş olan insan kaynaklı *L. reuteri* DSM 17938 asitle pıhtılaştırılmış taze yumuşak kuark tip peynir üretiminde kullanılmış ve peynir örneklerinin probiyotik suşun canlılığını koruduğu belirtilmiştir. Yeni nesil gıdaları temsil eden psikobiyotik içeren peynirlerin depresyon ve anksiyetesi olan bireylerin beslenmesine dahil edilebileceği vurgulanmıştır (Jovanović ve ark., 2023).

7. Ticari Durum ve Geleceğe İlişkin Endişeler

Probiyotik ürünler halihazırda küresel pazarda önemli bir talebe sahiptir. Probiyotiklere yönelik dünya çapındaki talep, sindirim sağlığına yönelik faydaları konusunda tüketiciler arasında artan farkındalık ve sağlıklı gıdalara yönelik talepteki yükselişin bir sonucu olarak önemli ölçüde artmaktadır. Probiyotiklerin yeni alt sınıfı olan psikobiyotikler, henüz emekleme aşamasında olmalarına rağmen, dünya çapında çeşitli şirketler tarafından piyasaya sürülen bir dizi ticari ürünle pazardaki yerlerini çoktan almışlardır. Ticari olarak mevcut psikobiyotik ürünlerden biri olan psikobiyotik PS128®, 2018 NutraIngredients-ASIA Ödülleri'nde 'Yılın Probiyotik Ürünü' ödülüne layık görülmüştür. Psikobiyotik potansiyele sahip en yaygın tüketilen bakteriler *L. plantarum* subsp. *plantarum*, *L. helveticus* ve *B. longum*'dur. Bunlara ek olarak, ZenBiotic ve Mood Plus gibi birkaç ürün sırasıyla 11 ve 14 psikobiyotik suş karışımına sahipken, Mood Super Strains, Mood Probiotic ve CalmBiotic gibi bazı ürünler 1 veya 2 suş kombinasyonuna sahiptir. Takviye başına canlı bakteri sayısı önemli bir parametredir. Psikobiyotik takviyelerin çoğu kapsül başına 30 milyar kob veya daha fazlasını içerirken, sadece birkaç takviye ürün 4 ila 15 milyar kob/kapsül canlı bakteri içermektedir (Sharma ve ark., 2021).

Psikobiyotiklerin özellikleri suşa özgüdür, bu nedenle her ürün formülasyonlarının ruh sağlığına faydalarını belirtmelidir. Bened Biomedicals, günlük Psychobiotic PS128 tüketiminin beyindeki dopamin ve serotonin konsantrasyonunu artırdığını ve zihinsel ve motor bozuklukları hafiflettiğini iddia etmektedir. Bu ürünün etkileri Otizm Spektrum Bozukluğu olan çocuklar üzerinde rapor edilmiş olup, randomize, çift kör çalışmaların sonuçları PS128'in plasebo grubuna kıyasla daha küçük çocuklarda (7-12 yaş arası) muhalefet ve meydan okuma davranışını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Liu ve ark., 2019).

Brainbiotic adlı başka bir formül Natural Stacks şirketi tarafından satılmaktadır. Brainbiotic'teki *L. helveticus*, *L. plantarum* subsp. *plantarum*, *L. brevis* ve *B. longum* gibi probiyotik suşlar, beyin kaynaklı nörotrofik faktör artışı, hafıza geliştirme ve stresle ilgili semptomların hafifletilmesi ile ilişkilendirilmektedir. Formülasyon, bir Bağırsak-Beyin Aksını optimize edici olduğunu, beyin sisini yenebileceğini ve hafıza desteği sağlayabileceğini iddia etmektedir (Sharma ve ark., 2021).

Psikobiyotik araştırmaları önemli bir aşama kaydetmiş olsa da hala kat edilmesi gereken uzun bir yol vardır. Mekanizma yolunun bazı kısımları hala çok net değildir ve bu da çeşitli cevaplanmamış soruların gelişmesine yol açmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır: Psikobiyotiklerle ilişkili doz-yanıt fonksiyonları nelerdir? Psikobiyotiklerin gözlemlenen faydalarının yanı sıra fark edilmeyen psikofizyolojik dezavantajları var mıdır? Uzun süre alındığında beyin herhangi bir şekilde psikobiyotiklere uyum sağlar mı? Çeşitli psikobiyotik etkilerin ortaya çıkma süresi nedir ve bu etkiler

ne kadar sürer? Gözlemlenen endişe verici önemli bir yan etki, probiyotik içeceklerin uygulanması aniden durdurulduğunda bazı faydalarının kısmen tersine dönmesidir. Bu, bazı durumlarda sürekli bir dozajın gerekli olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca psikobiyotiklerin diyet, genotip, cinsiyet ve yaş gibi faktörlere olan ilişkisi hala belirsizliğini korumaktadır (Sharma ve ark., 2021). Ek olarak, psikobiyotiklerin birçok özelliği suşa özgüdür ve belirli formülasyonlarla ilişkili güvenlik ve etkinlik bulguları diğer probiyotik ürünlere genelleştirilmemeli ve etkinliklerinin uygun şekilde kanıtlanmadığı daha geniş bir sağlık alanı için kullanım amacıyla reklamları yapılmamalıdır (Grover ve ark., 2012). Bu önemli bir endişe alanıdır ve bu nedenle, psikobiyotiklere ve bunların güvenliğine ilişkin gelecekteki herhangi bir sağlık iddiası, hedeflenen popülasyon üzerinde bilimsel temelli klinik çalışmalar yoluyla bilimsel kanıtlara dayanmalıdır.

8. Sonuç

Mevcut çalışmalar bağırsak mikrobiyotası ile beyin arasındaki ilişkiyi ve bunların sinyalizasyon yoluyla etkileşimini açıkça ortaya koymaktadır. Yapılan literatür analizi, bağırsak mikrobiyotasının durumu ile bir kişinin ruhsal sağlığı ve stresli durumlara dayanma yeteneği arasındaki bağlantıyı doğrulamıştır. Giderek artan sayıda bilimsel veri, psikobiyotiklerin, özellikle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türlerine ait bakteriler olmak üzere probiyotik bakterilerin depresyon, anksiyete ve stres üzerinde psikotropik bir etkiye sahip olduğunu ve bağırsak mikrobiyotasını yenileyebileceğini göstermektedir. Psikobiyotik probiyotiklerin yaygın kullanımı, bir dizi tehlikeli yan etkisi olan kimyasal antidepresanların tüketimini azaltmaya yardımcı olacağı düşünülmektedir. Psikobiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımının zihinsel sağlığın korunması ve psikiyatrik rahatsızlıkların iyileştirilmesinde etkin bulunduğu ortaya konulmuştur. Ruhsal sağlığın korunmasında ve iyileştirilmesinde uygulanan farmakolojik tedavilere alternatif olarak psikobiyotik kullanımının düzenli hale getirilebilmesinde, psikobiyotiklerin süt ürünlerine takviyesinin oldukça önemli sonuçlar ortaya çıkaracağı öngörülmektedir.

Kaynakça

- Agarkova, Y., Fedotova, O., & Chilikin, A. (2021). The prospect of using natural psychobiotics in dairy products to stabilize the diet. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677 (3), 032051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032051>
- Akbari, E., Asemi, Z., Daneshvar Kakhaki, R., Bahmani, F., Kouchaki, E., Tamtaji, O. R., Hamidi, G. A., & Salami, M. (2016). Effect of probiotic supplementation on cognitive function and metabolic status in Alzheimer's disease: a randomized, double-blind and controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 256. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00256>
- Barros, C. P., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. C. K., Silva, M. C., Silva, R., Ferreira, B. M., Sant'Ana, A. S., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 32, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.003>
- Benton, D., Williams, C., & Brown, A. (2007). Impact of consuming a milk drink containing a probiotic on mood and cognition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(3), 355-361.
- Casertano, M., Fogliano, V., & Ercolini, D. (2022). Psychobiotics, gut microbiota and fermented foods can help preserving mental health. *Food Research International*, 152, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110892>
- Cichońska, P., Kowalska, E., & Ziarno, M. (2023). The survival of psychobiotics in fermented food and the gastrointestinal tract: A review. *Microorganisms*, 11(4), 996. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040996>
- Collins, S. M., & Bercik, P. (2009). The relationship between intestinal microbiota and the central nervous system in normal gastrointestinal function and disease. *Gastroenterology*, 136(6), 2003-2014. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2009.01.075>
- Das, P., Babaei, P., & Nielsen, J. (2019). Metagenomic analysis of microbe-mediated vitamin metabolism in the human gut microbiome. *BMC Genomics*, 20(208), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5591-7>

- Dinan, T. G., Stanton, C., & Cryan, J. F. (2013). Psychobiotics: a novel class of psychotropic. *Biological Psychiatry*, 74(10), 720-726. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.05.001>
- Edebol Carlman, H. M., Rode, J., König, J., Repsilber, D., Hutchinson, A. N., Thunberg, P., Persson, J., Kiselev, A., Pruessner, J. C., & Brummer, R. J. (2022). Probiotic mixture containing *Lactobacillus helveticus*, *Bifidobacterium longum* and *Lactiplantibacillus plantarum* affects brain responses to an arithmetic stress task in healthy subjects: a randomised clinical trial and proof-of-concept study. *Nutrients*, 14(7), 1329. <https://doi.org/10.3390/nu14071329>
- Fernández-Aranda, F., Casas, M., Claes, L., Bryan, D. C., Favaro, A., Granero, R., Gudiol, C., Jiménez-Murcia, S., Karwautz, A., & Le Grange, D. (2020). COVID-19 and implications for eating disorders. *European Eating Disorders Review*, 28(3), 239. <https://doi.org/10.1002/erv.2738>
- Fichna, J., & Storr, M. A. (2012). Brain-gut interactions in IBS. *Frontiers in Pharmacology*, 3, 127. <https://doi.org/10.3389/fphar.2012.00127>
- Gao, J., Xu, K., Liu, H., Liu, G., Bai, M., Peng, C., Li, T., & Yin, Y. (2018). Impact of the gut microbiota on intestinal immunity mediated by tryptophan metabolism. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8(13), 1-22. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00013>
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. (Eds.). (2008). *Handbook of Prebiotics*. Crc Press.
- Granato, D., Branco, G. F., Cruz, A. G., Faria, J. d. A. F., & Shah, N. P. (2010). Probiotic dairy products as functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 455-470. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>
- Grover, S., Rashmi, H. M., Srivastava, A. K., & Batish, V. K. (2012). Probiotics for human health—new innovations and emerging trends. *Gut Pathogens*, 4, 1-14. <https://doi.org/10.1186/1757-4749-4-15>
- Hamaker, B. R., & Tuncil, Y. E. (2014). A perspective on the complexity of dietary fiber structures and their potential effect on the gut microbiota. *Journal of Molecular Biology*, 426(23), 3838-3850. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2014.07.028>
- Hattori, M., & Taylor, T. D. (2009). The human intestinal microbiome: a new frontier of human biology. *DNA Research*, 16(1), 1-12. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsn033>
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., & Salminen, S. (2014). The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506-514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Jostins, L., Ripke, S., Weersma, R. K., Duerr, R. H., McGovern, D. P., Hui, K. Y., Lee, J. C., Schumm, L. P., Sharma, Y., Anderson, C. A., Essers, J., Mitrovic, M., Ning, K., Cleynen, I., Theatre, E., Spain, S. L., Raychaudhuri, S., Goyette, P., Wei, Z., . . . Cho, J. H. (2012). Host-microbe interactions have shaped the genetic architecture of inflammatory bowel disease. *Nature*, 491(7422), 119-124. <https://doi.org/10.1038/nature11582>
- Jovanović, M., Vojvodić, P., Tenji, D., Tomić, N., Nešić, J., Mitić-Ćulafić, D., & Miočinović, J. (2023). Cheese fermented with human-derived *Limosilactobacillus reuteri* DSM 17938 and mushroom powders: A novel psychobiotic food with enhanced bioactivity and sensory acceptability. *Fermentation*, 9(8), 745. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080745>
- Kato-Kataoka, A., Nishida, K., Takada, M., Suda, K., Kawai, M., Shimizu, K., Kushiro, A., Hoshi, R., Watanabe, O., Igarashi, T., Miyazaki, K., Kuwano, Y., & Rokutan, K. (2016). Fermented milk containing *Lactobacillus casei* strain Shirota prevents the onset of physical symptoms in medical students under academic examination stress. *Beneficial Microbes*, 7(2), 153-156. <https://doi.org/10.3920/BM2015.0100>
- Kumar, M. R., Azizi, N. F., Yeap, S. K., Abdullah, J. O., Khalid, M., Omar, A. R., Osman, M. A., Leow, A. T. C., Mortadza, S. A. S., & Alitheen, N. B. (2022). Clinical and preclinical studies of fermented foods and their effects on Alzheimer's disease. *Antioxidants*, 11(5), 883. <https://doi.org/10.3390/antiox11050883>
- Kunze, W. A., Mao, Y. K., Wang, B., Huizinga, J. D., Ma, X., Forsythe, P., & Bienenstock, J. (2009). *Lactobacillus reuteri* enhances excitability of colonic AH neurons by inhibiting calcium-dependent potassium channel opening. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 13(8b), 2261-2270. <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00686.x>

- Liu, Y.W., Liong, M. T., Chung, Y.C. E., Huang, H.Y., Peng, W.S., Cheng, Y.F., Lin, Y.S., Wu, Y.Y., & Tsai, Y.C. (2019). Effects of *Lactobacillus plantarum* PS128 on children with autism spectrum disorder in Taiwan: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Nutrients*, 11(4), 820. <https://doi.org/10.3390/nu11040820>
- Long-Smith, C., O'Riordan, K. J., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2020). Microbiota-gut-brain axis: new therapeutic opportunities. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 60(1), 477-502. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010919-023628>
- Ma, T., Jin, H., Kwok, L.Y., Sun, Z., Liong, M.T., & Zhang, H. (2021). Probiotic consumption relieved human stress and anxiety symptoms possibly via modulating the neuroactive potential of the gut microbiota. *Neurobiology of Stress*, 14, 100294. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2021.100294>
- Mayer, E. A. (2011). Gut feelings: the emerging biology of gut-brain communication. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(8), 453-466. <https://doi.org/10.1038/nrn3071>
- Mayer, E. A., Tillisch, K., & Gupta, A. (2015). Gut/brain axis and the microbiota. *The Journal of Clinical Investigation*, 125(3), 926-938. <https://doi.org/10.1172/JCI76304>
- Messaoudi, M., Lalonde, R., Violle, N., Javelot, H., Desor, D., Nejdi, A., Bisson, J.-F., Rougeot, C., Pichelin, M., & Cazaubiel, M. (2011). Assessment of psychotropic-like properties of a probiotic formulation (*Lactobacillus helveticus* R0052 and *Bifidobacterium longum* R0175) in rats and human subjects. *British Journal of Nutrition*, 105(5), 755-764. <https://doi.org/10.1017/S0007114510004319>
- Milani, C., Duranti, S., Bottacini, F., Casey, E., Turrone, F., Mahony, J., Belzer, C., Delgado Palacio, S., Arbolea Montes, S., & Mancabelli, L. (2017). The first microbial colonizers of the human gut: composition, activities, and health implications of the infant gut microbiota. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 81(4), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/mmbr.00036-17>
- Mirković, M., Mirković, N., Miočinović, J., Radulović, A., Paunović, D., Ilić, M., & Radulović, Z. (2021). Probiotic yogurt and cheese from ultrafiltered milk: Sensory quality and viability of free-living and spray dried *Lactiplantibacillus plantarum* 564 and *Lactiplantibacillus plantarum* 299v. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9), e15713. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15713>
- Misra, S., & Mohanty, D. (2019). Psychobiotics: A new approach for treating mental illness? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8), 1230-1236. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1399860>
- Mohammad, F. K., Palukuri, M. V., Shivakumar, S., Rengaswamy, R., & Sahoo, S. (2022). A computational framework for studying gut-brain axis in autism spectrum disorder. *Frontiers in Physiology*, 13, 760753. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.760753>
- Mohammadi, A. A., Jazayeri, S., Khosravi-Darani, K., Solati, Z., Mohammadpour, N., Asemi, Z., Adab, Z., Djalali, M., Tehrani-Doost, M., & Hosseini, M. (2016). The effects of probiotics on mental health and hypothalamic-pituitary-adrenal axis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial in petrochemical workers. *Nutritional Neuroscience*, 19(9), 387-395. <https://doi.org/10.1179/1476830515Y.0000000023>
- Mossad, O., Batut, B., Yilmaz, B., Dokalis, N., Mezö, C., Nent, E., Nabavi, L. S., Mayer, M., Maron, F. J. M., & Buescher, J. M. (2022). Gut microbiota drives age-related oxidative stress and mitochondrial damage in microglia via the metabolite N 6-carboxymethyllysine. *Nature Neuroscience*, 25(3), 295-305. <https://doi.org/10.1038/s41593-022-01027-3>
- Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 168. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Ohsawa, K., Nakamura, F., Uchida, N., Mizuno, S., & Yokogoshi, H. (2018). *Lactobacillus helveticus*-fermented milk containing lactononadecapeptide (NIPPLTQTPVVPPFLQPE) improves cognitive function in healthy middle-aged adults: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(3), 369-376. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1365824>
- Quigley, E. M. (2017). Microbiota-brain-gut axis and neurodegenerative diseases. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 17, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11910-017-0802-6>

- Roshchina, V. V. (2016). New trends and perspectives in the evolution of neurotransmitters in microbial, plant, and animal cells. *Microbial Endocrinology: Interkingdom Signaling in Infectious Disease and Health*, 25-77. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20215-0_2
- Sarkar, A., Harty, S., Lehto, S. M., Moeller, A. H., Dinan, T. G., Dunbar, R. I., Cryan, J. F., & Burnet, P. W. (2018). The microbiome in psychology and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(7), 611-636. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.006>
- Sarkar, A., Lehto, S. M., Harty, S., Dinan, T. G., Cryan, J. F., & Burnet, P. W. (2016). Psychobiotics and the manipulation of bacteria–gut–brain signals. *Trends in Neurosciences*, 39(11), 763-781. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.09.002>
- Sharma, H., & Bajwa, J. (2021). Potential role and mechanism of probiotics. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 3616-3624. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/472>
- Sharma, R., Gupta, D., Mehrotra, R., & Mago, P. (2021). Psychobiotics: The next-generation probiotics for the brain. *Current Microbiology*, 78, 449-463. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02289-5>
- Shi, H. N., & Walker, W. A. (2015). Development and physiology of the intestinal mucosal defense (Chapter 2). In J. Mestecky, W. Strober, M. W. Russell, B. L. Kelsall, H. Cheroutre, & B. N. Lambrecht (Eds.), *Mucosal Immunology* (pp. 9-29). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415847-4.00002-1>
- Soccol, C. R., Vandenberghe, L. d. S., Spier, M. R., Medeiros, A. B. P., Yamaguishi, C. T., Lindner, J. D. D., Ashok Pandey, A. P., & Thomaz-Soccol, V. (2010). The potential of probiotics: a review. *Food Technology Biotechnology*, 48 (4) 413–434.
- Thursby, E., & Juge, N. (2017). Introduction to the human gut microbiota. *Biochemical Journal*, 474(11), 1823-1836. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>
- Tillisch, K., Labus, J., Kilpatrick, L., Jiang, Z., Stains, J., Ebrat, B., Guyonnet, D., Legrain-Raspaud, S., Trotin, B., Naliboff, B., & Mayer, E. A. (2013). Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology*, 144(7), 1394-1401. e1394. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2013.02.043>
- van de Wouw, M., Walsh, A. M., Crispie, F., van Leuven, L., Lyte, J. M., Boehme, M., Clarke, G., Dinan, T. G., Cotter, P. D., & Cryan, J. F. (2020). Distinct actions of the fermented beverage kefir on host behaviour, immunity and microbiome gut-brain modules in the mouse. *Microbiome*, 8, 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00846-5>
- Walsh, C. J., Guinane, C. M., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2014). Beneficial modulation of the gut microbiota. *FEBS Letters*, 588(22), 4120-4130. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.03.035>
- Wasilewski, A., Zielińska, M., Storr, M., & Fichna, J. (2015). Beneficial effects of probiotics, prebiotics, synbiotics, and psychobiotics in inflammatory bowel disease. *Inflammatory Bowel Diseases*, 21(7), 1674-1682. <https://doi.org/10.1097/mib.0000000000000364>
- Wu, S.-I., Wu, C.-C., Tsai, P.-J., Cheng, L.-H., Hsu, C.-C., Shan, I.-K., Chan, P.-Y., Lin, T.-W., Ko, C.-J., & Chen, W.-L. (2021). Psychobiotic supplementation of PS128TM improves stress, anxiety, and insomnia in highly stressed information technology specialists: a pilot study. *Frontiers in Nutrition*, 8, 614105. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.614105>
- Yano, J. M., Yu, K., Donaldson, G. P., Shastri, G. G., Ann, P., Ma, L., Nagler, C. R., Ismagilov, R. F., Mazmanian, S. K., & Hsiao, E. Y. (2015). Indigenous bacteria from the gut microbiota regulate host serotonin biosynthesis. *Cell*, 161(2), 264-276. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.02.047>



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Fonksiyonel Gıda Üretiminde Yeni Yaklaşımlar

Osman Onur KARA*

Tarım ve Orman Bakanlığı, Antalya İl Müdürlüğü, Antalya

Osman Onur KARA, ORCID No: 0000-0002-2016-2125

*Sorumlu yazar e-posta: osmanonurkara@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 05.08.2024

Kabul: 11.10.2024

Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1528392

Anahtar Kelimeler

3D Yazıcı,
Biyoaktif bileşen,
Fonksiyonel gıda,
Nutrigenomic,
Vakumlu emdirme

Öz: Fonksiyonel gıdalar, uluslararası kabul görmüş ortak bir tanımı olmamakla birlikte genel olarak temel beslenmenin ötesinde sağlık faydaları sağlayan ve normal diyetin bir parçası olarak tüketilen gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Bu gıdalar, sahip oldukları olumlu etkileri, içerdikleri fenolik bileşikler, karotenoidler, fitosteroller, diyetsel lif, çoklu doymamış yağ asitleri, probiyotikler, A, C ve E vitaminleri gibi biyoaktif fonksiyonel bileşenler ya da etmenler sayesinde sağlarlar. Günümüzde artan tüketici bilinci ve sağlıklı beslenmenin önemini ortaya koyan bilimsel veriler fonksiyonel gıdalara olan ilginin de artışına yol açmıştır. Özellikle gıda teknolojisindeki gelişmelerle birlikte fonksiyonel gıdaların üretimi önemli düzeyde artmış ve yeni fonksiyonel gıda üretim metotları ve yaklaşımlarının oluşturulması konularındaki bilimsel ve endüstriyel çalışmalar da hız kazanmıştır. Bu çalışmada yakın zamanda fonksiyonel gıda üretimi ile ilgili yapılan yeni çalışmalarda yoğun olarak kullanılan metot ve yaklaşımlarla, ortaya çıkışı yeni olan fonksiyonel gıda üretiminde umut vadeden metot ve yaklaşımlar incelenmiştir. Bu kapsamda; 3 boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi, vakumlu emdirme, nutrigenomik, tarımsal yan ürünlerin farklı yollarla fonksiyonel gıdalara işlenmesi ve tersine mühendislik yöntem ve yaklaşımlarının, fonksiyonel gıda üretiminde kullanımları açısından literatürde bu konudaki veriler dikkate alınarak incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

New Approaches in Functional Food Production

Article Info

Received: 05.08.2024

Accepted: 11.10.2024

Online December 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1528392

Keywords

3D Printer,
Bioactive compound,
Functional food,
Nutrigenomics,
Vacuum impregnation

Abstract: Functional foods, although there is no internationally accepted common definition, are generally defined as foods that provide health benefits beyond basic nutrition and are consumed as part of a normal diet. These foods provide their positive effects thanks to the bioactive functional components or factors they contain, such as phenolic compounds, carotenoids, phytosterols, dietary fiber, polyunsaturated fatty acids, probiotics, vitamins A, C and E. Today, increasing consumer awareness and scientific data revealing the importance of healthy nutrition have led to an increase in interest in functional foods. Especially with the developments in food technology, the production of functional foods has increased significantly and scientific and industrial studies on the creation of new functional food production methods and approaches have also accelerated. In this study, the methods and approaches that have been used intensively in recent studies on functional food production and the promising methods and approaches in the newly emerging functional food production have been examined. In this context, it is aimed to examine and evaluate the 3-dimensional (3D) printer technology, vacuum impregnation, nutrigenomics, processing of agricultural by-products into functional foods in different ways and reverse engineering methods and approaches in terms of their use in functional food production, and considering the data on this subject in the literature.

1. Giriş

Hızlı ve kolay tüketilen yiyeceklerin yaygınlaşması ile tek tip beslenmenin artışı, bunun yanında hareketsiz ve sağlıksız yaşam alışkanlıklarının yaygınlaşması modern çağlarda obezite ve kalp damar rahatsızlıklarını gündeme getirmiştir. Bu durumla birlikte artan tüketici bilinci, sağlıklı beslenmenin önemini ortaya koyan bilimsel veriler ve gıda teknolojisindeki gelişmeler gibi nedenler, son yıllarda sağlık açısından daha faydalı ve uygun beslenme talebinin önemli ölçüde artışına yol açmıştır. Bu talep, fonksiyonel gıdalar içinde önemli düzeyde bir ilgi ve pazar oluşmasını sağlamıştır. Uluslararası kabul görmüş ortak bir tanımla olmamakla birlikte genel olarak temel beslenmenin ötesinde sağlık faydaları sağlayan gıdalara fonksiyonel gıdalar denilmektedir (Anonim, 2010; Vignesh ve ark., 2024). Fonksiyonel gıda tüketimi ile sağlanacağı iddia edilen, bildirilmiş olan sağlık faydalarının bazıları; kalp sağlığı üzerine olumlu etkiler, kanser riskinin azaltılması, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, menopoz semptomlarının azaltılması, sindirim sistemi üzerine olumlu etkiler, iltihap önleyici etkiler, kan basıncının azaltılması, antimikrobiyal aktivite, osteoporoz'a karşı koruyucu etkiler olarak sayılabilir (Shandilya & Sharma, 2017). Fonksiyonel gıdalar, bu olumlu etkileri, içerdikleri fenolik bileşikler, karotenoidler, fitosteroller, diyetel lif, çoklu doymamış yağ asitleri, probiyotikler, vitaminler A, C ve E gibi biyoaktif fonksiyonel bileşenler ya da etmenler sayesinde sağlarlar (Al Saqqa, 2021).

Gıdalara fonksiyonel özellik sağlama girişiminin geçmişi, 1900'lerin başında Amerika Birleşik Devletleri'nde, Guatr hastalığının önlenmesi amacıyla tuzlara iyot eklenmesine kadar gidebilir (Moghe ve ark., 2018). Daha sonraları süt, vitamin A ve vitamin D ile zenginleştirilmeye başlandı. Bununla birlikte, fonksiyonel gıdalar terimi ilk defa 1980'lerin ortalarında Japonya'da kullanıldı ve 1991 yılında Food for Specified Health Use (FOSHU)-Belirli Sağlık Amaçlarıyla Kullanılan Gıda, adı altında yasalaştırıldı (Landström, 2008). 1990'lı yıllardan itibaren gıda sektörüne giren fonksiyonel gıda pazarı, günümüze kadar sürekli artan bir tüketici talebiyle çok geniş bir ürün yelpazesine ulaştı. Bu pazarın bu derece gelişmesindeki önemli nedenler; günümüzde sağlıklı yaşam için tüketici farkındalığının artışı, nüfusun yaşlanması, yaşam süresi beklentisinin artışı, gıda teknolojisindeki gelişmeler, sağlık masraflarının artışı, sağlık ve diyet arasındaki ilişki ile ilgili artan bilimsel kanıtların sunulması olarak sayılabilir (Roberfroid, 2000; Anonim, 2023).

Avrupa'da fonksiyonel gıdalar hakkındaki bilimsel yaklaşımlar üzerinde ortak bir fikir oluşturabilmek amacıyla ILSI (Uluslararası Yaşam Bilimi Enstitüsü) tarafından koordine edilen, Avrupa Birliği uyumlu eylem projesi; Avrupa'da Fonksiyonel Gıda Bilimi (FUFOSE) Komisyonu'na göre fonksiyonel gıda; vücutta bir ya da daha fazla fonksiyonu faydalı olarak etkileyerek sağlık üzerinde iyileştirici ya da hastalıkların oluşma riskini azaltıcı etkisi kanıtlanmış olan gıdalar olarak tanımlanmıştır (Roberfroid, 2000; Arshad ve ark., 2021). Bu komisyona göre fonksiyonel gıdalar, normal gıda formunda olmalı ve normal diyetin bir parçası olmalıdır. Hap, kapsül ya da herhangi farklı bir diyetel ek formunda olmamalıdır (Roberfroid, 2000; John & Singla, 2021). Ülkemizde fonksiyonel gıdalar hakkında doğrudan bir düzenleme bulunmamakla birlikte "Türk Gıda Kodeksi Özel Beslenme Amaçlı Gıdalar Tebliği" ve "Türk Gıda Kodeksi Özel Beslenme Amaçlı Gıdalara Eklenilecek Bileşenler Tebliği" bulunmakta olup ayrıca gıdaların etiketi, tanıtımı ve reklamında kullanılabilecek beyanlar "Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği" kapsamında belirlenebilmektedir.

Fonksiyonel gıdalar normal diyetin bir parçası olarak tüketilmeli, ilaç, kapsül ya da diyetel ek formunda olmamalıdır (John & Singla, 2021). Temel beslenmenin ötesindeki fizyolojik faydaları bilimsel olarak kanıtlanmış olmalıdır (Wildman & Kelley, 2007). Fonksiyonel gıdalar, hiç bir işleminden geçmemiş doğal olarak fonksiyonel bileşenler içeren gıdalar olabilir. Bu doğal gıdalara örnek olarak; balık, soya, yulaf, keten tohumu ile üzüm, sarımsak, domates, ceviz ve fındık gibi meyve ve sebzeler verilebilir. Bunun dışında, fonksiyonel bir bileşence zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdalar olabilir. Folik asit ile zenginleştirilmiş tahıl ürünleri, vitamin B ile zenginleştirilmiş süt ve süt ürünleri, D ve E vitaminleri ile zenginleştirilmiş bitkisel yağlar, kalsiyum ile zenginleştirilmiş portakal suyu bu gıdalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca genetik mühendisliği, fermentasyon gibi farklı yollarla fonksiyonel özellik kazanan fonksiyonel gıdalar da bulunmaktadır. Probiyotik süt ürünleri de bu gıdalara örnek olarak gösterilebilir (Moghe ve ark., 2018).

Gıda tüketimi ile ilgili artan tüketici bilinci ve teknolojik gelişmeler dünya çapında fonksiyonel gıda pazarının sürekli büyümesine neden olmaktadır. Bu kapsamda gıdaların fonksiyonel

özellikleri, üretim prosesinde bu özelliklerin korunması ve yeni fonksiyonel gıdaların üretimi ve bu amaçlarla kullanılan yeni teknolojilerle ilgili bilimsel ve endüstriyel çalışmalar günümüzde yoğun olarak gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada, fonksiyonel gıdaların üretiminde ve geliştirilmesinde kullanılan yeni metot ve yaklaşımların, literatürdeki veriler dikkate alınarak incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Meyve ve Sebzeler

Meyve ve sebzeler, sağlıklı yaşamın sürdürülmesi ve çeşitli rahatsızlıklara karşı koruyucu etki gösterebilen vitaminler, mineraller, karotenoid, fenolik bileşikler gibi biyoaktif maddelerce zengin gıdalardır (Anonim, 2023). Meyve ve sebzelerde bulunan bazı biyoaktif maddelerin göstermiş oldukları önemli bir özellik güçlü antioksidan aktiviteleridir. Antioksidan aktiviteleri ile lipid peroksidasyonu, ateroskleroz ve DNA oksidasyonuna karşı potansiyel koruma sağlarlar (Choudhary & RV, 2009). Vücutta hücreleri oksidasyon zararlarına karşı koruyan başlıca antioksidan maddeler; karotenoidler, fenolik bileşikler, C vitamini, E vitamini ile selenyum, çinko ve magnezyum gibi bazı iz elementler olarak sayılabilir (Lovegrove & Jackson, 2000). Meyve ve sebzelerin sağlık açısından sahip oldukları bir diğer önemli özellik ise genel itibarıyla düşük kalori ve yağ içerikleri ile yüksek diyetetik lif içeriklerine sahip olmalarıdır (Anonim, 2023). Sahip oldukları tüm bu olumlu özellikleri ile doğal fonksiyonel gıdalar olarak bilinirler. Meyve ve sebzelerde bulunan bazı biyoaktif fonksiyonel bileşenler Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Başlıca Biyoaktif Fonksiyonel Bileşenler, (Başer, 2002; Web, 2006; Choudhary & RV, 2009; Arai ve ark., 2016; Moghe ve ark., 2018; Arshad ve ark., 2021; John & Singla, 2021)

Fonksiyonel Bileşen	Bulunduğu Besin
Antosiyaninler	Mor, kırmızı meyveler
Kuersetin	Kırmızı üzüm, soğan, elma
Mirisetin	Soğan
Naringenin	Narenciye
Kateşinler	Çay
Hesperetin	Narenciye meyveler
Lutein	Yeşil sebzeler, kırmızı lahana
Alfa karoten	Havuç, mısır
Beta karoten	Yeşil sebzeler, havuç, kabak
Zeaksantin	Yumurta, mısır, narenciye meyveler
Likopen	Domates, guava, karpuz, kayısı
Alisin	Sarımsak
Soya proteini	Soya fasulyesi
Saponinler	Soya fasulyesi
C vitamini	Narenciye, çilek, kivi
E vitamini	Badem, fındık, ayçiçeği tohumu, bitkisel yağlar
Glukosinolatlar	Brokoli, karnabahar, lahana

3. Tahıllar

Buğday, karabuğday, mısır, arpa, yulaf, çavdar, pirinç, keten tohumu, mısır ve çavdar, tahıllar arasındaki yaygın fonksiyonel gıdalardır (Ötleş & Taş, 2022). Tahıl ürünleri özellikle yüksek diyetel lif içerikleri ile öne çıkarlar. Diyetel lif, bağırsak fonksiyonlarının düzenlenmesinde olumlu katkılar sunan bir gıda bileşenidir. Bu bileşenler, insan sindirim enzimlerine karşı dirençlidirler ve bu nedenle sindirilemeyen bileşiklerdir. Tahıllar, baklagiller ve sebzeler başlıca lif kaynağı gıdalardır. Dünya sağlık örgütü günlük diyetel lif tüketimini 25-40 g olarak önermiştir. Diyetel yüksek miktarda diyetel lif tüketimi, kalp ve damar sağlığı açısından da koruyucu etkiye sahiptir. Çözülebilir liflerin serum kolesterol seviyesinin düşürülmesinde etkili olduğu bildirilmiştir. Örneğin yulaf kepeği iyi bir çözülebilir lif kaynağıdır ve serum kolesterol seviyesinin düşürülmesinde etkili olduğu bildirilmiştir (Jalili ve ark., 2007). Tahıllar, diyetel lif dışında protein, enerji, vitaminler, antioksidanlar ve mineraller içinde önemli bir kaynak teşkil ederler (Ötleş & Taş, 2022). Tahıl ürünlerinin fonksiyonel özellikteki bileşenlerle zenginleştirilerek fonksiyonel özellik kazandırılabilir. Martins ve ark. (2017) buğday unundan yapılan ekmeği portakal, mürver ve nar ekstraktları ile zenginleştirerek ürünün esansiyel mineral içeriğini ve biyoerişilebilirliğini arttırmayı sağladılar.

4. Hayvansal Kaynaklı Ürünler

Et ürünleri ve süt ürünleri gibi farklı hayvansal kaynaklı gıdalar da önemli fonksiyonel gıda bileşenlerini içerirler ve sağlık açısından faydalı özellikler sunarlar. Bunlardan konjuge linoleik asit, yağ birikimini azaltıcı ve antidiabetik etkiye sahip yağ asitleridir. Bu bileşenlerin başlıca kaynağı ruminant hayvanların etleri ile süt ve süt ürünleridir. Ayrıca daha az olmakla birlikte kümes hayvanları etinde ve yumurtada da bulunurlar (Ulus & Gücükoğlu, 2017). Bir diğer fonksiyonel bileşen, çoklu doymamış yağ asitlerinden omega-3 yağ asitleridir. Bu bileşenler, kardiyovasküler hastalıkların oluşma riskinin azalmasına katkı sunabilecek bileşenler olmaları ile öne çıkarlar. Besinlerde bulunan başlıca omega-3 yağ asitleri dokosaheksaenoik (DHA), eikosapeataenoik asit (EPA) ve alfa linolenik asittir (ALA). Bu yağ asitlerinden EPA ve DHA'nın başlıca kaynağı balık yağıdır. ALA'nın ise soya ve kanola yağı, keten tohumu ve ceviz başlıca kaynaklarıdır (Arai ve ark., 2016). Arılar tarafından üretilen bal da bir diğer önemli fonksiyonel gıdadır. Antioksidan, antiseptik ve antibakteriyel özelliklere sahip, beslenme açısından önemli bir gıda maddesidir (Gündoğdu ve ark., 2019). Süt proteinlerinden peynir altı suyu proteinleri ve kazein de, özellikle bağışıklık sisteminin korunması üzerinde olumlu etkilere sahip bileşenlerdir. Ayrıca kolay sindirilmeleri ve kas kütlesinin artışı üzerindeki olumlu etkileri diğer faydalı özellikleridir. Bulundukları kaynaklar süt ve süt ürünleridir (Arai ve ark., 2016).

5. Probiyotik, Prebiyotik ve Sinbiyotikler

Probiyotik ürünler fonksiyonel gıdalar içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda marketlerde probiyotik özelliğe sahip pek çok ürün bulunmaktadır. Bu ürünler çoğunlukla süt ve süt ürünleridir. Bu ürünlere probiyotik özellik sağlayan probiyotikler, bağırsaklarda mikrobiyal dengeyi olumlu etkileyen canlı mikroorganizmalardır. Probiyotik mikroorganizmalardan bazıları; *Lb. acidophilus*, *Lb. plantarum*, *Lb. casei*, *B. bifidum*, *B. infantis* ve *Str. thermophilus* gibi bakteriler ve mayalardan *Saccharomyces boulardii* olarak sayılabilir (Wildman & Kelley, 2007). Bağırsakların düzenli çalışması, kolesterol seviyesinin düşürülmesi, probiyotikleri içeren gıdalara atfedilmiş bazı faydalı özelliklerdir (Web, 2006; Moghe ve ark., 2018). Probiyotikler, kalın bağırsağa canlı olarak ulaşabilmeleri için, mide asit şartları ile safra ve sindirim enzimlerine karşı dayanıklı olmalıdırlar. Probiyotikler için başlıca kaynaklar yoğurt, kefir ve bazı peynirler gibi fermente süt ürünleridir (Rastall ve ark., 2000). Prebiyotikler ise probiyotik mikroorganizmaların gelişmesini destekleyen karbonhidrat bileşenleridir. Prebiyotikler sindirilemezler, mide asit ve enzimlerine karşı dayanıklıdırlar (Moghe ve ark., 2018). Doğal prebiyotik kaynakları; muz, soğan, tam buğday unu, pırasa, kereviz ve enginar (Moghe ve ark., 2018). Sinbiyotikler de probiyotik canlı mikroorganizmaların ve prebiyotik oligosakkaritlerin birlikte, karışım halinde kullanımınıdır (Rastall ve ark., 2000). Böylelikle probiyotiklerin daha kolay gelişmeleri hedeflenmektedir.

6. Fonksiyonel Gıda Üretiminde Yeni Yaklaşımlar

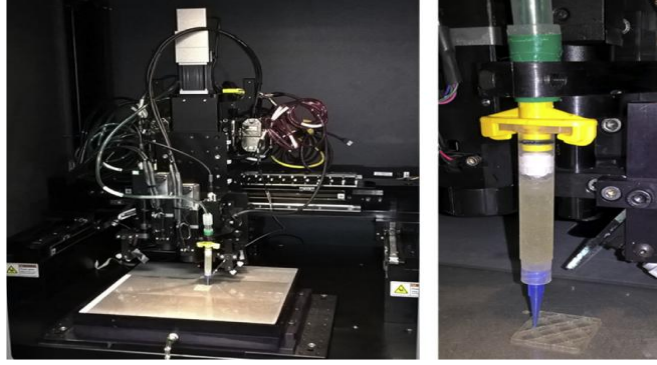
Fonksiyonel gıdaların etkinlikleri içermiş oldukları fenolik bileşikler, karotenoidler, vitaminler ve esansiyel mineral maddeler gibi biyoaktif bileşenlere dayanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte 3 boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi, vakumlu emdirmeye, nutrigenomik tarımsal yan ürünlerin farklı yollarla fonksiyonel gıdalara işlenmesi ya da tersine mühendislik gibi yöntemlerin kullanımı, gıdaların içermiş oldukları fonksiyonel bileşenlerin korunması ve artırılması ya da bu bileşenlerce zengin yeni fonksiyonel gıdaların oluşturulabilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır (Zrnic ve ark., 2023).

6.1. 3D yazıcı teknolojisinin fonksiyonel gıda üretiminde kullanımı

Fonksiyonel gıda üretiminde 3D yazıcıların kullanımı, özellikle yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesi kapsamında önemli potansiyele sahip olan bir seçenektir. Bu teknik, istenen şekil ve boyutlarda ve istenen tat ve aroma özellikleri ile besinsel kompozisyonun oluşturulduğu, üç boyutlu gıda ürünleri üretilmesini sağlamaktadır (Lille ve ark., 2017). 3D yazıcı ile gerçekleştirilen 3D baskı teknolojisi, ürünün katman katman biriktirilerek, üç boyutlu ve belirlenmiş şekil ve boyutta oluşturulduğu bir yöntemdir. Bu sistemde tasarımlar bilgisayar destekli tasarım yazılımı ile oluşturulmakta ve 3D yazıcının bağlantılı olduğu bilgisayar üzerinden ürün modelleri gerçekleştirilmektedir. Bu sistematik sayesinde çok karmaşık yapıdaki şekil ve iç yapıları elde etmek mümkün olmaktadır (Yang ve ark., 2017). 3D yazıcılar ile meyve ve sebze püreleri, süt ürünleri, makarnalar, kurabiyeler, çikolata, sakız, kişiye özel hazırlanan yüksek besin değerlerine sahip gıdalar gibi hemen her türlü gıda basılabilmektedir. Bu sistemde, bir ucu elektrik motoruna, diğer ucu ise bir veya iki memeye bağlanan bir şırıngaya gıda bileşenleri katılır. Şırınganın içindeki gıda kontrollü bir şekilde elektrik motoruyla memelerden platforma itilir veya ekstrüde edilir. Platform üzerinde gıda bileşenleri katmanlar halinde biriktirilerek istenen şekil ve yapıya getirilir. Yazıcıdan çıktıktan sonra elde edilmek istenen gıdanın nevine göre kesme, kırma, fırınlama, pişirme gibi işlemler uygulanabilmektedir (Yang ve ark., 2017; Singhal ve ark., 2020). 3D baskı teknolojisinde; ekstrüzyon bazlı yazdırma, mürekkep püskürtme ve bağlayıcı püskürtme teknikleri kullanılmaktadır. Gıdaların yazdırılmasında bu tekniklerden en yaygın olarak kullanılanı ekstrüzyon bazlı yazdırma tekniğidir (Şekil 1) (Pitayachaval ve ark., 2018; Sharma ve ark., 2024).

3D yazıcı ile, farklı gıda bileşenlerinin entegrasyonu, geleneksel gıda hazırlama yöntemlerine göre daha kolay sağlanabildiğinden (Eswaran ve ark., 2023), farklı fonksiyonel bileşenleri aynı gıdada toplayarak bunların olası sinerjik olumlu etkilerinden de faydalanarak, yeni tat ve yapısal özelliklere sahip yeni gıda ürünleri geliştirilmesi mümkündür (Singhal ve ark., 2020; Eswaran ve ark., 2023). 3D yazıcı teknolojisi kişisel ihtiyaçlara yönelik gıda hazırlama olanağı da sunmaktadır. Ürünün içerdiği gıda bileşenleri ve sertlik, yoğunluk gibi yapısal özellikleri bu kapsamda düzenlenerek farklı yaş, cinsiyet, meslek ve sağlık koşullarına sahip insanlara yönelik beslenme prosesleri oluşturulabilmektedir (Dankar ve ark., 2018). 3D yazıcı teknolojisi ile gıda üretimindeki önemli bir sorun ise, bu teknoloji ile üretilen gıdalarda raf ömrünün genelde sınırlı olmasıdır. Gıda maddesinin, yazıcıdan geçirilerek platforma itilmesi veya ekstrüde edilebilmesi için genelde ısıtılması gerekmektedir. İşlem esnasında ısıtılıp soğutulması ve püre gibi bütünlüğü bozulmuş gıdalardan üretilmesi gibi nedenler bu teknoloji ile üretilmiş ürünü mikrobiyal açıdan daha duyarlı hale getirerek raf ömrünün sınırlı olmasına neden olabilmektedir (Lille ve ark., 2017; Dankar ve ark., 2018). 3D yazıcıların gıda üretiminde endüstriyel olarak kullanımları ise başlangıç aşamasında ve henüz çok sınırlı sayıda gerçekleşmektedir (Singhal ve ark., 2020; Eswaran ve ark., 2023).

3D yazıcı kullanılarak besin değeri yüksek, yeni gıdaların üretilmesiyle ilgili umut vadeden bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Krishnaraj ve ark. (2019) 3D yazıcı ile; akdarı, maş fasülyesi, nohut ve ajovan kimyonundan hazırlanan kompozit undan, yüksek lif ve yüksek protein oranına sahip atıştırmalık ürün elde ettiler. Çalışmada ürünler yazdırma sonrasında; derin yağda kızartma, sıcak hava kurutma uygulanıp ardından derin yağda kızartma ve mikrodalga kurutma işlemlerinden birine tabi tutularak, proses sonrası bu işlemlerin etkinliği karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Çalışma sonunda, besinlerin korunumu ile renk ve tekstürel özellikler açısından en iyi sonucun mikrodalga işlemi ile sağlanmış bununla birlikte tüm örneklerin duyuşal olarak kabul edilebilir bulunduğu tespit edilmiştir.



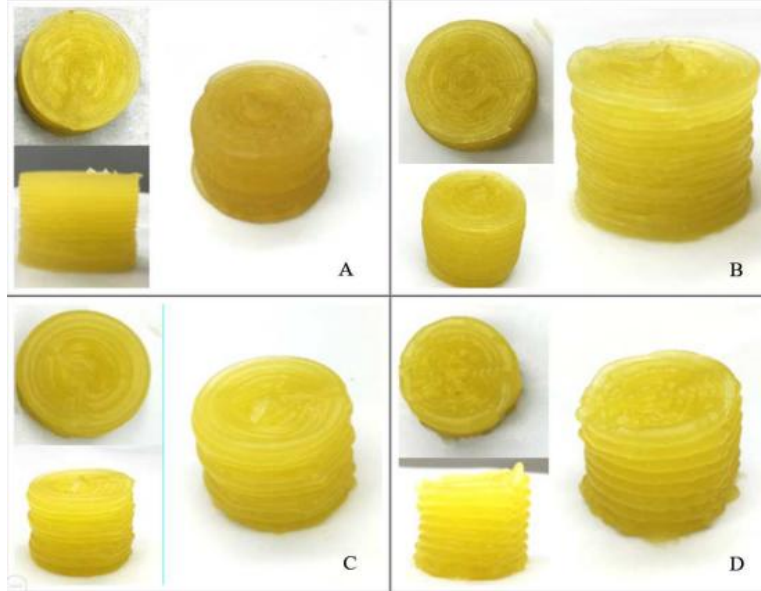
Şekil 1. Gıda materyallerinin 3d yazılımında kullanılan ekstrüzyon bazlı yazıcı (Lille ve ark., 2017).

Ürünün yazılmış ham hali	Derin kızartılmış örnek	Sıcak hava kurutma ve derin kızartma uygulanan örnek	Mikrodalgada kurutulmuş örnek
			

Şekil 2. 3D yazıcıda yazdırılmış ve farklı proses sonrası işlemlerle elde edilmiş atıştırmalık ürünler (Krishnaraj ve ark., 2019).

Zhang ve ark. (2018) 3D yazıcı kullanarak, tahıl bazlı probiyotik içeren fonksiyonel bir ürün ürettir. Çalışmada probiyotik mikroorganizma içeren buğday unundan elde edilmiş farklı hamur formülasyonları kullanıldı. Yazıcıdan çıkan ürünler farklı sıcaklıklarda pişirilerek probiyotiklerin sağ kalımları ve son ürünün tekstürel özellikleri incelendi. 145 °C'de 6 dakika ısıtma işlemi görmüş hamur örneklerinde, probiyotik mikroorganizmaların sağ kalımlarının gıdanın probiyotik gıda sayılabilmesi için yeterli düzeyde (canlı bakteri sayısı >10⁶ kob/g) olduğu belirlenmiştir. Lille ve ark. (2017) ise 3D yazıcı kullanarak yüksek protein ve lif aynı zamanda düşük şeker ve yağ içeriğine sahip yeni gıda ürünleri yazdırdılar. Çalışmada, yazarlar süt tozu, yulaf proteini, bakla proteini, nişasta, çavdar kepeği ve selüloz nanolifleri farklı oranlarda karıştırarak elde ettikleri ürünleri karşılaştırarak ürünün yazılabilirliğini ve yazdırma için en uygun oranları tespit ettiler. Anukiruthika ve ark. (2020) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, fonksiyonel özelliklere sahip bir gıda olan yumurta sarısı ve yumurta beyazı ile pirinç unu karıştırılarak yazdırılmıştır. Yumurta sarısını ve yumurta beyazını doğal halleriyle yazdırmak mümkün olmadığı için pirinç unu dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Yazarlar, pirinç unu ilavesinin yumurta sarısı ve yumurta beyazının stabiliteyi ve sertliklerini arttırdığını ayrıca yumurta sarısının 3D gıda yazımı uygulamaları için umut vadeden bir materyal olarak uygunluğuna işaret etmişlerdir. Derossi ve ark. (2017) ise 3D yazıcı kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, çocuklar için meyve bazlı atıştırmalık bir ürün geliştirdiler. Ürünün hazırlanmasında; taze muz, kurutulmuş mantar, konserve kuru fasulye ve üründen sıvı ayrımını önlemek için pektin ile antioksidant olarak da askorbik asit kullandılar. Böylelikle çocukların gelişimi açısından önemli besin maddeleri olan vitamin D, kalsiyum ve demir açısından zengin bir ürün elde ettiler. Yapılan çalışmada ayrıca, düşük akış oranı ile yazdırma yaparken (%70) ürün yapısının düzensiz ve aşırı gözenekli olduğu akış oranının artmasıyla (%130) ürün yapısının daha düzgün ve gözeneklilikte azalma olduğu, boyut ve toplam hacimde de artışın gerçekleştiği belirlendi. Severini ve ark. (2017) ise yaptıkları çalışmada, meyve ve sebze karışımından piramit şeklinde bir smoothie yazdırdılar. Ürün içinde havuç, kivi, brokoli, avakado ve armut meyve ve sebzeleri yer aldı. Yazdırma işleminin ürünün toplam fenolik içeriğini, antioksidan aktivitesini ve duyu özelliklerini belirgin biçimde değiştirmediğini tespit ettiler. Yazarlar ayrıca üründe mikrobiyal stabilitenin sağlanması için, 3D yazıcıların kullanım öncesi sterilizasyonunun yapılması gerektiğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada Yang ve ark. (2018), 3D yazıcı kullanarak, jelleştirici ajan olarak farklı oranlarda patates

püresi ilavesi ile (10, 12.5, 15, 17.5 ve 20 g/100 g) limon suyu jeli yazdırdılar (Şekil 3). Ürünlerin reolojik ve mekanik özelliklerini gözleyerek en iyi sonucun %15 patates püresi ilavesi ile elde edildiğini bildirdiler. Ayrıca limon suyu jelinin yazdırılması için, optimum nozul başlığı çapının 1mm; nozul başlığı hareket hızının 30 mm/s ve ekstrüzyon oranının 24 mm³/s olarak tespit edildiğini bildirdiler.



Şekil 3. Farklı boyutta başlıklar kullanılarak yazdırılan limon suyu jeli örnekleri (A: 0.5 mm B: 1 mm C:1.5 mm D: 2mm (Yang ve ark., 2018).

Et ve ürünleri ise doğrudan yazdırma işlemi yapılamayan lifli malzemelerdir. Yazdırmak için ekstrüde edilebilir macun benzeri bir malzeme elde edebilmek için etlerin reolojik ve mekanik özelliklerini değiştirecek, akışı kolaylaştırıcı maddelerin ilavesi gereklidir (Dick ve ark., 2019). Bu kapsamda, Liu ve ark. (2018) tavuk, domuz ve balıktan elde edilen et karışımını, jelatin çözeltisi ilave ederek bulamaç haline getirdiler ve 3D yazıcı ile yazdırılabilmesini sağladılar. Balığın yazdırılması ile ilgili olan bir başka çalışmada, Wang ve ark. (2018) ise 3D yazıcı ile balık surimi jeli ürettirler. Surimi balığa göre yazdırılması kolay bir malzemeydi. Bununla birlikte, viskozitenin yüksekliği yazdırmayı zorlaştırdığı için %1.5 oranında tuz kullanıldı. Tuz, ürünün nozul başlığından akmasını kolaylaştırmış aynı zamanda ürünün tekstürel bütünlüğünün sağlanmasına da katkıda bulunmuştur. Çalışmada ürünün reolojik özellikleri belirlenerek, yazdırmanın bu oranda tuz ilavesiyle uygun olarak gerçekleştiği bildirilmiştir. Et kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada Lipton ve ark. (2010), hindi eti püresine transglutaminaz enzimi ilave ederek yazdırılabilir hale getirdiler. Yazdırma işlemi ile, hindi eti, deniz tarağı ve kerevizden oluşan bir ürün elde ettiler.

6.2. Vakumlu emdirme (impregnasyon) teknolojisinin fonksiyonel gıda üretiminde kullanımı

Son yıllarda doğal gıdaların fonksiyonel ve biyolojik özelliklerini arttırmaya yönelik yapılan endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda kullanılan önemli bir metot da vakumlu emdirme (VE) metodudur. Gıdalara fonksiyonel özellikler kazandırmak ya da yeni fonksiyonel gıdalar üretmek için gıdanın hücresel yapısına herhangi bir zarar vermeden fonksiyonel bileşenlerin kazandırılması için pratik ve uygulanabilir bir yöntemdir (Şekil 4) (Duran-Castaneda ve ark., 2024). Bu işlem genel olarak meyve ve sebzelerde uygulanmaktadır. VE işlemi, gözenekli gıdadan su ve havayı kısmen uzaklaştırarak gıdaya geçmesi istenen maddelerin (fenolik bileşikler, vitaminler, mineraller ve probiyotikler gibi) emdirilmesini sağlayan ozmotik temelli bir prosestir. Bu proses vakum uygulamasıyla ortam basıncının değiştirilmesi esasına dayanır. Gıda materyali vakumlu ortamda, emdirme çözeltisine daldırılmış haldedir (Vinod ve ark., 2024). İşlem iki temel aşamadan oluşur. İlk aşamada azaltılmış basınç ($p_1 < p_a$) ile sistemde basınç farkı yaratılır. Çözelti içerisinde bulunan gıdada bulunan gazın genişlemesi ve gıdadan çıkışı kolaylaşır. İkinci aşamada basınç tekrar atmosfer basıncı

seviyesine getirilir. Sıkıştırma gözeneklerde kalan gazın hacminde azalmaya ve gıdaya çözeltiden su girişine neden olur. Böylelikle gıdaya geçişi istenen bileşenlerin emdirilmesi sağlanmış olmaktadır (Zhao & Xie, 2004; Vinod ve ark., 2024). VE prosesini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; ürünün gözenekliliği (gözenek boyutu ve sıklığı), biçimi ve boyutu, yüzey/hacim oranı, emdirme çözeltisinin konsantrasyonu, viskozitesi ve içinde bulunan bileşenler, uygulanan vakum basıncı ve vakum süresi, vakum sonrası restorasyon süresi ve çözelti/ürün oranı olarak belirtilebilir (Neri ve ark., 2016; Yılmaz & Bilek, 2017; Vinod ve ark., 2024).

Gıdalara fonksiyonel özellikler kazandırmak için bu metot, son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan birinde Abalos ve ark. (2020) tatlı patatesi, polifenol ekstraktı (%95 (v/v) pronantosiyanidin) ile VE işlemine tabi tutarak, işlem gören örneklerin fenolik konsantrasyonlarının %473 arttığını tespit ettiler. Çalışmada işlem görmüş örneklerin polifenol miktarları gallik asit eşdeğerinde 220 mg/100 g olarak bulunmuş, bu değer polifenolce zengin sebzelerdeki fenol miktarlarıyla benzer olduğu bildirilmiştir. Erihemu ve ark. (2014) ise patatesi demirce zenginleştirmek için VE işlemi kullanarak yaptıkları çalışmada, vakum süresi ve restorasyon süresinin artışı ile ürünlerin demir içeriğinin arttığını tespit ettiler. Yine patates ile yapılan bir başka çalışmada Günel (2022), VE işlemi ile patates dilimlerini C ve D vitaminince zenginleştirdi. Çalışmada, işlem görmüş patates dilimlerinin C vitamini miktarlarının %65 daha fazla, D vitamini miktarlarının 6 kat daha fazla olduğu tespit edildi. Ayrıca işlem görmüş örneklerin antioksidan kapasite değerlerinde DPPH yöntemi ile yapılan analizde yaklaşık %23, ABTS yöntemiyle yapılan analizde ise yaklaşık %6.5 artış gözlemlendi. Joshi ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada ise VE işlemi ile patates cipsini kalsiyum (kalsiyum laktat) ve çinko (çinko sülfat) ile zenginleştirdiler. Yaklaşık 70-80 mm Hg vakum basıncında her iki mineralin ürünlere maksimum düzeyde emdirilmesi sağlandı. Bu çalışmada VE işlemi ile kalsiyum miktarı 93.3 mg/100 g'den 727.18 mg/100 g'ye çinko miktarı ise 1.68 mg/100 g'den 256.78 mg/100 g'ye artırılmıştır. Elmanın besinsel olarak zenginleştirildiği bir çalışmada ise Yılmaz & Bilek (2017), VE işlemi ile elmayı, siyah havuç konsantresi, kalsiyum laktat ve laktik asit ile işleme sokarak fonksiyonel özellikleri artırılmış yeni bir ürün elde ettiler. İşlem sonrası elde edilen ürünün işlem görmemiş elmaya göre toplam fenolik bileşik miktarı ve antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edildi. Schulze ve ark. (2012) VE işlemi ile elmayı, elma kabuğundan elde edilen kuersetin ile zenginleştirdiler. Uygulama sonrasında, 13 farklı elma çeşitinin parankimalarına emdirilen kuersetin miktarları 368-604 µg/g km ağırlıkta olduğu tespit edildi. VE işlemi ile gıdaları besinsel olarak zenginleştiren çalışmaların dışında gıdaya fonksiyonel özellik katmanın bir başka yolu olan probiyotik mikroorganizmalarca zenginleştirildiği çalışmalar da yapılmıştır. Bu kapsamda, De Oliveira ve ark. (2017) tarafından yapılan, çalışmada VE işlemi ile, dilimlenmiş kavun probiyotik bir mikroorganizma olan *Lactobacillus acidophilus* LA-3 ile zenginleştirilmiştir. Probiyotik ilavesinin ürün asitliği ve çözünebilir kurumadde içeriğinde değişikliğe yol açmadığını bununla birlikte ürün sertliğini değiştirdiğini ayrıca probiyotiklerin işlem sonrası üründe sağ kalım oranlarının yüksek olduğu çalışmada tespit edilmiştir. Elvan ve ark. (2022) ise probiyotik bir mikroorganizma olan *L. pentosus*'u mikroenkapsüle ederek VE işlemi ile sofralık zeytini bu mikroorganizmaca zenginleştirmişlerdir. Çalışmada sofralık zeytinlerin 72 haftalık depolamaları sonunda mikroenkapsüle *L.pentosus*'un sağ kalımı 8 log kob/g olarak tespit edilmiştir. VE işlemi gözenek büyüklülüğü ve sıklığının uygunluğu nedeniyle genel olarak meyve ve sebzelerde kullanılan bir işlemdir. Bununla birlikte sayıları az olmakla birlikte diğer gıdaların VE işlemine tabi tutulduğu çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda Andres-Bello ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada çipura filetolarının raf ömrünü arttırmak için iki farklı emdirme ortamı üzerinde çalıştılar. LAB içeren çözelti ve nisin içeren çözelti kullandılar. Vakumlu emdirme 4°C'de gerçekleştirildi. Filetolar emdirme çözeltisini içeren kaplara daldırılarak 5 dakika boyunca vakum uygulandı. Bu sürenin sonunda atmosferik basınç yeniden sağlandı. Onbeş günlük buzdolabı koşullarında gerçekleştirilen depolama boyunca toplam aerobik mezofilik bakteri, enterobakterler ve *S.aureus* gelişimleri izlendi. Sonuç olarak ürünlere VE işlemi ile emdirilen LAB ve nisin konsantrasyonlarının, gözlenen mikroorganizma sayılarına bağlı olarak raf ömrünü uzatmak için yeterli olduğu bildirildi. Vakumlu emdirme işleminin etkinliğini arttırmak için; mikrodalga, ohmik ısıtma, darbeli elektrik alan, elektron demeti ile ışınlama, yüksek basınç uygulaması ve ultrason gibi çeşitli ileri teknoloji teknikleri kullanılabilir. Bu metotlar ön işlemler, son işlemler ya da VE ile kombine olarak uygulanmaktadır. Bu metotların VE ile birlikte kullanımı ile kütle transferi sürecinin olumlu etkilenmesi, çözünen madde alımının artırılması, ürünün raf ömrünün artırılması ve genel işlem

verimliliğinin artırılması sağlanmaktadır (Vinod ve ark., 2024). Bu kapsamda, Nawirska-Olszanska ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada kuş üzümü meyveleri öncelikle elma-armut suyu ile vakumlu emdirim işlemine tabi tutularak ardından mikrodalga-vakum teknolojisi ile kurutuldu. Vakumlu emdirim işlemi ile meyvelerin polifenol biyoaktif bileşen içeriğinde, emdirim çözeltisinde bulunmayan antosiyaninler hariç artış sağlandığı bildirildi. Mikrodalga-vakum teknolojisinin kullanıldığı bir başka çalışmada Duarte-Correa ve ark. (2020) VE işlemi ile mikrodalga vakumlu kurutma işlemlerini kombine olarak kullanarak kalsiyum, vitamin C ve vitamin E ile zenginleştirilmiş patates cipsi elde ettiler. Uygulamada, öncelikle VE işlemi ile ürünler zenginleştirilmiş sonrasında da mikrodalga kurutma uygulanarak besince zenginleştirilmiş kurutulmuş patates atıştırmalığı elde edilmiştir. Mashkour ve ark. (2018) ise patatesi demirce zenginleştirmek için ultrason destekli vakumlu emdirme işlemi kullandılar. Yalnızca VE işlemi ile demir oranında %137.5, ön işlem olarak ultrason, ardından VE uygulaması ile %210 artış sağladılar. Ultrason işleminin kullanıldığı bir başka çalışmada, Yılmaz & Bilek (2018), elmaya, kalsiyum laktat ve siyah havuç fenoliklerinin infüzyonunu sağlamak için ultrason ve VE işlemlerinin eş zamanlı etkisini değerlendirdiler. Bu iki işlemi eş zamanlı uygulamak için geliştirdikleri cihazla yapılan çalışmada kalsiyum içeriğinde %13.8, toplam fenoliklerde %11.8, toplam antosiyaninlerde %24.6 artış sağlandı. Mierzwa ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise, kıvılcık meyveleri ultrason destekli VE işlemi ile askorbik asit (C vitamini), sitrik asit ve sakkarozca zenginleştirilmiştir. C vitamini başarılı bir şekilde artırılmıştır. Ananasla yapılan VE işleminin kullanıldığı bir başka çalışmada ise De Lima ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada VE işlemi ile kurutma işlemi (konvektif ve dondurarak) kombine olarak kullanarak kalsiyumca zenginleştirilmiş atıştırmalık ananas ürettir. Emdirme işlemi normal atmosfer basıncı altında ve vakumlu olarak gerçekleştirilerek sonuçları karşılaştırdılar. Kurutma işlemi sonrası yapılan tespitlerde VE işlemi uygulananların, atmosfer basıncı altında emdirim uygulanan örneklerle göre %91 daha fazla konsantrasyonda kalsiyum içerdikleri tespit edilmiştir. Assiss ve ark. (2019) ise VE işlemi ile kalsiyumca zenginleştirilen elma dilimlerini sonrasında konvektif kurutma uygulayarak kalsiyum ile zenginleştirilmiş elma atıştırmalığı elde ettiler. Çalışmada VE işleminin kalsiyum miktarını 10 kat artırdığı tespit edildi.



Şekil 4. Laboratuvar ölçekli vakumlu emdirme sistemi (Vinod ve ark., 2024).

6.3. Tarımsal yan ürünlerin ve alternatif besinlerin fonksiyonel gıda üretiminde kullanımı

Son yıllarda gıda işleme proseslerinin yan ürünlerinden biyolojik değeri yüksek fonksiyonel bileşenler elde ederek bunların fonksiyonel gıda olarak kullanımı ile ilgili pek çok bilimsel çalışma ayrıca bunun yanında endüstriyel uygulamalarda gerçekleştirilmektedir. Tarımsal ve gıda işlemede fenolik bileşikler, karotenoidler, vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri ve bazı mineraller gibi

antioksidan bileşikler, diyetel lif, protein ve prebiyotikler içeren gıdaların yan ürünleri işlem sonrası atılmaktadır. İşleme sonrasında gıdanın yaklaşık üçte birlik kısmı atık olarak atılmaktadır. Gıda işlemeden artan bu yan ürünler aynı zamanda önemli bir çevresel kirlilik kaynağı oluşturmaktadırlar. Ortamdan uzaklaştırılmaları ve taşınmaları da yine gıda sanayi için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu bağlamda, biyolojik aktif besin bileşenlerine sahip olan gıda işleme yan ürünlerinin değerlendirilmesi fonksiyonel gıda üretimi için önemli ve faydalı bir seçenek oluşturmaktadır (Comunian ve ark., 2021; Kalusevic & Veljovic, 2023). Peynir altı suyu, balık endüstrisi atıkları gibi hayvansal işlemeden artan yan ürünler ile meyve sebze posaları, yapraklar, çekirdekler, kabuk ve zarlar gibi bitkisel işlemeden artan yan ürünler, doğrudan ya da parçalanma ufalanma gibi işlemlere tabi tutularak kullanılabilir. Ya da bu atıklardan yağlar, vitaminler, fenolik bileşikler ve lif gibi gıda bileşenleri elde edilerek bu bileşenler kullanılabilir (de Toledo ve ark., 2017; Routray & Orsat, 2019; Kalusevic & Veljovic, 2023). Bu bileşenlerin eldesinde organik çözücülerle klasik maserasyon prosesi yoluyla gerçekleştirilen geleneksel ekstraksiyon metodlarının yanında ekstraksiyon verimini arttırmak için mikrodalga destekli ekstraksiyon, ultrason destekli ekstraksiyon, yüksek basınç destekli ekstraksiyon, süperkritik sıvı ekstraksiyon, vurgulu elektrik alan, ohmik ısıtma, fermentasyon ve enzim destekli ekstraksiyon gibi farklı metodlar kullanılabilir (Echegaray ve ark., 2024; Manai ve ark., 2024). Tarım ve gıda endüstrisi yan ürünlerinin fonksiyonel özellikte gıda üretiminde kullanıldığı farklı çalışmalar Çizelge 2'de gösterilmiştir. Şekil 5'de elma posası ve posanın kurutulup toz haline getirilmesiyle elde edilen elma posası unu gösterilmiştir.

Çizelge 2. Tarım ve gıda endüstrisi yan ürünlerinin fonksiyonel özellikte gıda üretiminde kullanıldığı çalışmalar

Yan Ürün	Fonksiyonel kazanımı	Kullanılan ürün	Referans
Çarkıfelek meyvesi yan ürünü tozu	Prebiyotik	Fermente soya sütü	Albuquerque ve ark. (2017)
Durum buğdayı yan ürünü	Protein ve lifçe zenginleştirmek	Makarna	Cuomo ve ark. (2024)
Papaya çekirdeği tozu ve papaya çekirdeği yağı	Protein, lif miktarları ve oleik asitçe yüksek, raf ömrü uzun, farklı tat ve aromaya sahip yeni ürün eldesi	Kapkek	Abdel-Hameed ve ark. (2023)
Pasiflora kabuğu tozu	Antioksidant ve antimikrobiyal özelliklerini güçlendirmek	Et	Ramli ve ark. (2020)
Elma kabuğundan elde edilen flavonoid ekstraktı	Antioksidant aktiviteyi arttırmak	Domates ve havuç suyu	Massini ve ark. (2016)
Kurutulmuş elma posası	Diyetel lif oranını arttırmak	Kurabiye ve kapkek	Jung ve ark. (2015)
Üzüm posası ekstraktı	Toplam fenolik konsantrasyonunda belirgin artış. <i>L.acidophilus</i> sağ kalımını olumlu etkileme	Probiyotik fermente keçi sütü	dos Santos ve ark. (2016)
Ananas kabuğu tozu	Prebiyotik, Diyetel lif	Probiyotik yoğurt	Sah ve ark. (2016)
Zeytin ve üzüm posasından elde edilen fenolik ekstraktı	Antioksidan ve zenginleştirme	Yeni fermente süt içeceği	Aliakbarian ve ark. (2014)
Mantar yan ürünlerinden elde edilen polisakkaritler	Prebiyotik	Yoğurt	Chou ve ark. (2013)
Ananas (merkez kısmı), elma (endokarp) ve kavun (kabuk) yan ürünleri	Diyetel lif içeriğinin artışı	Kurabiye	de Toledo ve ark. (2017)
Karnabahar yan ürünleri (yaprak ve sapları) kurutulup elde edilen tozun izotiyosiyanatça zengin ekstraktı	İzotiyosiyanat, toplam fenol ve antioksidan zenginleştirme	İzotiyosiyanatça zengin yeni elma içeceği	Amofa-Diatuo ve ark. (2017)
Portakal suyu yan ürünleri olan portakal kabuk, tohum ve posasından elde edilen lifler, yağ ikamesi olarak kullanılmıştır.	Diyetel lif ve karotenit miktarı artmıştır.	Limonlu dondurma	Crizel ve ark. (2014)
Domates salçası üretimi yan ürünü domates posası	Toplam fenol, antioksidant kapasite, diyetel lif ve minerallerce zenginleştirme	Kraker	Işık & Topkaya (2016)

Çizelge 2. Tarım ve gıda endüstrisi yan ürünlerinin fonksiyonel özellikte gıda üretiminde kullanıldığı çalışmalar (devam)

Yan Ürün	Fonksiyonel kazanımı	Kullanılan ürün	Referans
Muz kabuğu kurutularak toz haline getirilmiştir	Diyetsel lifçe zenginleştirilmesi, Potasyum, kalsiyum, sodyum, demir ve manganez minerallerince daha zengin ekmek	Baladi ekmeği	Eshak (2016)
Zeytin yaprağı ekstraktı	Antioksidant ve antimikrobiyal aktiviteyi artırarak ürünün raf ömrünü arttırmak.	Köfte	Gök & Bor (2012)
Pirinç kepeği	Protein, diyetel lif, toplam fenol, vitamin E ve antioksidan aktivitenin artışı	Buğday ekmeği	Irakli ve ark. (2015)
Patates kabuğu tozu	Diyetsel lif ve protein miktarının artışı	Kek	Jeddou ve ark. (2016)
Üzüm posası tozu	Toplam fenolik miktarı ve antioksidant aktivitenin artışı	Yarı sert ve sert peynirler	Marchiani ve ark. (2015)
Domates posası	Diyetsel lif, vitamin C ve antioksidant aktivitede artış	Ekmek ve muffin	Mehta ve ark. (2018)
Marul yan ürünü; dış ve baş kısımları çıkarılarak hazırlanmış, kurutularak toz haline getirilmiştir.	Diyetsel lif ve toplam fenolce zengin ürün elde edilmiştir.	Ekmek	Plazzotta ve ark. (2018)
Nar kabuğu tozu	Protein , diyetel lif, β-karoten ve antioksidan kapasite artışı	Bisküvi	Srivastava ve ark. (2014)
Avakado kabuğu	Yüksek fenolik ve antioksidant içeriğine sahip çay	Avakado kabuğu çayı	Rotta ve ark. (2016)
Elma posası	Diyetsel lif ve toplam fenol miktarını artırmıştır.	Pıhtısı kırılmış yoğurt	Wang ve ark. (2020)
Nar yan ürünü (kabuk ve çekirdekleri)	Fenolik bileşiklerin ve çoklu doymamış yağ asitlerinin miktarının artışı	Dondurma	Çam ve ark. (2013)



Şekil 5. Kurutulmuş elma posası ve elma posası unu (Kalusevic & Veljovic, 2023).

Gıda endüstrisinde kullanılan yeni teknikler ve uygulamalar, fonksiyonel gıda üretiminde sürdürülebilir yeni gıda kaynaklarının ve alternatif besinlerin kullanımını da ön plana çıkarmıştır. Bunlardan deniz yosunu ve mikro algler yüksek protein kaynağı olarak önemli potansiyele sahiptirler. Bunların özellikle bazı çeşitleri süt, yumurta ve soya fasülyesi gibi geleneksel protein kaynaklarına yaklaşık düzeyde protein içerirler (Güldiken ve ark., 2021; Agregan ve ark., 2024). Bir diğer alternatif protein kaynağı ise böceklerdir. Karıncalar, arılar, tırtıllar, sinekler, termitler ve yaprak zararlıları gibi farklı böcekler protein ekstraksiyonu için kullanılabilir. Yenilebilir böcekler sürdürülebilir protein kaynağı olarak avantajlı bir seçenek oluşturmaktadırlar. Yemin proteine dönüşüm oranı 1 kg için sığır başına 10 kg yemle sağlanırken yenilebilir böceklerde 1.7 kg yemle sağlanabilmektedir (Mariutti ve ark., 2021).

6.4. Nutrigenomiğin fonksiyonel gıda üretiminde kullanım olanakları

Nutrigenomik, beslenme uyarıları ile genlerin tepkileri arasındaki moleküler ilişkilerin incelenmesidir (Brennan & de Roos, 2021). Örneğin önemli bir diyetel antioksidant olan fenolik bileşiklerin hücresel sinyalleme kaskadlarıyla etkileşime girebileceği ve gen ekspresyonuyla bağlantılı transkripsiyon faktörlerinin aktivitesini düzenleyebileceği bildirilmiştir (Antonia Nunes ve ark., 2018). Bu bilim dalında tüketilen gıda ile bireyin genomu arasındaki etkileşim değerlendirilir. Fonksiyonel gıdalar ise normal beslenmenin ötesinde sağlık faydaları sunan gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Gıdalardaki fonksiyonel özelliklerin fizyolojik etkileri, genetik özelliklerden etkilenebilmektedir. Bu kapsamda nutrigenomik bilimi bireye yönelik etkili fonksiyonel beslenmenin sağlanması yönünde önemli fırsatlar sunmaktadır (Ferguson, 2009; Bigliardi & Galati, 2013). Nutrigenomik bilimi henüz başlangıç aşamasındadır ve gıda geliştirilmesi ve beslenme önerilerini sunmak için henüz çok kapsamlı bir veri birikimine sahip değildir (Bigliardi & Galati, 2013). Pratik olarak gıdaların geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için kapsamlı kullanılabilmesi diyetle ilişkili hastalıklardan kaçınmaya, yeni beslenme stratejileri oluşturmaya ve diyetle tüketilecek besinlerin olumlu ve olumsuz etkilerinin tasarlanmasına yardımcı olabileme potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda gen ve gıda alımı arasındaki ilişkiler, hastalık gen ilişkileri ve çevresel diğer faktörlerin etkileri üzerinde kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Pavlidis ve ark., 2015).

6.5. Tersine mühendisliğin fonksiyonel gıda üretiminde kullanım olanakları

Tersine mühendislik bir nesnenin ya da ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait bilgileri bilgisayar destekli sistemle belirleyerek bu ürünün istenilen özelliklerle güçlendirilerek yeniden üretilmesi esasına dayanır. Belirlenmiş özelliklere sahip ürünün realize edilmesi için de bu metod uygulanmaktadır. Bu kapsamda yeni gıda ürünlerinin tasarlanması ve üretilmesi için uygulanabilecek bir metottur. Bu metod, sürdürülebilir bileşen formülasyonu, fonksiyonel özelliklerin güçlendirilmesi ve standart ürün eldesi sağlama konusunda önemli avantajlar sunmaktadır (Lie-Piang ve ark., 2024). Metodun uygulamasında öncelikle CAD gibi üç boyutlu görüntüleme ekipmanı ve yazılımı da kullanılarak dijital olarak modelleme gerçekleştirilmektedir (Çelik ve ark., 2017). Bu modeller, ürünün üretilmesinde kullanılacak boyutsal ve şekilsel özellikler ile hammadde ve süreçlerin formüle edilmesi olarak ifade edilebilir. Elde edilen verilerle, özellikleri dijital olarak belirlenen ürün, 3d yazıcı kullanımı gibi farklı metotlar yardımıyla üretilebilmektedir (Çelik ve ark., 2017; Thomopoulos ve ark., 2019). Bu teknolojinin geliştirilmesi ve endüstride kullanımı ile yeni ürün geliştirme prosesini %40'tan fazla kısaltabilme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Tao, 2013).

7. Sonuç

Fonksiyonel gıdalar normal diyetin bir parçası olarak tüketilmesinin yanı sıra temel beslenmenin ötesinde sağlık faydaları sağlayan gıda maddeleridir. Teknolojinin gelişmesi ve farklı fonksiyonel gıdaların dünya pazarlarında tüketiciler tarafından önemli düzeyde ilgi görmesi, fonksiyonel gıda biliminin de kapsamının genişlemesine özellikle yeni gıda ürünleri geliştirmede fonksiyonel özelliklerin korunması ve artırılmasının daha fazla önem kazanmasına ve bu alanda bilimsel ve endüstriyel çalışmaların yoğunlaşmasına yol açmıştır. Bu çalışmada yakın zamanda fonksiyonel gıda üretimi ile ilgili yapılan yeni çalışmalarda yoğun olarak kullanılan trend metod ve yaklaşımlarla ortaya çıkışı yeni olan, fonksiyonel gıda üretiminde umut vadeden metod ve yaklaşımlar incelenmiştir. Bu bağlamda fonksiyonel gıdalara fonksiyonel özellik kazandıran biyoaktif bileşen ya da unsurların bu işlevlerini gösterme mekanizmaları ve bu işlevlerin sağlık üzerine etkileri ayrıca kullanılan gıda işleme proseslerinin bu bileşenler üzerine etkileri ve bu alanda fonksiyonel özellikleri artırılmış gıda üretim metod ve proseslerinin geliştirilmesi konularında daha ileri düzeyde araştırmalar yapılmalıdır.

Kaynakça

- Abalos, R.A., Naef, E.F., Aviles, M.V., & Gomez, B. (2020). Vacuum impregnation: A methodology for the preparation of a ready-to-eat sweet potato enriched in polyphenols. *LWT-Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109773>
- Abdel-Hameed, S.M., Abd Allah, N.A.R., Hamed, M.M., & Soltan, O.I.A. (2023). Papaya fruit by-products as novel food ingredients in cupcakes. *Annals of Agricultural Sciences*, 68, 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2023.05.003>
- Agrega'n, R., Campagnol, P.C.B., Domínguez, R., Echegaray, N., Salazar, J.A.G., & Perez-Alvarez, J.A. (2024). Sustainability and functional foods: challenges and opportunities (Bölüm 1). In J. M. Lorenzo (Eds.), *Development in food quality and safety strategies to improve the quality of foods* (pp. 1-31). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15346-4.00001-X>
- Al Saqqa, G. S. R. (2021). Some functional foods and benefits of their bioactive components. *Journal of the Saudi Society for Food and Nutrition*, 14(1), 1-11.
- Albuquerque, M.A.C., Bedani, R., LeBlanc, J.G., & Saad, S.M.I. (2017). Passion fruit by-product and fructooligosaccharides stimulate the growth and folate production by starter and probiotic cultures in fermented soymilk. *International Journal of Food Microbiology*, 261, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.09.001>
- Aliakbarian, B., Casale, M., Paini, M., Casazza, A.A., Lanteri, S., & Perego, P. (2014). Production of a novel fermented milk fortified with natural antioxidants and its analysis by NIR spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 1, 8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.037>
- Amofa-Diatuo, T., Anang, D.M., Barba, F.J., & Tiwari, B.K. (2017). Development of new apple beverages rich in isothiocyanates by using extracts obtained from ultrasound-treated cauliflower by-products: Evaluation of its physical properties and consumer acceptance. *Journal of Food Composition and Analysis*, 61, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.10.001>
- Andres-Bello, A., De Jesus, C., Garcia-Segovia, P., Pagan-Moreno, M.J., & Martinez-Monzo, J., 2015. Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*). *LWT-Food Science and Technology*, 60, 2. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.063>
- Anonim. (2010). *Functional foods and ingredients-trends and opportunities*. Howe, P. Annual Food Industry Forum, Adelaide, 31st August 2010. Erişim Tarihi: 24.10.2023.
- Anonim. (2023). *Functional Foods*. Centurion University. Erişim Tarihi: 04.12.2023 <https://course.cutm.ac.in/wp-content/uploads/2020/06/Functional-food-1.pdf>
- Antonia Nunes, M., Rodrigues, F., Vinha A. F., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Nutrigenomics and polyphenols (Bölüm 4). In C. M. Galanakis (Eds.), *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (pp. 103-132). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00004-X>
- Anukiruthika, T., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). 3D printing of egg yolk and white with rice flour blends. *Journal of Food Engineering*, 265, 109691. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109691>
- Arai, S., Vatter, D. A., & Kumagai, H. (2016). Functional foods-history and concepts (Chapter 1). In D. A. Watter, V. Maitin (Eds), *Functional foods, nutraceuticals and natural products concepts and applications* (pp. 1-18). Destech Publications, Inc.
- Arshad, M. S., Khalid, W., Ahmad, R. S., Khan, M. K., Ahmad, M. H., Safdar, S., Kousar, S., Munir, H., Shabbir, U., Zafarullah, M., Nadeem, M., ASghar, Z., & Suleria, H. A. R. (2021). Functional foods and human health: an Overview. In M. S. Arshad, M. H. Ahmad (Eds.), *Functional foods-phytochemicals and health promoting potential*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99000>
- Assis, F.R., Rodrigues, L.G.G., Tribuzi, G., de Souza, P.G., Carciofi, B.A.M., & Laurindo, J.B. (2019). Fortified apple (*Malus spp.*, var. Fuji) snacks by vacuum impregnation of calcium lactate and convective drying. *LWT-Food Science and Technology*, 113, 108298. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108298>

- Başer, K. H. C. (2002, Mayıs). *Fonksiyonel gıdalar ve nutrasötikler*. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Eskişehir.
- Bigliardi, B., & Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Food Science and Technology*, 31, 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>
- Brennan, L., & de Roos, B. (2021). Nutrigenomics: lessons learned and future perspectives. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113,3, 503-516. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa366>
- Chou, W.T., Sheih, I.C., & Fang, T.J. (2013). The applications of polysaccharides from various mushroom wastes as prebiotics in different systems. *Journal of Food Science*, 78. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12160>
- Choudhary, R., & RV, T. (2009). Consumption of functional food and our health concerns. *Pakistan Journal of Physiology*, 5(1).
- Comunian, T.A., Silva, M.P., & Souza, C.J.F. (2021). The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.003>
- Crizel, T.M., de Araujo, R.R., Rios, A.O., Rech, R., & Flores, S.H. (2014). Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. *Food Science and Technology*, 34, 2, 332-340. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0057>
- Cuomo, F., Cinquanta C., Trivisonno M.C., Falasca L., Miani Greco M., Messia M.C., & Marconi E. (2024). Durum wheat milling by-products for the production of pasta with high nutritional and cooking quality. *LWT-Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116504>
- Çam, M., Erdoğan, F., Aslan, D., & Dinç, M. (2013). Enrichment of functional properties of Ice Cream with Pomegranate by-products. *Journal of Food Science*, 78, 10. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12258>
- Çelik, H.K., Rennie, A.E.W., & Akıncı, I. (2017). Reverse engineering approach for precise measurement of the physical attributes related to the geometric features of agricultural product. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 75-84. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9373-5>
- Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E.L., Sepulcre, F., & Pujola, M. (2018). 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science & Technology*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018>
- De Lima, M.M., Tribuzi, G., de Souza, J.A.R., de Souza, I.G., Laurindo, J.B., & Carciofi, B.A.M., (2016). Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016>
- De Oliveira, P.M., Ramos, A.M., Martins, E.M.F., Vieira, E.N.R., Soares, A.S., & de Noronha, M.C. (2017). Comparison of vacuum impregnation and soaking techniques for addition of the probiotic *Lactobacillus acidophilus* to minimally processed melon. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 12. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13540>
- De Toledo, N.M.Y., Nunes, L.P., da Silva, P.P.M., Spoto, M.H.F., & Canniatti-Brazaca, S.G. (2017). Influence of pineapple, apple and melon by-products on cookies: physicochemical and sensory aspects. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1185-1192. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13383>
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzolini, D., & Severini, C. (2017). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruitbased snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
- Dick, A., Bhandhari, B., & Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat Science*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
- Dos Santos, K.M.O., de Oliveira, I.C., Lopes, M.A.C., Cruz, A.P.G., Buriti, F.C.A., & Cabral, L.M. (2016). Addition of grape pomace extract to probiotic fermented goat milk: The effect on phenolic content, probiotic viability and sensory acceptability. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 97, 4. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7836>
- Duarte-Correa, Y., Diaz-Orsola, A., Osorio-Arias, J., Sobral, P.J.A., & Vega-Castro, O. (2020). Development of fortified low-fat potato chips through Vacuum Impregnation and Microwave Vacuum Drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102437>

- Duran-Castaneda, A.C., Gonzalez-Moya, S., Sanchez-Burgos, J.A., Sayago-Ayerdi, S.G., & Zamora-Gasga, V.M. (2024). Applications of vacuum impregnation as a technology to incorporate. *Food Chemistry Advances*, 4, 100579. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100579>
- Echegaray, N., Viuda-Martos, M., Campagnol, P. C. B., Agrega'n, R., Santos, E. M., Munekata P. E. S., & Domínguez, R. (2024). New technologies for obtaining healthy foods (Bölüm 2). In J. M., Lorenzo (Eds.), *Strategies to Improve the Quality of Foods* (pp. 33-63), Development in food quality and safety strategies to improve the quality of foods. Oxford, UK: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15346-4.00002-1>
- Elvan, M., Baysal, A. H., & Harsa, S. (2022). Microencapsulation of a potential probiotic *Lactiplantibacillus pentosus* and its impregnation onto table olives. *Food Science and Technology*, 156, 112975. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112975>
- Erihemu, Hironaka, K., Oda, Y., & Koaze, H. (2014). Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. *Food Science and Technology*, 59, 504-509. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.043>
- Eshak, N. S. (2016). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as anatural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Science*, 61, 2. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2016.07.002>
- Eswaran, H., Ponnuswamy, R. D., & Kannapan, R. P. (2023). Perspective approaches of 3D printed stuffs for personalized nutrition: A comprehensive review. *Annals of 3D Printed Medicine*, 12, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2023.100125>
- Ferguson, L. R. (2009). Nutrigenomics approaches to functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 109, 3. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.11.024>
- Gök, V., & Bor, Y. (2012). Effect of olive leaf, blueberry and *Zizyphus jujuba* extracts on the quality and shelf life of meatball during storage. *Journal of Food Agricultureand Environment*, 10, 2, 190-195.
- Güldiken, B., Gülsünoğlu, Z., Bakir, S., Çatalkaya, G., Çapanoğlu, E., & Nickerson, M. (2021). Innovations in functional foods development (Chapter 3). In C. M. Galanakis (Eds.), *Food technology disruptions* (pp. 73-130). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821470-1.00008-2>
- Gündoğdu, E., Çakmakçı, S., & Şat, İ. G. (2019). An overview of honey: Its composition, nutritional and functional properties. *Journal of Food Science and Engineering*, 9(1), 10-14. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2019.01.003>
- Günel, Z. (2022). Vakumlu emdirim tekniği ile patates dilimlerinin C ve D vitaminlerince zenginleştirilmesi. *Food and Health*, 8, 3, 181-192. <https://doi.org/10.3153/FH22018>
- Irakli, M., Katsantonis, D., & Kleisiaris, F. (2015). Evaluation of quality attributes, nutraceutical components and antioxidant potential of wheat bread substituted with rice bran. *Journal of Cereal Science*, 65, 74-80. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.010>
- Isik, F., & Topkaya, C. (2016). Effects of tomato pomace supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Italian Journal of Food Science*, 28(3), 525. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v510>
- Jalili, T., Medeiros, D. M., & Wildman, R. E. C. (2007). Dietary fiber and coronary heart disease (Chapter 6). In R. E. C. Wildman, R. Wildman, & T. C. Wallace (Ed.), *Handbook of nutraceuticals and functional foods* (Second Edition) (pp. 131-145). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006186>
- Jeddou, K. B., Bouaziz, F., Zouari- Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. (2016). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, 4-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>
- John, R., & Singla, A. (2021). Functional foods: Components, health benefits, challenges, and major projects. *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture and Energy*, 2(1), 61-72. <https://doi.org/10.37281/DRCSE/2.1.7>
- Joshi, A., Kar, A., Rudra, S. G., Sagar, V. R., Varghese, E., Lad, M., Khan, I., & Singh, B. (2016). Vacuum impregnation: a promising way for mineral fortification in potato porous matrix (potato chips). *Journal of Food Science and Technology*, 53, 12, 4348-4353. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2424-4>

- Jung, J., Cavender, G., & Zhao, Y. (2015). Impingement drying for preparing dried apple pomace flour and its fortification in bakery and meat products. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 5568–5578. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1680-4>
- Kalusevic, A., & Veljovic, M. (2023, Şubat). *Functional products based on food industry by-products*. CASB Proceedings Book, Academy of Applied Studies, Belgrade.
- Krishnaraj, P., Anukiruthika, T., Choudhary, P., Moses, J. A., & Arandharamakrishnan C. (2019). 3D extrusion printing and post-processing of fibre-rich snack from indigenous composite flour. *Food and Bioprocess Technology*, 12(10), 1776-1786. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02336-5>
- Landström, E. (2008). *To choose or not to choose functional foods, that is the question*. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Social Sciences.
- Lie-Piang, A., Boom, R., & van der Padt, A. (2024). Towards low-impact food products through reverse engineering: A functionality-driven approach. *Journal of Food Engineering*, 367, 111857. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111857>
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsa-Kortelainen, S., & Sozer, N. (2017). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Lipton J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N., & Lipson, H. (2010). *Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing*. In Solid Freeform Fabrication Symposium.
- Liu, C., Ho, C., & Wang, J. (2018). The development of 3D food printer for printing fibrous meat Materials. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 284, 1:012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/284/1/012019>
- Lovegrove, J. A., & Jackson, K. A. (2000). Dietary fibre functional products (Chapter 13). In G. R., Gibson, C. M., Williams (Eds.), *Functional foods concept to product* (315-355). Woodhead Publishing Limited.
- Manai, S., Boulila, A., Silva, A.S., Barbosa-Pereira, L., Sendon, R., & Khwaldia, K. (2024). Recovering functional and bioactive compounds from date palm by-products and their application as multi-functional ingredients in food. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 38, 101475. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101475>
- Marchiani, R., Bertolino, M., Ghirardello, D., McSweeney, P. L. H., & Zeppa, G. (2015). Physicochemical and nutritional qualities of grape pomace powder-fortified semi-hard cheeses. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 3. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2105-8>
- Mariutti, L. R. B., Rebelo, K. S., Bisconsin-Junior, A., de Moraes, J. S., Magnani, M., Maldonado, I. R., Madeira, N. R., Tiengo, A., Marostica Jr., M. R., & Cazarin, C. B. B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110709>
- Martins, Z. E., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science&Technology*, 67, 106-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>
- Massini, L., Rico, D., Martin-Diana, A.B., & Barry-Ryan, C. (2016). Apple peel *flavonoids* as natural antioxidants for vegetable juice applications. *European Food Research Technology*, 242, 1459–1469. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2646-8>
- Mehta, D., Prasad, P., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2018). Tomato processing byproduct valorization in bread and muffin: improvement in physicochemical properties and shelf life stability. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 7. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3176-0>
- Mierzwa, D., Szadzinska, J., Gapinski, B., Radziejewska-Kubzdela, E., & Bieganska-Marecik, R. (2022). Assessment of ultrasound-assisted vacuum impregnation as a method for modifying cranberries' quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106117. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106117>
- Moghe, S. B., Jain, S., & Srivastava, V. (2018). *Functional Foods and Nutraceuticals II-Semester*, Alagappa University, Publishing House, Pvt. Ltd.

- Mashkour, M., Maghsoudlou, Y., Kashaninejad, M., & Aalami, M. (2018). Effect of ultrasound pretreatment on iron fortification of potato using vacuum impregnation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(5), e13590. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13590>
- Nawirska-Olszanska, A., Paslawska, M., Stepień, B., Oziębłowski, M., Sala, K., & Smorowska, A. (2020). Effect of Vacuum Impregnation with Apple-Pear Juice on Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Dried Chokeberry Fruit. *Foods*, 9, 1. <https://doi.org/10.3390/foods9010108>
- Neri, L., Di Biase, L., Sacchetti, G., Di Mattia, C., Santarelli, V., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2016). Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. *Journal of Food Engineering*, 179, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.002>
- Ötleş, S., & Taş, E. N. (2022). Cereal-based functional foods (Chapter 3). In N. Chhikara, A. Panghal, G. Chaudhary (Eds.), *Functional foods* (pp. 55-90). Scrivener Publishing LLC. <https://doi.org/10.1002/9781119776345.ch3>
- Pavlidis, C., Patrinos, G. P., & Katsila, P.T. (2015). Nutrigenomics: A controversy. *Applied & Translational Genomics*, 4, 50-53. <https://doi.org/10.1016/j.atg.2015.02.003>
- Pitayachaval, P., Sanklong, N., & Thongrak, A. (2018). A review of 3D food printing technology. *MATEC, Web of Conferences*, 213, 01012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821301012>
- Plazzotta, S., Sillani, S., & Manzocco, L. (2018). Exploitation of lettuce waste flour to increase bread functionality: effect on physical, nutritional, sensory properties and on consumer response. *International Journal of Food Science and Technology*, 53, 10. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13820>
- Ramli, A. N. M., Manap, N. W. A., Bhuyar, P., & Azelee, N. I. W. (2020). Passion fruit (*Passiflora edulis*) peel powder extract and its application towards antibacterial and antioxidant activity on the preserved meat products. *Springer Nature Applied Sciences*, 2, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03550-z>
- Rastall, R. A., Fuller, R., Gashings, H. R., & Gibson, G. R. (2000). Colonic functional foods (Chapter 4). In G. R. Gibson, C. M. Williams (Eds.), *Functional foods concept to product* (pp. 71-96). Woodhead Publishing Limited.
- Roberfroid, M. B. (2000). Defining functional foods (Chapter 1). In G. R. Gibson, C. M. Williams (Eds.), *Functional foods concept to product* (pp. 9-28). Woodhead Publishing Limited.
- Rotta, E. M., de Moraes, D. R., Biondo, P. B. F., dos Santos, V. J., Matsushita, M., & Visentainer, J. V. (2016). Use of avocado peel (*Persea americana*) in tea formulation: a functional product containing phenolic compounds with antioxidant activity. *Acta Scientiarum*, 38(1), 23-29. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27397>
- Routray, W., & Orsat, V. (2019). Agricultural and food industry by-products: Source of bioactive components for functional beverages (Bölüm 15). In A. M. Grumezescu, A. M. Holban (Eds.), *Nutrients in Beverages* (pp. 543-589). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816842-4.00015-0>
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 978-986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.027>
- Schulze, B., Peth, S., Hubbermann, E. M., & Schwarz, K. (2012). The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. *Journal of Food Engineering*, 109, 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.015>
- Severini, C., Derossi, A., Ricci, I., Caporizzi, R., & Fiore, A. (2017). Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. *Journal of Food Engineering*, 220, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.025>
- Shandilya, U. K., & Sharma, A. (2017). Functional food and their benefits: an overview, *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 7(4), 353-356. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2017.07.00247>
- Sharma, R., Nath, P. C., Hazarika, T. K., Ojha, A., Nayak, P. K., & Sridhar, K. (2024). Recent advances in 3D printing properties of natural food gels: Application of innovative food additives. *Food Chemistry*, 432, 137196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137196>

- Singhal, S., Rasane, P., Kaur, S., Garba, U., Bankar, A., Singh, J., & Gupta, N. (2020). 3D food printing: paving way towards novel foods. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 92(3), e20180737. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180737>
- Srivastava, P., Indrani, D., & Singh, R.P. (2014). Effect of dried pomegranate (*Punica granatum*) peel powder (DPPP) on textural, organoleptic and nutritional characteristics of biscuits. *International Journal of Food Science and Technology*, 65, 7, 827-833. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.937797>
- Tao, C. S. (2013). Application of reverse engineering technology based on linear scanning on food packaging. *Applied Mechanics and Material*, 437(2013), 941-944. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.437.941>
- Thomopoulos, R., Baudrit, C., Boukhelifa N., Boutrou, R., Buche, P., Guichard, E., Guillard, V., Lutton, E., Mirade, P.S., Ndiaye, A., Perrot, N., Taillandier, F., Thomas-Dangui, T., & Tonda, A. (2019). Multi-Criteria reverse engineering for food: genesis and ongoing advances. *Food Engineering Reviews*, 11, 44-60. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9186-x>
- Ulus, C. A., & Gücükoğlu, A. (2017). Konjuge linoleik asit ve sağlık açısından önemi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknolojisi Dergisi*, 5(1), 98-102. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i1.98-102.1015>
- Vignesh, A., Amal, T. C., Sarvalingam, A., & Vasanth, K. (2024). A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health. *Food Chemistry Advances*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100749>
- Vinod, B. R., Asrey, R., Sethi, S., Menaka, M., & Meena, N. K. (2024). Recent advances in vacuum impregnation of fruits and vegetables processing: A concise review. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28023>
- Wang, L., Zhang, M., Bhandhari, B., & Yang, C. (2018). Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.029>
- Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G., (2020). Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids*, 100, 105453. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>
- Web, G. P. (2006). *Dietary supplementys and functional foods*. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470995754>
- Wildman, R. E. C., & Kelley, M. (2007). Nutraceuticals and functional foods (Chapter 1). In R. E. C. Wildman, R. Wildman, & T. C. Wallace (Ed.), *Handbook of nutraceuticals and functional foods* (Second Edition) (pp. 1-23). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006186>
- Yang, F., Zhang, M., Bhandhari, B., & Yaping, L. (2018). Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 87, (67-76). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.054>
- Yang, F., Zhang, M., & Bhandari, B. (2017). Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 3145-3153. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1094732>
- Yılmaz, F. M., & Bilek, S. E. (2018). Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black carrot phenolics. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 48, 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.007>
- Yılmaz, F. M., & Bilek, S. E. (2017). Natural colorant enrichment of apple tissue with black carrot concentrate using vacuum impregnation. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(6), 1508-1516. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13426>
- Zhang, L., Lou, Y., & Schutyster, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.002>
- Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(9), 434-451. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.01.008>
- Zrnic, M., Gajic, T., & Vukolic, D. (2023, Şubat). *The future of functional foods: Trends, opportunities and obstacles in the food industry*. CASB Academy of Applied Studies, Belgrade, Proceedings Book, 137-142.

